

## EFFECTO DEL ENCALADO EN EL CULTIVO DE NARANJA VALENCIA EN LA ZONA NORTE DE COSTA RICA

*Eloy Molina<sup>1/\*</sup>, Alexander Rojas<sup>\*\*</sup>*

**Palabras clave:** naranja, acidez, encalado, Ultisoles, calcio.

**Keywords:** orange, soil acidity, liming, Ultisols, calcium.

Recibido: 30/09/05

Aceptado: 14/03/06

### RESUMEN

Se evaluó el efecto del encalado en el rendimiento de naranja Valencia y en la fertilidad de un Ultisol de la Zona Norte de Costa Rica. Se utilizó 3 materiales de encalado:  $\text{CaCO}_3$  de granulometría gruesa;  $\text{CaCO}_3$  de granulometría fina; y una mezcla física de 85% de  $\text{CaCO}_3$  y 15% de óxido de magnesio, cada uno de ellos en dosis de 1, 2 y 3 t ha<sup>-1</sup>, y un testigo sin cal, en un diseño de Bloques Completos al Azar y 4 repeticiones. Se hicieron 4 cosechas de fruta entre 1994 y 1998, y 3 muestreos de suelo y tejido foliar (6, 12 y 24 meses después de aplicar la cal). La aplicación de cal tuvo un efecto significativo en la fertilidad del suelo; al aumentar la dosis se incrementó el contenido de Ca intercambiable, y se redujo la acidez del suelo y la saturación de acidez. La mezcla de  $\text{CaCO}_3$  + MgO aumentó significativamente el contenido de Mg intercambiable, siendo el efecto más marcado con la dosis de 3 t ha<sup>-1</sup>. La respuesta de la cal se presentó en forma lineal en los 4 años de cosecha evaluados, con un incremento en el rendimiento de fruta y sólidos solubles al elevarse la dosis. El tratamiento de 3 t ha<sup>-1</sup> de cal presentó el rendimiento más alto con los 3 materiales evaluados en las 4 cosechas, lo que indica la posibilidad de obtener respuesta a una dosis mayor. No hubo diferencias

### ABSTRACT

**Liming effect on the Valencia orange crop in the Northern Zone of Costa Rica.** The effect of liming on the yield of Valencia orange and on soil fertility of an Ultisol of the Northern Zone of Costa Rica was evaluated. Three liming materials were used:  $\text{CaCO}_3$  with heavy particle size,  $\text{CaCO}_3$  with fine particle size, and a blending of 85% of  $\text{CaCO}_3$  and 15% of MgO; each one of them at rates of 1, 2 and 3 t ha<sup>-1</sup>, and a treatment with no lime, with a complete randomized block design and 4 replicates. Four harvests were made (1994-1998), and 3 samplings of soil and foliage were done (6, 12 and 24 months after applying lime). Lime application had a significant effect on the soil, by increasing the lime rate, interchangeable Ca was increased, soil acidity and acidity saturation was reduced. The blending of  $\text{CaCO}_3$  + MgO significantly increased the interchangeable Mg content, the effect being stronger with 3 t ha<sup>-1</sup>. The response to liming had a linear effect in the 4 years of orange harvest, with an increase in the fruit yield and total soluble solids when rising the lime rate. The lime rate of 3 t ha<sup>-1</sup> showed the highest yield with the 3 liming materials evaluated in the 4 harvests, indicating a possible response at a greater rate. There were not

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: eamolina@cariari.ucr.ac.cr

\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

\*\* Tico Fruit. San Carlos, Costa Rica.

significativas entre las 3 fuentes de cal en las variables de suelo y rendimiento, lo que indica que las variaciones en calidad química y física de los materiales no afectaron los resultados. Sin embargo, la mezcla  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$  presentó el valor más bajo de acidez, el más alto de Mg en el suelo y en las hojas, y los rendimientos más altos de fruta y sólidos solubles.

## INTRODUCCIÓN

En Costa Rica la producción de naranja a nivel comercial ha experimentado un auge importante en los últimos 15 años, con la siembra de más de 25000 ha, ubicadas principalmente en la zona norte del país, en los cantones de San Carlos, Sarapiquí, Los Chiles, Upala y La Cruz. La producción está destinada a la industrialización de la fruta para la obtención de jugo concentrado para la exportación, para lo cual existen 2 plantas procesadoras.

La mayoría de estas plantaciones de naranja se ubican en suelos con problemas de acidez, lo que afecta en algún grado el crecimiento y rendimiento del cultivo. Los suelos ácidos se clasifican principalmente en los órdenes Inceptisoles, Ultisoles y Andisoles, los cuales se encuentran ampliamente diseminados en el país (Bertsch 1995). Los suelos más utilizados en el cultivo de naranja en la zona norte del país se clasifican como Ultisoles y algunos sub-grupos ácidos de Inceptisoles (Molina 1998).

La acidez de los suelos afecta algunas de sus características químicas y biológicas, que reducen el crecimiento de las plantas, tales como la disminución en la disponibilidad de nutrimentos como Ca, Mg, K y P, y la proliferación de elementos como el Al y Mn que en cantidades altas pueden ser tóxicos para las plantas (Espinosa y Molina 1999). El  $\text{Al}^{+3}$  en la solución del suelo es el principal responsable de la disminución en el rendimiento de las plantas, debido a que inhibe el desarrollo de las raíces (Zapata 2004). Altos niveles de saturación de  $\text{Al}^{+3}$  también reducen el crecimiento de las raíces, inhibiendo

significant differences between the 3 lime sources on the soil variables and fruit yield, indicating that the variations in chemical and physical quality of the liming sources did not affect the results. Nevertheless, the blending of  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$  prompted the lowest value of soil acidity, the highest Mg content in the soil and leaves, and the highest fruit yields and soluble solids.

su elongación y penetración en el suelo, y consecuentemente, reduciendo la absorción de agua y nutrimentos, así como la capacidad de las raíces de llegar a estos en el subsuelo (Sánchez y Salinas 1983a). El  $\text{Al}^{+3}$  también obstaculiza la translocación de nutrimentos a la parte aérea, los cuales se manifiestan principalmente como deficiencias de P, Ca y Mg (Sánchez y Salinas 1983b).

El encalado constituye la práctica más apropiada y económica para corregir los problemas de acidez (Molina 1998). La respuesta favorable de los cultivos al encalado, se da principalmente como resultado de la neutralización de la acidez causada por  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{H}^+$ , y/o  $\text{Mn}^{+2}$ , y del suministro de Ca, Mg o ambos (Kamprath 1984). El Mg es un elemento importante en la nutrición de la naranja debido a que forma parte de la molécula de clorofila, participa en la fotosíntesis, es activador de la respiración, y favorece el balance de electrolitos (Espinosa y Molina 1999). La deficiencia de Mg causa una clorosis intervenal de aspecto bronceado en hojas viejas, en forma de V que se inicia en la punta de las hojas y avanza hacia el centro cubriendo los márgenes, posteriormente las zonas amarillentas comienzan a necrosarse. En ramas con frutos maduros, las hojas próximas a estos muestran los síntomas en mayor grado que las ramas sin frutos. Los frutos son pequeños, con piel delgada y contenido de azúcares y acidez bajo (Molina 1999).

