

EFFECTO COMPARATIVO DE LA CALCITA Y CONCHAS DE MOLUSCOS MARINOS SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE DOS ULTISOLES DEL ESTADO MONAGAS

COMPARATIVE EFFECT OF THE CALCITE AND MARINE MOLLUSKS SHELLS ON SOME CHEMICAL PROPERTIES OF TWO ULTISOLES FROM MONAGAS STATE

WILMER R. SÁNCHEZ, MOHAMMAD MOHSIN, JOSÉ IMERY

*Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Escuela de Ciencias
Cumaná 6101. Venezuela. Apartado 245.*

RESUMEN

Se evaluaron los efectos de la aplicación de calcita y conchas de moluscos marinos (CMM) sobre algunas propiedades químicas de dos Ultisoles de sabana (San Agustín y Tonoro), siguiendo la metodología convencional para análisis de suelo. La adición de CMM a razón de 0, 1, 2 y 3 t.ha⁻¹ de CaCO₃ causó un aumento progresivo del pH y calcio intercambiable, siendo mayor el incremento del pH en el suelo de Tonoro, debido a su menor contenido de aluminio y carbono orgánico; mientras que se observó un mayor cambio en el calcio intercambiable del suelo de San Agustín, asociado a su más alta capacidad de intercambio catiónico. Al agregar 1 t.ha⁻¹ de CaCO₃ de ambas fuentes, los resultados sobre el pH, calcio y aluminio intercambiables fueron estadísticamente similares. El encalamiento con CMM produjo un descenso del aluminio y acidez intercambiable al aumentar gradualmente las dosis; no obstante, se observó un efecto detrimental sobre el fósforo disponible al aumentar las dosis de ambas fuentes calcáreas en los suelos, siendo menor este efecto en el suelo de Tonoro. Los cambios de pH y aluminio intercambiable en el suelo de San Agustín fueron inversamente proporcionales e independientes del tipo de material calcáreo. Se demuestra que las CMM pueden aumentar el pH y calcio intercambiable al igual que la calcita en suelos ácidos, y debido a su mayor granulometría podrían suministrar una importante cantidad de calcio a los cultivos por un largo período, empleándose un material de desecho, económico y abundante.

PALABRAS CLAVES: Encalamiento, conchas de moluscos marinos, carbonato de calcio, suelos ácidos, propiedades químicas.

ABSTRACT

The effects of the application of a calcite and marine mollusks shells (MMS) were evaluated on some chemical properties of two savanna Ultisoles (San Agustín and Tonoro), following the conventional methodology for soil analysis. The addition of MMS at the rate of 0, 1, 2 and 3 t.ha⁻¹ in terms of CaCO₃, and all of them resulted progressively the pH and exchangeable calcium, but with higher relative increment in the soil of Tonoro, which may be due to a low content of exchangeable aluminium and organic carbon. However, it was observed that higher exchangeable calcium in the soil of San Agustín, could be due to higher exchangeable cations. The results of pH, exchangeable calcium and aluminium were statistically similar at the rate of 1 t.ha⁻¹ of CaCO₃, applied from two alkaline sources. An increase in the doses of the MMS alkaline materials produced a decrease in aluminium and exchangeable acidity interchangeable, however it was observed a deteriorating effect on the content of available phosphorus with all the rates of two sources calcareous substances in both the soils but at lower levels in Tonoro. The changes of pH and exchangeable aluminium were inversely proportional in the soil of San Agustín irrespective of the types of liming products. It was demonstrated that the mollusks shells can raise the pH and exchangeable calcium similar to that of a calcite in acid soils with a long term effects due to a relatively higher grain size of some of the MMS ingredients, and these are abundant economic waste materials which can supply an important quantity of calcium to crops for a long time, using a discard, economic, and abundant material.

KEY WORDS: Liming, marine mollusks shells, calcium carbonate, acid soils, chemical properties.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de cal agrícola o piedra caliza al suelo para neutralizar su acidez es una vieja práctica para incrementar la productividad de las cosechas; las dosis de cal deben ajustarse según la profundidad de incorporación del material calcáreo con la finalidad de que el suelo alcance el nivel de pH deseado, aunque

éste no siempre se logre exactamente. La disponibilidad relativa de un material de encalamiento también se ve afectada por el tamaño de la partícula. Se ha encontrado que la cal reduce las cantidades de aluminio y manganeso intercambiables hasta concentraciones no tóxicas Summer *et al.* (1986) y afecta la disponibilidad de algunos nutrimentos como el fósforo (Westermann 1992).

En lo práctico, interesa conocer cuáles son los efectos del pH sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Entre éstas se citan la movilidad de los elementos, aumentando o disminuyendo su solubilidad. Así, la actividad de los nutrientes viene regulada por el pH. Como las plantas sólo pueden absorber los iones que se encuentran en disolución, éstas presentarán síntomas de carencias de ciertos elementos aún cuando su concentración en los sitios del suelo sea elevada, si el pH no es adecuado y los elementos no se encuentran solubles, su disponibilidad a los cultivos será casi nula (López 1986).

Los resultados de varios experimentos de campo y laboratorio, realizados en Europa y América del Norte, sobre los efectos del encalamiento han sido reportados por (Lundström *et al.* 2003). Los efectos positivos incluyen la neutralización de la acidez del suelo, disminución de la solubilidad de metales pesados y aluminio potencialmente tóxicos e incremento del magnesio y calcio disponibles a las plantas (Hahn y Marschner 1998). Los efectos negativos están asociados principalmente con los fenómenos biológicos; al aumentar el pH puede incrementarse el grado de descomposición de la materia orgánica Priha y Smolander (1994), con la consecuente pérdida del carbono orgánico. Esta elevación del pH, asociado con mayores niveles de amonio disponible, puede originar una mayor nitrificación y lixiviación del nitrato por agua de drenaje (Kreutzer 1995). Estos efectos parecen depender de factores específicos, dosis y fuentes de encalamiento.

La cal, cuando se aplica para regular el pH, puede hacer mucho más que solamente elevar el pH del suelo: reduce la toxicidad de aluminio y otros metales, mejora las condiciones físicas del suelo, estimula la actividad microbiana, incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de carga variable, incrementa la disponibilidad de varios nutrientes, proporciona calcio y magnesio para las plantas y mejora la fijación simbiótica de nitrógeno en las leguminosas. Sin embargo, en suelos tropicales con alto contenido de óxidos de hierro y aluminio, el “sobre encalar” el suelo, tratando de llegar a valores de pH mayores que 6, puede reducir drásticamente la producción, causar deterioro estructural del suelo, reducir la disponibilidad de fósforo e inducir deficiencias de zinc, boro y manganeso (Pérez 1986).

Además de considerar las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos al encalarlos, debe tomarse en cuenta también otros factores como: tipo de cultivo, el método y tiempo de aplicación, condiciones

climáticas, especialmente precipitación y temperatura, y además, la composición, pureza y tamaño de partículas del material calizo utilizado. La complejidad de estas variables, junto a sus respectivas interacciones, hace difícil pronosticar con precisión la cantidad adecuada que deba aplicarse de una enmienda calcárea.

En Venezuela, durante los últimos años se han realizado varios experimentos utilizando diferentes tipos de materiales como correctores de pH en suelos ácidos, tales como calcitas, dolomitas, óxidos e hidróxidos de calcio, escorias básicas provenientes de industrias de acero y hierro, huesos molidos, entre otros. En las costas del oriente venezolano, abundan distintas especies de moluscos marinos con envoltura calcárea (almejas, mejillones, ostras, caracoles, etc.), los cuales, luego de extraérseles su contenido nutritivo, sus conchas son arrojadas en los alrededores, como desperdicios. El material calcáreo de estos desechos se puede aprovechar como fuente de carbonato de calcio, debido a su elevado contenido (más del 60 %), bien sea en la preparación de alimentos concentrados para animales o como enmienda de encalamiento en suelos ácidos para aumentar el pH y la disponibilidad de los nutrientes a los cultivos.