Los materiales utilizados como correctivos de acidez del suelo son principalmente carbonatos, hidróxidos y óxidos de Ca y/o Mg (Alcarde 1992). Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una capacidad de neutralización variable (Chaves 1993). En Costa

Rica, la principal fuente de encalado es el  $\text{CaCO}_3$ , debido a la abundancia natural de yacimientos de roca caliza y su bajo costo. En países como Guatemala y Honduras, existen yacimientos de cal dolomita (carbonatos de Ca y Mg), material que es más conveniente como enmienda en suelos ácidos debido a su aporte de Mg, pero que resulta de alto costo en nuestro país (Molina 1998).

La naranja se adapta muy bien a condiciones de suelos ácidos, tal y como ha sido observado en Brasil (Malavolta 1983). Sin embargo, el uso de cal ha resultado una práctica apropiada en suelos ácidos cultivados de naranja, logrando incrementos importantes en el crecimiento y rendimiento de los árboles (Koo 1989).

Los resultados de un experimento de encalado de naranja Valencia evaluado durante 17 años en un Typic Quartzipsamments de Florida, mostró respuesta evidente a la aplicación de cal, con un incremento del 76% en rendimiento entre el tratamiento testigo y el tratamiento de encalado (Anderson 1987).

El efecto de la fuente de cal fue evaluado en un ensayo conducido por Vitti *et al.* (1994), en el que se comparó el efecto de varios materiales de enmienda, en un suelo ácido del Cerrado brasileño cultivado con naranja. Los resultados mostraron que la mezcla de carbonato de calcio con yeso agrícola, en proporciones de 50:50 y 70:30, presentaron los rendimientos más altos de fruta. También Vitti *et al.* (1996), en un experimento realizado en naranja Hamlin, en un suelo latosol de Brasil, comparando el efecto de varias fuentes de cal, encontraron que la mezcla de carbonato de magnesio con yeso o carbonato de calcio, incrementó el rendimiento de

fruta en cerca de 5 t ha<sup>-1</sup> con relación al testigo sin cal, luego de 4 años de evaluación.

Otro estudio realizado por Casarin *et al.* (1995), en pomar pera mostró un aumento de 18% de rendimiento de fruta, cuando se utilizó como enmienda una mezcla de 15% de carbonato de magnesio y 85% de yeso.

Estudios realizados por Quaggio (1991), en suelos ácidos de Brasil, mostraron que existe un incremento significativo en el rendimiento de naranja cuando se eleva la saturación de bases del suelo de 18 a 63% mediante el uso de encalado. Con base en estos resultados, para las recomendaciones de encalado en Brasil, se utiliza el criterio de elevar la saturación de bases (%V) hasta un valor de 60% (Boaretto 1996).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de 3 fuentes de cal a diferentes dosis sobre el rendimiento de naranja Valencia y sobre la fertilidad de un Ultisol de la zona norte de Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en Finca 3 de Tico Fruit, ubicada en San Rafael de Río Cuarto de Grecia, con árboles de naranja Valencia injertados sobre patrón Carrizo, que tenían 4 años de edad al inicio del ensayo. La distancia de siembra era de 8 m entre hileras y 4 m entre plantas, para una densidad de 312 árboles ha<sup>-1</sup>. El suelo clasifica como Typic Paleudults, perteneciente al orden Ultisol. Es un suelo ácido de baja fertilidad (Cuadro 1), con pH <5, contenidos bajos de Ca y Mg, nivel alto de Al intercambiable y saturación de Al, textura arcillosa y pendiente

Cuadro 1. Análisis del suelo del área experimental, Finca 3, Río Cuarto de Grecia, Costa Rica.

Identificación	pH	Ca	Mg	K	Ac Int.	P	Cu	Fe	Mn	Zn	Sat. Ac
		cmol(+) l <sup>-1</sup>					mg l <sup>-1</sup>				
Finca 3	4,7	1,5	0,3	0,26	1,8	8,5	6,3	328	52	2,3	47

ligeramente ondulada. En el presente estudio se utilizó 3 materiales de encalado; el primero es un  $\text{CaCO}_3$  del yacimiento La Palmera en Aguas Zarcas de San Carlos, con un PRNT bajo de 51,8%, debido principalmente a que es un material grueso con una baja Eficiencia Granulométrica. El segundo es un material con un PRNT intermedio, con un alto grado de fineza ( $\text{EG}=98,3$ ) y procedente de Cempasa, Patarrá, y el tercero es una mezcla física de 85% de  $\text{CaCO}_3$  de Cempasa y 15% de óxido de magnesio (85%  $\text{MgO}$ ) de Magnesitas Navarra, España, y que simula una cal dolomita, con un PRNT alto de casi 100%. Las características de calidad se presentan en el cuadro 2.

Se utilizaron 3 dosis de cada material de encalado: 1, 2 y 3 t  $\text{ha}^{-1}$ , y un tratamiento testigo sin cal, para un total de 10 tratamientos. La cal fue aplicada en octubre de 1993, al voleo sobre toda la superficie del suelo. La parcela experimental estaba formada por 4 hileras de 5 árboles cada una, para un total de 20 árboles  $\text{parcela}^{-1}$  (640  $\text{m}^2$ ). Cada tratamiento tuvo 4 repeticiones. La parcela útil eran 6 árboles de las 2 hileras centrales (192  $\text{m}^2$ ). El área total del ensayo fue de 2,56 ha.

Todos los tratamientos recibieron cada año una fertilización base que osciló entre 100-120 kg N  $\text{ha}^{-1}$ , 100-150 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$   $\text{ha}^{-1}$ , 100-120 kg de  $\text{K}_2\text{O}$   $\text{ha}^{-1}$ , fraccionados en 2-3 aplicaciones anuales, y colocados superficialmente en el

área de rodaja de los árboles. Las fuentes utilizadas fueron mezclas físicas a base de urea, fosfato diamónico y KCl. Adicionalmente, se hicieron 3 aspersiones foliares al año con Zn (5 kg  $\text{ha}^{-1}$  de sulfato de zinc), N (10-20 kg  $\text{ha}^{-1}$  de urea), y K (20-25 kg  $\text{ha}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$ ).

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la U.C.R. Se tomaron muestras de suelo en cada tratamiento a los 6 (abril 94), 12 (setiembre 94), y 24 meses (octubre 95) después de aplicada la cal, para la determinación del pH en agua, Ca, Mg y Al intercambiable extraíbles con KCl 1M; P, K, Fe, Cu, Zn y Mn extraíbles con Olsen Modificado (Díaz-Romeu y Hunter 1978). Se tomaron muestras de tejido foliar a los 6 y 12 meses después de aplicada la cal. Se muestreó la tercera hoja de arriba hacia abajo en ramas no fructificadas. En las muestras se determinó el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn (Briceño y Pacheco 1984).

El experimento fue evaluado por un período de 5 años (1994-1998), en los que se hicieron 4 cosechas de fruta. Para determinar el efecto de la cal en el rendimiento se evaluaron las siguientes variables en cada cosecha: número y peso de frutas por árbol en la parcela útil. De cada tratamiento se tomaron muestras representativas de fruta para la determinación de brix, acidez, relación brix/acidez, porcentaje

Cuadro 2. Composición química y calidad, expresada en eficiencia granulométrica (EG), equivalente químico (EQ) y poder relativo de neutralización total (PRNT), de los materiales de encalado utilizados en el ensayo.