Cabe destacar que actualmente una tonelada métrica de cal agrícola tiene un precio equivalente de 15-16,5 \$ U.S.A., incluyendo el flete. Esto justifica la búsqueda de nuevas alternativas para reducir el costo de encalamiento de los suelos y garantizar, además, una mayor conservación de los mismos. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue evaluar, comparativamente y bajo condiciones de laboratorio, los efectos de la aplicación de calcita y una fuente alternativa de CaCO_3 derivada de la pulverización de Conchas de Molusco Marinos (CMM) sobre las propiedades químicas más relevantes de dos suelos ácidos colectados en sabanas monaguenses.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los suelos de capa arable (0–15 cm) fueron colectados en las localidades de San Agustín y Tonoro del estado Monagas, secados al aire, pasados por un tamiz de 2 mm, mezclados y homogeneizados. En una submuestra se determinó el pH en agua y $\text{KCl } 1 \text{ mol.l}^{-1}$, en una relación de 1:2,5; P disponible, extraído con NaHCO_3 por el método de Olsen *et al.* (disoluciones moderadamente alcalinas, bicarbonatos de sodio o carbonato de potasio) y determinado según Murphy y Riley (1972); capacidad de intercambio catiónico (CIC) y acidez intercambiable, aplicando el método de cloruro de bario-trietanolamina modificado Pratt y Holowaychuk (1954); carbono

orgánico (CO), utilizando el método de Walkley y Black, modificado, descrito por Gilabert *et al.* (1990); bases intercambiables, extraídas con una solución de acetato de amonio 1 mol.l⁻¹ a pH 7, y determinadas por absorción atómica (Ca y Mg) y fotometría de llama (K y Na); aluminio intercambiable, extraído con KCl 1 mol.l⁻¹ y determinado por titulación con NaOH, según Raij (1994); textura, por el método del hidrómetro de Bouyoucos (USDA, 1983). Los porcentajes de saturación de bases (PSB) y de saturación de aluminio (PSA) fueron calculados en base a la capacidad de intercambio catiónico efectiva (suma de Ca, Mg, K, Na y Al intercambiables).

Las CMM, provenientes del norte de la península de Araya, estado Sucre, fueron finamente molidas y analizadas en su contenido de CaCO₃ y MgCO₃ mediante la volatilización del CO₂ y la determinación respectiva del Ca y Mg por absorción atómica. Como material de referencia se utilizó la calcita con un 95 % de carbonato de calcio, suministrado por la empresa MicroCar, Cumaná, estado Sucre. Esta muestra se hizo pasar a través de un tamiz de malla 100 para lograr una granulometría similar a la cal agrícola comercial.

Se incubaron 3 kg de suelo, agregando calcita en dosis de 0; 0,5; 1,0 y 1,5 t.ha⁻¹, en ambos suelos, con cuatro repeticiones por tratamiento. Se llevó a cabo, simultáneamente, la incubación con restos de las CMM molidas a razón de 0, 1, 2 y 3 t.ha⁻¹. Las dosis fueron calculadas como toneladas de CaCO₃ por hectárea de suelo. Se agregó el doble de dosis en forma de CMM debido a que, supuestamente, éstas eran menos reactivas que la cal agrícola por poseer mayor tamaño de partículas. Cada uno de los tratamientos fue humedecido hasta la capacidad de campo e incubado por un período de dos meses, cubriéndose con plástico muy delgado para

retardar la evaporación y agregando agua para mantener la humedad constante. Al final de la incubación, las muestras fueron secadas y trituradas para determinar Al, K, Na, Ca y Mg intercambiables, P disponible, acidez intercambiable, CIC y pH, siguiendo los métodos ya mencionados.

Se empleó un diseño experimental en arreglo factorial (7x2), siendo uno de los factores el tipo de suelo y el otro representado por una combinación de la fuente de carbonato de calcio con su dosis respectiva. El procesamiento estadístico comprendió análisis de varianza y prueba de ámbitos múltiples de Duncan, según (Sokal y Rohlf 1979).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la calcita y CMM sobre el pH del suelo

Los resultados del análisis de los suelos, la Calcita y CMM se presentan respectivamente en la Tabla 1 y 2.

Ambas fuentes de carbonatos produjeron aumentos de pH en los dos suelos, siendo mayor este efecto con la dosis de 3 t.ha⁻¹, aplicada como CMM en el suelo de Tonoro (Tabla 3). Esta respuesta puede estar sujeta a la baja cantidad de aluminio intercambiable y carbono orgánico en este suelo, siendo muy baja su capacidad amortiguadora, lo cual está de acuerdo con lo observado por otros investigadores (Sánchez 1977; López 1980, 1986). Por otro lado, el incremento del pH está restringido en el tratamiento con calcita, ya que la mayor dosis de ésta fue 1,5 t.ha⁻¹. Sólo la dosis de 1 t.ha⁻¹ es similar para ambas fuentes. Las CMM (3 t.ha⁻¹) son las causantes del mayor valor de pH en el suelo de Tonoro; mientras que las tres dosis de calcita (0,5; 1,0 y 1,5 t.ha⁻¹) fueron similares a la de 2 t.ha⁻¹ en forma de CMM, aplicadas a este suelo (Tabla 4).