Procedencia	Material	Ca	Mg	%		EG	EQ	PRNT
				$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$			
La Palmera, San Carlos	$\text{CaCO}_3$	34,5	1,3	86,3	5,5	56,5	91,6	51,8
CEMPASA, Patarrá	$\text{CaCO}_3$	32,8	0,2	82	0,8	98,3	82,8	81,4
CEMPASA, Patarrá	$\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$	30,2	7,5	75,5	31,2	92,6	106,7	98,8

Fuente: Carballo y Molina 1993.

de jugo, y libras de sólidos solubles totales. Estos análisis de calidad de fruta se realizaron en el Laboratorio de Control de Calidad de la planta procesadora de jugo de Tico Fruit, en Aguas Zarcas, San Carlos. Estas variables sirvieron para calcular la producción de naranja en cajas árbol<sup>-1</sup> y cajas ha<sup>-1</sup>, y el valor de libras de sólidos solubles totales por caja y hectárea. El diseño experimental fue de Bloques Completos al Azar, con 10 tratamientos y 4 repeticiones. El análisis estadístico de todas las variables fue realizado mediante el programa Infostat.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto del encalado en la fertilidad del suelo

El análisis de suelo inicial muestra que la fertilidad es baja (Cuadro 1), con niveles deficientes de Ca, Mg y P, pH fuertemente ácido, y acidez intercambiable y saturación de acidez muy altas. De acuerdo con los criterios para evaluar los problemas de acidez, este suelo se considera muy ácido (Molina 1998). El suelo clasifica como Typic Paleudults, perteneciente al orden de Ultisoles, que son suelos muy meteorizados, de texturas arcillosas pesadas, coloraciones rojizas, y con problemas de acidez y baja fertilidad, y son comunes en plantaciones de cítricos de la zona norte del país.

Los materiales de encalado utilizados en el país, difieren a menudo en sus propiedades físicas y químicas, lo cual afecta el grado de eficiencia agronómica y la fertilidad del suelo cuando son utilizados como enmiendas (Carballo y Molina 1993). En el presente estudio se utilizaron 3 materiales de encalado (Cuadro 2).

La dosis y la fuente de cal tuvo un efecto significativo sobre las propiedades químicas del suelo, especialmente en el contenido de bases intercambiables, acidez intercambiable y saturación de acidez. En el cuadro 3 se presenta los resultados del análisis de suelo realizados

en las 3 épocas indicadas. El análisis estadístico mostró diferencias significativas para algunas variables de suelo como en el caso del Ca, Mg, acidez intercambiable y saturación de acidez (Cuadro 4).

La aplicación de cal aumentó ligeramente el pH del suelo (Figura 1). El incremento fue casi proporcional a la dosis de cal en los 3 muestreos realizados a los 6, 12 y 24 meses después de aplicada, pero en todos los casos el cambio en el pH fue muy leve, con menos de 0,3 unidades de pH de diferencia con relación al tratamiento testigo. Los resultados muestran la elevada capacidad tampón que tienen estos suelos (resistencia al cambio de pH), aún con dosis moderadas de cal de 3 t ha<sup>-1</sup>. La resistencia a cambiar el pH con el uso de enmiendas, se debe a la naturaleza mineralógica de los Ultisoles, dominada por arcillas de carga variable dependiente de pH, como la caolinita y los óxidos e hidróxidos de Fe y Al, que se resisten a cambios importantes de pH, aún con dosis elevadas de cal (Espinosa y Molina 1999). El efecto del encalado sobre el pH del suelo en Ultisoles fuertemente ácidos es mínimo, y no llega a ser permanente a corto plazo, y de forma muy rápida el suelo tiende a recuperar su pH original, tal y como se observa en los resultados de este estudio.

El contenido de Ca intercambiable se incrementó con la dosis de cal (Figura 2) en los 3 períodos de muestreo. A los 6 meses de aplicada la cal, el nivel de Ca subió desde 1 cmol(+) l<sup>-1</sup> en el testigo hasta 2,5 cmol(+) l<sup>-1</sup> con la dosis de 3 t ha<sup>-1</sup> de la mezcla de CaCO<sub>3</sub> + MgO. Los valores más altos de Ca se presentaron a los 12 meses después de aplicada la cal, mostrando que la acción de los materiales es más efectiva después de un tiempo apropiado de reacción química en el suelo. A los 24 meses hubo un ligero descenso en la concentración de Ca, alcanzando valores muy similares a los encontrados a los 6 meses. La dosis de 3 t ha<sup>-1</sup> incrementó el contenido de Ca en cerca de 2 cmol(+) l<sup>-1</sup> un año después de aplicada, pero ese valor disminuyó en poco

Cuadro 3. Resultado de análisis de suelos en los 3 muestreos realizados.

Tratamientos	pH	Ca	Mg	K	Ac Inter.	CICE	Sat Ac %	P	Fe	Cu	Zn	Mn	
													cmol(+) l <sup>-1</sup>
<b>6 meses</b>													
Testigo	0	4,68	1,08	0,31	0,29	2,17	3,84	56	3,6	258	27	3,8	111
CaCO <sub>3</sub> grueso, 1 t ha <sup>-1</sup>	G1	4,80	2,01	0,42	0,37	1,46	4,26	34	3,3	243	27	3,4	96
CaCO <sub>3</sub> grueso, 2 t ha <sup>-1</sup>	G2	4,85	2,36	0,36	0,36	1,31	4,39	30	3,9	215	28	3,2	88
CaCO <sub>3</sub> grueso, 3 t ha <sup>-1</sup>	G3	4,90	2,68	0,37	0,32	1,12	4,48	25	4,1	239	27	3,5	92
CaCO <sub>3</sub> fino, 1 t ha <sup>-1</sup>	F1	4,78	1,78	0,31	0,27	1,52	3,87	39	4,8	281	29	3,9	114
CaCO <sub>3</sub> fino, 2 t ha <sup>-1</sup>	F2	4,83	1,88	0,31	0,26	1,55	4,00	39	4,3	238	28	3,5	135
CaCO <sub>3</sub> fino, 3 t ha <sup>-1</sup>	F3	4,88	2,58	0,38	0,31	1,10	4,37	25	3,2	193	24	3,2	93
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 1 t ha <sup>-1</sup>	Mg1	4,85	2,22	0,58	0,33	1,18	4,31	27	4,2	255	29	3,4	102
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 2 t ha <sup>-1</sup>	Mg2	4,75	2,20	0,63	0,30	1,33	4,45	30	4,0	210	27	3,8	107
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 3 t ha <sup>-1</sup>	Mg3	4,93	2,50	0,74	0,37	0,88	4,48	20	3,4	240	25	3,7	76
<b>12 meses</b>													
Testigo	0	4,70	1,03	0,37	0,38	2,74	4,51	61	6,3	382	34	5,4	78
CaCO <sub>3</sub> grueso, 1 t ha <sup>-1</sup>	G1	4,73	1,85	0,37	0,30	2,42	4,94	49	4,4	371	33	5,3	61
CaCO <sub>3</sub> grueso, 2 t ha <sup>-1</sup>	G2	4,85	2,30	0,43	0,34	1,57	4,63	34	5,2	345	30	4,4	51
CaCO <sub>3</sub> grueso, 3 t ha <sup>-1</sup>	G3	4,90	2,90	0,43	0,38	1,43	5,14	28	4,4	395	31	4,7	36
CaCO <sub>3</sub> fino, 1 t ha <sup>-1</sup>	F1	4,80	2,38	0,31	0,26	1,70	4,64	37	4,6	371	30	4,7	46
CaCO <sub>3</sub> fino, 2 t ha <sup>-1</sup>	F2	4,88	3,02	0,35	0,26	1,53	5,15	30	6,8	363	37	4,8	39
CaCO <sub>3</sub> fino, 3 t ha <sup>-1</sup>	F3	4,85	3,36	0,41	0,36	1,58	5,71	28	5,5	370	30	4,3	32
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 1 t ha <sup>-1</sup>	Mg1	4,73	1,60	0,49	0,25	2,16	4,49	48	5,6	352	31	4,5	57
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 2 t ha <sup>-1</sup>	Mg2	4,85	2,31	0,71	0,31	1,68	5,01	34	8,3	334	33	5,4	37
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 3 t ha <sup>-1</sup>	Mg3	5,03	4,18	1,25	0,46	0,99	6,88	14	6,0	322	32	5,0	38
<b>24 meses</b>													
Testigo	0	4,75	1,20	0,35	0,38	2,03	3,96	51	4,6	221	36	6,3	88
CaCO <sub>3</sub> grueso, 1 t ha <sup>-1</sup>	G1	4,85	1,85	0,53	0,30	1,47	4,14	35	4,3	226	37	5,7	74
CaCO <sub>3</sub> grueso, 2 t ha <sup>-1</sup>	G2	4,83	2,05	0,58	0,36	1,59	4,57	35	5,7	403	40	5,6	65
CaCO <sub>3</sub> grueso, 3 t ha <sup>-1</sup>	G3	4,95	2,48	0,63	0,39	0,95	4,43	21	3,7	221	37	6,3	62
CaCO <sub>3</sub> fino, 1 t ha <sup>-1</sup>	F1	4,85	2,08	0,53	0,28	1,32	4,21	31	4,2	246	40	8,4	79
CaCO <sub>3</sub> fino, 2 t ha <sup>-1</sup>	F2	4,88	2,00	0,55	0,29	1,30	4,14	31	4,3	228	39	5,2	72
CaCO <sub>3</sub> fino, 3 t ha <sup>-1</sup>	F3	4,90	2,60	0,60	0,39	1,12	4,71	24	4,2	329	34	5,4	58
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 1 t ha <sup>-1</sup>	Mg1	4,78	1,38	0,63	0,30	1,68	3,98	42	3,8	226	38	5,6	75
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 2 t ha <sup>-1</sup>	Mg2	4,93	2,55	0,83	0,27	0,94	4,58	20	3,9	244	36	6,4	76
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 3 t ha <sup>-1</sup>	Mg3	5,03	3,13	1,15	0,40	0,58	5,25	11	5,8	316	38	6,2	66

Cuadro 4. Análisis de varianza de las variables de suelo y foliar.

Variables de suelo												
Muestreo	pH	Ca	Mg	K	Ac Inter.	CICE	Sat. Ac.	P	Fe	Cu	Zn	Mn
<b>Suelo</b>												
6 meses	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	ns	*	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
24 meses	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Variables foliares												
	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn			
<b>Foliar</b>												
6 meses	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
12 meses	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

\* Diferencias significativas según prueba de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

más de  $0,5 \text{ cmol}(+) \text{ l}^{-1}$  a los 2 años de aplicada. Esto es una indicación de que el efecto residual de la cal no es permanente y que conforme el material va reaccionando y liberando Ca a la solución del suelo y la fracción intercambiable, parte de este es susceptible de perderse por lixiviación o ser absorbido por el cultivo (Kamprath 1984, Molina 1998). El tratamiento de  $3 \text{ t ha}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$  presentó el nivel más alto de Ca a los 12 y 24 meses. Resultados similares han sido reportados por Anderson (1987), quien encontró un incremento significativo en el contenido de Ca intercambiable luego de 15 años de aplicación de cal en un Entisol arenoso de la Florida cultivado con limón rugoso.

El contenido de Mg subió ligeramente con el incremento en la dosis de cal, lo cual fue más evidente con la mezcla de  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$  (Figura 2). La dosis de  $3 \text{ t ha}^{-1}$  de este material presentó el nivel más alto de Mg, con valores por encima de  $1 \text{ cmol}(+) \text{ l}^{-1}$  a los 12 y 24 meses después de aplicada, triplicando el contenido del testigo. Hubo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en el contenido de Mg en este tratamiento con relación al resto (Cuadro 4).

En forma similar, Salas *et al.* (1996) encontraron incrementos significativos en el contenido de Mg intercambiable debido a la aplicación de dosis de  $1-4 \text{ t ha}^{-1}$  de cal dolomítica en un Ultisol de Sarapiquí. La deficiencia de Mg es muy común en suelos con alta saturación de  $\text{Al}^{+3}$ , y aunque los fertilizantes con Mg son eficaces en corregirla, por lo general, no dejan efecto residual y su costo es alto. El uso de enmiendas con Mg, como la cal dolomítica o el MgO, son una alternativa más eficaz para corregir deficiencias de Mg en suelos ácidos, debido a su reacción más lenta que mantiene un efecto residual prolongado, contrario a los fertilizantes que son más solubles y susceptibles de perderse por lixiviación (Espinosa y Molina 1999). Estudios realizados en Brasil (Vitti *et al.* 1996) con naranja Valencia y otras especies de cítricos han mostrado el beneficio de utilizar enmiendas como la cal dolomítica debido a su aporte de Mg.

La aplicación de cal disminuyó el contenido de acidez intercambiable y la saturación de acidez en forma casi lineal conforme se incrementó la dosis (Figura 3). Hubo diferencias significativas

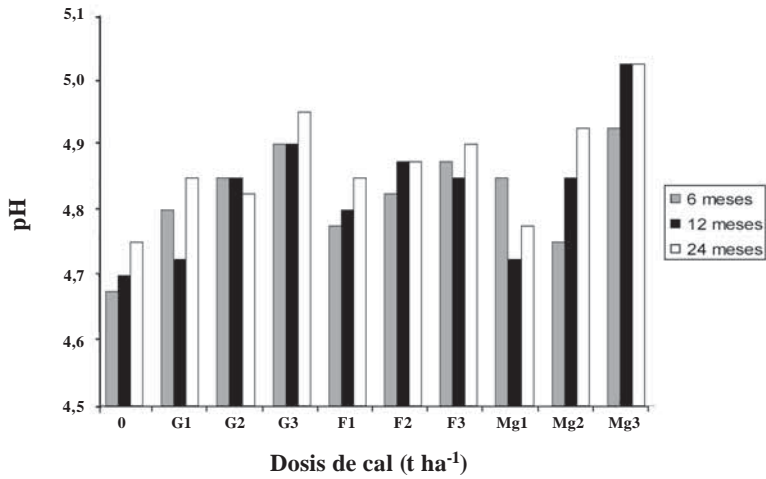


Fig. 1. Efecto de la dosis y fuente de cal en el pH del suelo.

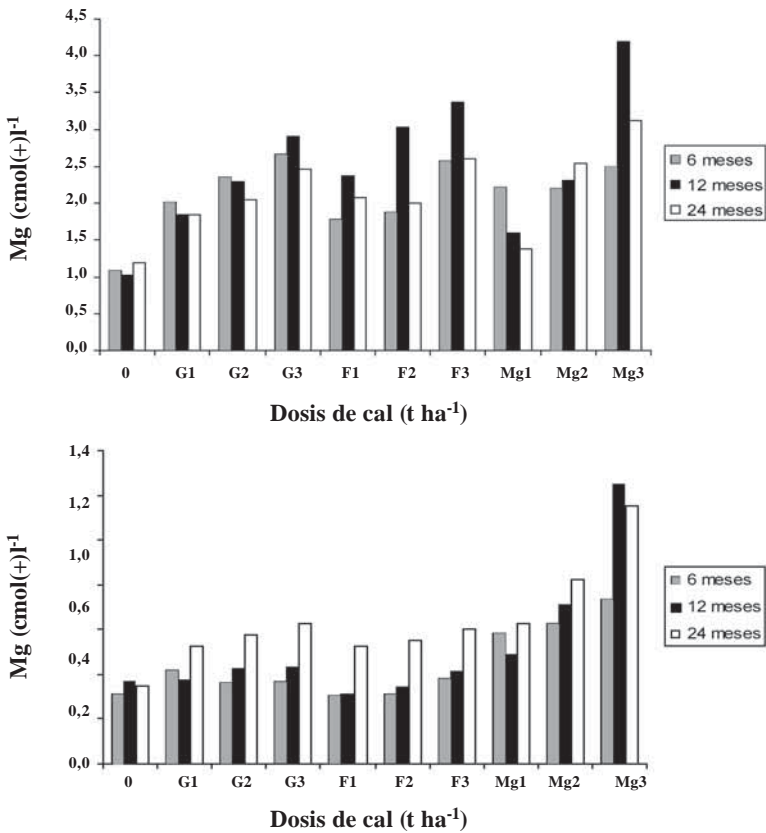


Fig. 2. Efecto de la dosis y fuente de cal en el contenido de Ca y Mg intercambiable del suelo.



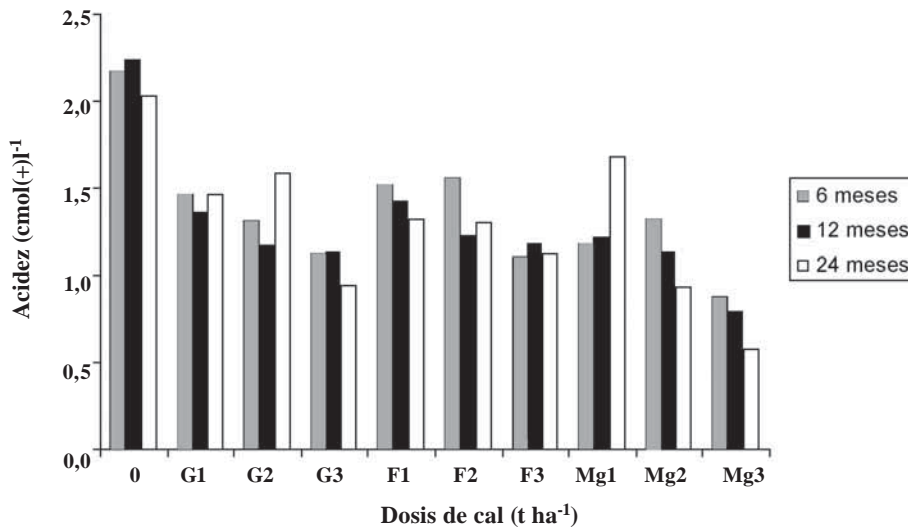


Fig. 3. Efecto de la dosis y fuente de cal en el contenido de acidez intercambiable y saturación de acidez del suelo.

de efecto de tratamiento con ambas variables ( $p \leq 0,05$ ) en los resultados de los 3 muestreos de suelo (Cuadro 4). A los 6 meses de aplicada hubo una reducción significativa en el contenido de acidez intercambiable y en la saturación, probablemente por la reacción inicial de la fracción más fina de las enmiendas. A los 12 y 24 meses el efecto se mantuvo casi constante en todos los tratamientos, con excepción del  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$ , en donde hubo un incremento en la acidez con la dosis de 1 t ha<sup>-1</sup> a los 24 meses, y una disminución con las dosis de 2 y 3 t ha<sup>-1</sup>. Estos 2 últimos tratamientos fueron los más efectivos para reducir la acidez del suelo 2 años después de aplicada la cal. Sin importar el material, la dosis de 3 t ha<sup>-1</sup> disminuyó la saturación de acidez por debajo de 25% a los 24 meses, siendo la mezcla de  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$  el más efectivo. No hubo diferencias entre los carbonatos grueso y fino en cuanto a capacidad de neutralización de la acidez y su efecto residual.

Los resultados de este estudio muestran que el efecto principal del encalado en el suelo fue la neutralización y precipitación de

la acidez intercambiable, con la consecuente disminución en la saturación de acidez, tal y como ha sido indicado por numerosos autores (Barber 1984, Kamprath, 1984, Molina 1998). Entre los factores que afectan la eficiencia de neutralización del material de encalado se encuentra el tamaño de partículas. Los materiales finos reaccionan muy rápido y no dejan mucho efecto residual, en tanto que los materiales gruesos reaccionan más lentamente y tienen mayor efecto residual (Alcarde 1992, van Raij 1991). Sin embargo, en el presente estudio no se observaron diferencias en las propiedades químicas del suelo por efecto de la granulometría del material, y los cambios en el suelo estuvieron más influenciados por la dosis de cal y la presencia de  $\text{MgO}$ . La dosis de 3 t ha<sup>-1</sup> presentó la mayor reducción de acidez, y la presencia de Mg como  $\text{MgO}$  acrecentó ese efecto. La capacidad de neutralización de la acidez es más alta para los óxidos que para los carbonatos (Alcarde 1992, Espinosa y Molina 1999), tal y como muestran los resultados de este estudio.

### Efecto del encalado en el contenido foliar de nutrimentos

En el cuadro 5 se presenta los resultados del análisis foliar en los 2 muestreos realizados. No hubo diferencias significativas por efecto de tratamiento en las variables de análisis foliar, con excepción del contenido de Mg y Fe en el muestreo de los 12 meses. La concentración de Ca foliar se incrementó al elevarse la dosis de cal (Figura 4), aunque no hubo efecto significativo de tratamiento.

Los tratamientos de 2 y 3 t ha<sup>-1</sup> de la mezcla CaCO<sub>3</sub> + MgO aumentaron el nivel de Mg foliar (Figura 4). El contenido más alto se presentó en el tratamiento de 3 t ha<sup>-1</sup> de la mezcla de CaCO<sub>3</sub> + MgO y hubo diferencia significativa con relación al resto de los tratamientos en el muestreo de 12 meses ( $p \leq 0,05$ ). Los resultados muestran que las enmiendas con Ca

y/o Mg también ejercen un efecto fertilizante al suministrar estos elementos al cultivo, lo cual redundaba en un beneficio adicional (Espinosa y Molina 1999).

### Efecto del encalado en el rendimiento de naranja

Los resultados para las variables de rendimiento de cajas ha<sup>-1</sup> y libras de sólidos solubles totales se presentan en el cuadro 6. Ambas variables se consideran las más importantes en el cultivo de naranja para producción de jugo concentrado, debido a que representan el rendimiento agrícola y el rendimiento industrial, respectivamente. Hubo un efecto significativo del encalado en el rendimiento de naranja con respecto al testigo sin cal. La respuesta a la cal se presentó en forma lineal en los 4 años de cosecha evaluados, con un incremento en el rendimiento

Cuadro 5. Efecto de la fuente y dosis de cal en el contenido foliar de nutrimentos de naranja Valencia.

Tratamientos		N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn
				%						
<b>6 meses</b>										
Testigo	0	2,83	0,13	1,88	0,23	2,32	222	554	123	28
CaCO <sub>3</sub> grueso, 1 t ha <sup>-1</sup>	G1	2,78	0,15	1,94	0,23	2,58	242	628	148	22
CaCO <sub>3</sub> grueso, 2 t ha <sup>-1</sup>	G2	2,60	0,16	2,49	0,25	2,36	238	577	106	23
CaCO <sub>3</sub> grueso, 3 t ha <sup>-1</sup>	G3	2,59	0,14	2,49	0,24	2,37	236	515	117	24
CaCO <sub>3</sub> fino, 1 t ha <sup>-1</sup>	F1	2,66	0,14	2,16	0,28	2,24	228	426	94	29
CaCO <sub>3</sub> fino, 2 t ha <sup>-1</sup>	F2	2,52	0,14	2,21	0,26	2,23	215	527	170	25
CaCO <sub>3</sub> fino, 3 t ha <sup>-1</sup>	F3	2,74	0,15	2,40	0,24	2,46	235	521	123	22
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 1 t ha <sup>-1</sup>	Mg1	2,70	0,13	2,08	0,26	2,38	220	484	141	22
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 2 t ha <sup>-1</sup>	Mg2	2,65	0,15	2,45	0,30	2,52	241	638	163	28
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 3 t ha <sup>-1</sup>	Mg3	2,65	0,14	2,82	0,30	2,27	234	467	112	24
<b>12 meses</b>										
Testigo	0	2,89	0,17	2,04	0,29	1,82	164	17	89	23
CaCO <sub>3</sub> grueso, 1 t ha <sup>-1</sup>	G1	2,91	0,17	2,01	0,28	1,91	140	15	85	23
CaCO <sub>3</sub> grueso, 2 t ha <sup>-1</sup>	G2	2,79	0,16	2,66	0,29	1,70	173	16	85	26
CaCO <sub>3</sub> grueso, 3 t ha <sup>-1</sup>	G3	2,67	0,17	2,63	0,27	1,68	168	17	98	31
CaCO <sub>3</sub> fino, 1 t ha <sup>-1</sup>	F1	2,78	0,17	2,16	0,29	1,96	161	16	84	30
CaCO <sub>3</sub> fino, 2 t ha <sup>-1</sup>	F2	2,81	0,17	2,40	0,29	1,73	131	31	84	23
CaCO <sub>3</sub> fino, 3 t ha <sup>-1</sup>	F3	2,87	0,17	2,61	0,27	1,89	131	14	82	24
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 1 t ha <sup>-1</sup>	Mg1	2,88	0,17	2,15	0,30	1,88	253	20	86	27
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 2 t ha <sup>-1</sup>	Mg2	2,72	0,17	2,51	0,31	1,66	179	16	85	25
CaCO <sub>3</sub> +MgO, 3 t ha <sup>-1</sup>	Mg3	2,82	0,16	2,59	0,38	1,69	140	15	80	22

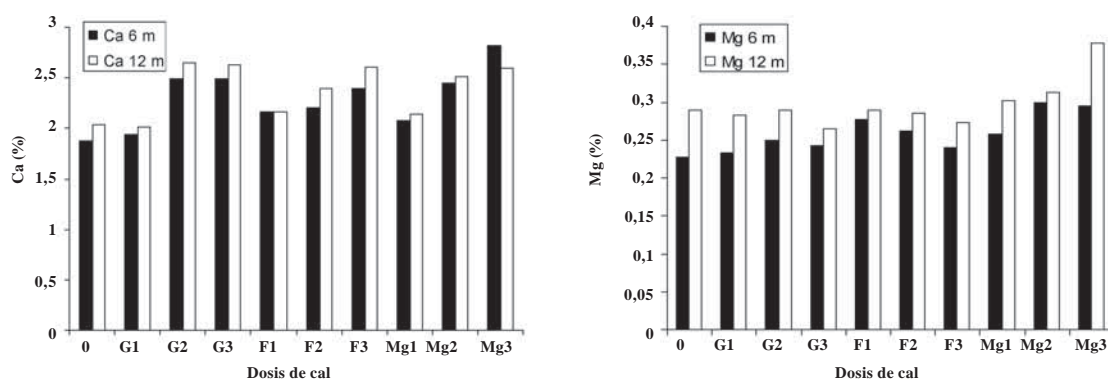


Fig. 4. Efecto de la dosis y fuente de cal en el contenido de Ca y Mg foliar.

Cuadro 6. Efecto de la fuente y dosis de cal en el rendimiento de naranja Valencia.

Tratamiento	1995	1996	1997	1998	Promedio
<b>Cajas ha<sup>-1</sup>*</b>					
1-Testigo	113 a	141 a	592 a	708 a	389 a
2-CaCO <sub>3</sub> grueso, 1 t ha <sup>-1</sup>	267 abc	145 a	782 ab	903 abc	524 ab
3-CaCO <sub>3</sub> grueso, 2 t ha <sup>-1</sup>	422 abc	269 ab	1017 bcd	1169 bcd	719 bcd
4-CaCO <sub>3</sub> grueso, 3 t ha <sup>-1</sup>	551 c	204 ab	1224 d	1064 abcd	736 cd
5-CaCO <sub>3</sub> fino, 1 t ha <sup>-1</sup>	191 ab	158 ab	836 ab	864 abcd	512 ab
6-CaCO <sub>3</sub> fino, 2 t ha <sup>-1</sup>	296 abc	180 ab	922 bc	831 ab	557 abc
7-CaCO <sub>3</sub> fino, 3 t ha <sup>-1</sup>	435 bc	265 ab	1111cd	1270 cd	770 cd
8-CaCO <sub>3</sub> +MgO, 1 t ha <sup>-1</sup>	244 abc	183 ab	895 bc	891 abc	553 abc
9-CaCO <sub>3</sub> +MgO, 2 t ha <sup>-1</sup>	358 abc	203 ab	1042 bcd	1022 abcd	656 bcd
10-CaCO <sub>3</sub> +MgO, 3 t ha <sup>-1</sup>	558 c	292 b	1242 d	1236 bcd	832 d
<b>L.S.T. ha<sup>-1</sup>**</b>					
1-Testigo	354 a	392 a	1862 a	1975 a	1146 a
2-CaCO <sub>3</sub> grueso, 1 t ha <sup>-1</sup>	973 abc	432 a	2386 ab	2728 abc	1630 ab
3-CaCO <sub>3</sub> grueso, 2 t ha <sup>-1</sup>	1398 abc	754 ab	3191 bcd	3747 bcd	2272 bcd
4-CaCO <sub>3</sub> grueso, 3 t ha <sup>-1</sup>	1983 c	604 ab	3949 d	3212 abcd	2437 cd
5-CaCO <sub>3</sub> fino, 1 t ha <sup>-1</sup>	684 ab	453 a	2680 abc	2512 ab	1582 ab
6-CaCO <sub>3</sub> fino, 2 t ha <sup>-1</sup>	1058 abc	537 a	2834 abc	2538 ab	1742 abc
7-CaCO <sub>3</sub> fino, 3 t ha <sup>-1</sup>	1604 bc	713 ab	3355 bcd	3957 cd	2407 cd
8-CaCO <sub>3</sub> +MgO, 1 t ha <sup>-1</sup>	883 abc	513 a	2792 abc	2624 ab	1703 abc
9-CaCO <sub>3</sub> +MgO, 2 t ha <sup>-1</sup>	1236 abc	583 ab	3241 bcd	3243 bcd	2076 bcd
10-CaCO <sub>3</sub> +MgO, 3 t ha <sup>-1</sup>	1861 c	1036 b	3573 cd	3687 bcd	2540 d

\* Cajas de 40,82 kg de fruta fresca.

\*\* Libras de Sólidos Solubles Totales en el jugo.

Medias con diferente letra difieren estadísticamente según prueba de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

de fruta y sólidos solubles al elevarse la dosis. El tratamiento de 3 t ha<sup>-1</sup> de cal presentó el rendimiento más alto con los 3 materiales evaluados en las 4 cosechas, lo que indica la posibilidad de presentar respuesta a una dosis más alta de cal. La acidez del suelo causa una disminución en el rendimiento de naranja, probablemente por el efecto fitotóxico del Al intercambiable sobre el crecimiento de las raíces, y por las deficiencias de Ca y Mg que disminuyen el crecimiento vegetativo y la producción de fruta.

Los resultados muestran que el encalado incrementa la producción de fruta en naranja Valencia, y que también mejora la extracción de sólidos solubles en el jugo. En promedio para las 4 cosechas, la dosis más baja de 1 t ha<sup>-1</sup> incrementó entre 35 y 40% el rendimiento de cajas ha<sup>-1</sup> y sólidos solubles, en tanto que la dosis de 3 t ha<sup>-1</sup> produjo más del doble de rendimiento que el testigo sin. La curva de respuesta a la cal se mantuvo casi sin variar durante los 4 años de cosecha, incluso en la cosecha de 1996, donde los rendimientos fueron muy bajos, debido a que el año anterior hubo un período seco muy prolongado que disminuyó la floración y afectó la producción de naranja, como consecuencia del fenómeno del Niño. Aunque la naranja es tolerante a la acidez del suelo (Malavolta 1983), el encalado en suelos ácidos favorece el crecimiento y rendimiento de fruta tal y como ha sido encontrado por otros investigadores (Anderson 1987, Vitti *et al.* 1994, Vitti *et al.* 1996). Los efectos benéficos del encalado se dan no sólo por la neutralización del Al intercambiable, sino también por el incremento en el contenido de Ca y Mg disponible para las plantas.

No hubo diferencias significativas entre los 3 materiales de encalado a la misma dosis, aún cuando había diferencias importantes desde el punto de vista de calidad entre ellos. El material más grueso de La Palmera y con el PRNT más bajo, produjo rendimientos similares que el material más fino de Cempasa, lo que indica que no hubo efecto de la granulometría en la producción de naranja aún después de 5 años de aplicada la cal. Al respecto, se ha indicado que el

tamaño de las partículas tiene gran influencia en la efectividad de la cal para la neutralización de la acidez del suelo, siendo que los materiales más finos reaccionan más rápido y son más efectivos a corto plazo (Espinosa y Molina 1999). Sin embargo, en el presente estudio no se presentó diferencia alguna por efecto de la granulometría sobre el rendimiento de naranja, quizás por el hecho de que la cal fue aplicada sobre la superficie del suelo sin incorporarla, lo que causó cambios en su granulometría original, por efecto de la lluvia y la humedad del ambiente. La cal que queda expuesta sobre la superficie del suelo puede fácilmente convertirse en partículas más gruesas o en “costras” por efecto de la humedad.

Tampoco se presentó diferencias por efecto de la fuente química del material, aunque la mezcla de CaCO<sub>3</sub> + MgO presentó un mejor rendimiento. Al respecto, un estudio realizado por Casarin *et al.* (1995) en un suelo ácido de Brasil, no encontró diferencias significativas entre distintos materiales de encalado, que incluían carbonatos de calcio, carbonatos de magnesio, dolomita y mezclas de los 3 con yeso, aunque si hubo un efecto significativo en el rendimiento de limón con respecto al tratamiento testigo sin cal.

La mezcla de CaCO<sub>3</sub> + MgO produjo rendimientos más altos en cajas ha<sup>-1</sup> y libras de sólidos solubles ha<sup>-1</sup> que los otros 2 materiales, especialmente con la dosis de 3 t ha<sup>-1</sup>, aunque no tuvo diferencias significativas con relación a la misma dosis de los otros 2 materiales. El efecto más favorable de la mezcla probablemente se debe a su mayor PRNT en comparación con los otros 2 materiales, que incrementó su grado de eficiencia para neutralizar la acidez del suelo (Molina 1998); y también a la presencia de Mg en el material. Dado que el suelo presentó deficiencia de Mg (Cuadro 1), la posibilidad de respuesta a su aplicación era muy alta, tal y como lo confirman los resultados. Además, en los tratamientos testigo y de CaCO<sub>3</sub>, se observaron síntomas de deficiencia de Mg, esta deficiencia es muy común en Ultisoles, debido a la naturaleza ácida de estos suelos (Molina

1998). Aunque su deficiencia puede corregirse con fertilizantes con Mg como el K-mag, el uso de enmiendas como la cal dolomítica o el óxido de magnesio ha resultado ser más efectivo como tratamiento a más largo plazo debido a su mayor efecto residual y neutralizante de la acidez del suelo (Espinosa y Molina 1999).

Los 3 materiales de encalado presentaron un buen efecto residual, aún 5 años después de aplicada, lo que se corroboró con el rendimiento obtenido en la cosecha de 1998. Tampoco en este caso hubo diferencias significativas por efecto de la calidad del material, lo que indica que el material grueso de La Palmera tuvo el mismo efecto residual que los otros 2. A pesar de su alta fineza de partículas, los materiales de Cempasa y la mezcla de  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$  presentaron un excelente efecto residual después de 5 años de aplicada la cal, lo que no concuerda con el criterio establecido de que materiales muy finos no tienen un efecto residual prolongado (Alcarde 1992, Molina 1998). Quizás el hecho de que el suelo presentaba una alta saturación de acidez inicial, sumado a una fuerte deficiencia de Ca, ayuda a explicar la razón por la que los materiales más finos continuaron teniendo efecto favorable en el rendimiento del cultivo.

La saturación de acidez y acidez intercambiable en el suelo presentaron un efecto significativo en el rendimiento de naranja. Hubo una correlación lineal negativa entre estas variables y el rendimiento de naranja en cajas  $\text{ha}^{-1}$  ( $r=-0,83^{**}$  para saturación de acidez y  $r=-0,79^{**}$  para acidez intercambiable), lo que demuestra que el incremento en los factores de acidez del suelo reducen el rendimiento de naranja y otros cítricos, como lo indican Vitti *et al.* (1996). El efecto de la saturación de acidez en el rendimiento de naranja se observa en la figura 5 para las cosechas de los años 97 y 98. El incremento en la saturación de acidez por encima de 35% causó una disminución en el rendimiento de naranja, debido probablemente al efecto tóxico del  $\text{Al}^{+3}$  intercambiable y las deficiencias de Ca y Mg, sobre el crecimiento de los árboles (Malavolta 1983, Vitti

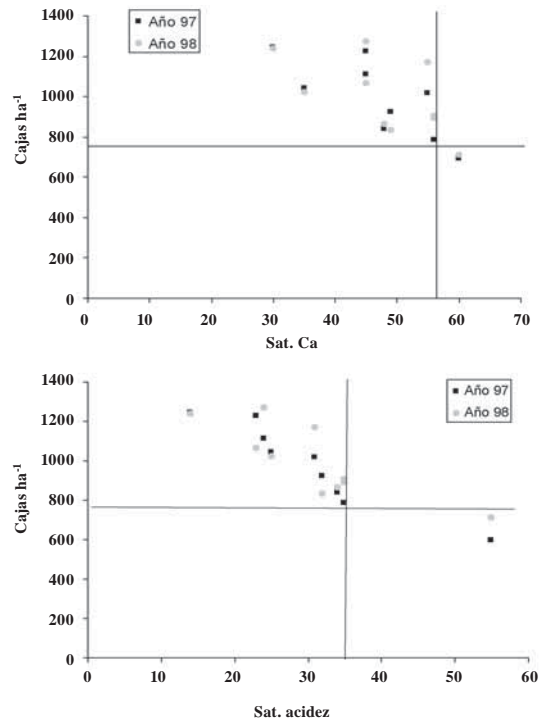


Fig. 5. Efecto de la saturación de acidez y calcio en el suelo en el rendimiento de naranja.

*et al.* 1994). Los resultados coinciden con las recomendaciones de Boaretto *et al.* (1996) para cítricos en Brasil, quien sugiere encalar el suelo para reducir la acidez a un nivel mínimo de 30% de saturación de acidez.

El rendimiento de naranja presentó una correlación lineal positiva con el contenido de Ca y Mg intercambiable en el suelo ( $r=0,87^{**}$  y  $0,73^{**}$ , respectivamente). La saturación de Ca también afectó el rendimiento de naranja (Figura 5). El rendimiento de naranja disminuye con valores por debajo de 57% de saturación de Ca. El valor coincide con el nivel mínimo de 50% de saturación de Ca recomendado por Malavolta (1976) para plantaciones de naranja en Brasil, y con el Instituto Agronómico (1997) que sugiere un mínimo de 40% de saturación de Ca en el suelo para naranja.

## CONCLUSIONES

1. La aplicación de cal tuvo un efecto significativo en la fertilidad del suelo, al aumentar la dosis se incrementó el contenido de Ca intercambiable, y se redujo la acidez del suelo y la saturación de acidez. La cal incrementó sólo ligeramente el pH, lo que indica la alta capacidad tampón de este suelo. La mezcla de  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$  aumentó significativamente el contenido de Mg intercambiable, siendo el efecto más marcado con la dosis de  $3 \text{ t ha}^{-1}$ .
2. No hubo efecto significativo de la adición de cal en el contenido foliar de nutrimentos, con excepción del nivel de Mg foliar en el muestreo de los 12 meses, que aumentó su valor con las dosis de 2 y  $3 \text{ t ha}^{-1}$  de la mezcla de  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$ .
3. Hubo un efecto significativo del encalado en el rendimiento de naranja con respecto al testigo sin cal. La respuesta de la cal se presentó en forma lineal en los 4 años de cosecha evaluados, con un incremento en el rendimiento de fruta y sólidos solubles al elevarse la dosis. El tratamiento de  $3 \text{ t ha}^{-1}$  de cal presentó el rendimiento más alto con los 3 materiales evaluados en las 4 cosechas, lo que indica la posibilidad de presentar respuesta a una dosis mayor.
4. No hubo diferencias significativas entre las 3 fuentes de cal en las variables de suelo y rendimiento, lo que indica que las variaciones en calidad química y física de los materiales no afectaron los resultados. Sin embargo, la mezcla  $\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$  presentó el valor de acidez más bajo y el más alto de Mg en el suelo y en las hojas, y los rendimientos más altos de fruta y sólidos solubles.
5. La saturación de acidez por encima de 35% y de Ca por debajo de 57%, estuvo asociada con bajos rendimientos de naranja.

## LITERATURA CITADA

- ALCARDE J.C. 1992. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. ANDA, Sao Paulo, Brasil. Boletim Técnico No. 6. 26 p.
- ANDERSON C.A. 1987. Fruit yields, tree size, and mineral nutrition relationships in Valencia oranges trees as affected by liming. *Journal of Plant Nutrition* 10(9-16): 1907-1916.
- BARBER S. 1984. Liming materials and practices. *In: Soil acidity and liming*. F. Adams (ed), ASA, Wisconsin. p. 171-209.
- BERTSCH F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS, San José, Costa Rica. 57 p.
- BOARETTO A.E., MURAOKA T., REGO I.C. 1996. Calagem e gessagem em citricultura. *In: Anais IV Seminário Internacional de Citros Nutrição e Adubação*, Fundação Cargill, Sao Paulo, Brasil. p. 115-129.
- BRICEÑO J., PACHECO R. 1984. Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas. Editorial U.C.R., San José, Costa Rica. 137 p.
- CARBALLO L., MOLINA E. 1993. Caracterización física y química de materiales de encalado en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 17(2):105-110.
- CASARIN V., VITTI G.C., MONTEIRO F.A., SILVEIRA, R.L. 1995. Materiais corretivos aplicados num Latossolo Vermelho Escuro com cultura de citros. *In: XXV Congresso Brasileiro De Ciencia do Solo*, Viçosa, Brasil. p. 1156-1158.
- CHAVES M.A. 1993. Importancia de las características de calidad de los correctivos de acidez del suelo: desarrollo de un ejemplo práctico para su cálculo. DIECA, San José, Costa Rica. 41 p.
- DÍAZ-ROMEY R., HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- ESPINOSA J., MOLINA E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. INPOFOS, Quito, Ecuador. 42 p.
- INSTITUTO AGRONÓMICO. 1997. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Sao Paulo. Bernardo van Raij (ed) Instituto Agronómico, Campinas, Brasil. 285 p.
- KAMPRATH E. 1984. Crop response to lime in soils of the tropics. *In: F. Adams (ed). Soil acidity and liming*. ASA, Wisconsin. p. 349-369.

- KOO R. C. J. 1989. Citrus. *In*: Detecting mineral nutrient deficiencies in tropical and temperate crops. D.L. Plucknett y H.B. Sprague (eds), Westview Press, Colorado, USA. p. 327-336.
- MALAVOLTA E. 1976. Manual de química agrícola, nutrição do plantas, e fertilidade do solo. Ceres, Sao Paulo, Brasil. 528 p.
- MALAVOLTA E. 1983. Nutrição mineral e adubação da laranjeira. *In*: Nutrição mineral e adubação do citros, Boletim Técnico No. 5. C.S. Moerira (ed), Instituto da Potassa, Piracicaba, Brasil. p.13-71.
- MOLINA E. 1999. Fertilización y nutrición mineral de naranja en Costa Rica. *In*: 11º Congreso Nacional Agronómico y Recursos Naturales, 3º Congreso Nacional de Suelos. Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José Costa Rica. Vol. III, p. 291-304.
- MOLINA E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. ACCS, San José, Costa Rica. 45 p.
- QUAGGIO J.A. 1991. Repostas da laranjeira Valencia a calagem e ao equilibrio de bases num Latossolo Vermelho Escuro de textura argilosa. Tese Doutorado em Solos, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade do Sao Paulo, Brasil. 107 p.
- RAIJ B. VAN. 1991. Fertilidade do solo e adubação. INPOFOS, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 343 p.
- SALAS R., MOLINA E., BOULDIN D. 1996. Lime response of tanager in an Ultisol of Costa Rica. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 27(9/10): 2477-2484.
- SÁNCHEZ P.A., SALINAS J.G. 1983a. Suelos ácidos: estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, Colombia. 93 p.
- SÁNCHEZ P.A., SALINAS J.G. 1983b. Low input technology for managing Oxisol and Ultisol in Tropical America. *Advances in Agronomy* 34: 279-406.
- VITTI G.C., SILVA J.A., SEMPIONATO O.R., CABRITA J.R. 1994. Efeitos da aplicação de calcário calcinado dolomítico, gesso e mistura calcário/gesso na produção da cultura de citros. *In*: XIII Congresso Brasileiro de Fruticultura, Salvador, Brasil. p. 518-519.
- VITTI G.C., CERQUEIRA P.H., LEO H.C., SILVA M.M. 1996. Técnicas de utilização de calcário e gesso na cultura dos citros. *In*: Anais IV Seminario Internacional de Citros Nutrição e Adubação, Sao Paulo, Brasil. Fundação Cargill. p. 131-160.
- ZAPATA R. 2004. Química de la acidez del suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Cali, Colombia. 208 p.