Tabla 1. Algunas propiedades fisicoquímicas de los suelos utilizados.

Suelo*	Cationes intercambiables					CIC	Acidez	PSB	PSA	C.O.	P Olsen	pH	
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺							KCl	H ₂ O
Tonoro	0,34	0,21	0,27	0,14	0,015	3,95	0,204	98,46	1,54	0,93	1,96	4,07	5,26
S. Agustín	0,35	0,14	0,027	0,07	0,29	6,25	0,81	66,93	33,07	1,61	1,37	3,80	4,60

*Ambos suelos son de textura francoarenosa con bajo porcentaje de arcilla.

C.O.: Carbono orgánico. PSA: Porcentaje de saturación de aluminio. PSB: Porcentaje de saturación de bases.

$$PSA = \frac{Al^{3+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} + Al^{3+}} \times 100 \quad PSB = \frac{Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} + Al^{3+}} \times 100$$

Tabla 2. Concentración (%) de algunos componentes de la calcita y las conchas de moluscos marinos.

Fuente	CaCO ₃	MgCO ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	ZnO
Calcita	95,0	3,00	0,10	1,00	-----	-----
Conchas	78,0	0,50	0,43	-----	0,093	0,011

Tabla 3. Efecto de la aplicación de calcita y conchas de moluscos marinos sobre algunas propiedades químicas de dos suelos ácidos del estado Monagas.

Suelo	Fuente	CaCO ₃ añadido		Cationes Intercambiables (cmol.kg ⁻¹)				P	pH	Acidez CIC		PSB	PSA
		t.ha ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	(mg.kg ⁻¹)	H ₂ O	(cmol.kg ⁻¹)		-----(%)------	
Tonoro	Control	0,0	0,34 ^g	0,21 ^{bc}	0,27	0,14	0,02 ^f	1,90 ^a	5,26 ^{de}	0,20	5,24	98,47	1,53
	Concha	1,0	0,72 ^{ef}	0,21 ^{bc}	0,25	0,14	0,00 ^f	0,99 ^{cde}	6,32 ^c	0,10	5,19	99,92	0,08
	“	2,0	1,06 ^d	0,21 ^{bc}	0,22	0,16	0,00 ^f	1,10 ^{bcd}	6,52 ^{bc}	0,00	5,19	100,00	0,00
	“	3,0	1,42 ^{bc}	0,21 ^{bc}	0,25	0,13	0,00 ^f	1,43 ^{abc}	7,94 ^a	0,00	5,29	100,00	0,00
	Calcita	0,5	0,46 ^g	0,21 ^{bc}	0,18	0,08	0,00 ^f	0,70 ^{cde}	6,04 ^c	0,10	5,18	99,68	0,32
	“	1,0	0,68 ^f	0,23 ^{ab}	0,28	0,12	0,00 ^f	0,69 ^e	6,48 ^{bc}	0,10	4,89	99,92	0,08
	“	1,5	0,83 ^{de}	0,23 ^{ab}	0,23	0,08	0,00 ^f	0,66 ^e	6,88 ^b	0,00	5,00	100,00	0,00
S.Agustín	Control	0,0	0,35 ^g	0,14 ^c	0,03	0,07	0,29 ^a	1,40 ^{ab}	4,42 ^g	0,81	8,06	66,97	33,03
	Concha	1,0	0,81 ^d	0,16 ^{de}	0,03	0,07	0,12 ^c	1,17 ^{abcd}	4,91 ^{efg}	0,65	8,38	89,82	10,18
	“	2,0	1,23 ^b	0,17 ^{cd}	0,03	0,07	0,03 ^d	1,00 ^{abcd}	5,04 ^{def}	0,51	8,47	97,97	2,03
	“	3,0	1,54 ^a	0,16 ^{de}	0,03	0,07	0,01 ^f	0,92 ^{de}	5,47 ^d	0,42	8,59	99,55	0,45
	Calcita	0,5	0,67 ^f	0,17 ^{cd}	0,03	0,07	0,23 ^b	1,20 ^{ab}	4,70 ^{fg}	0,66	8,41	80,37	19,63
	“	1,0	0,84 ^{de}	0,18 ^{cd}	0,03	0,08	0,12 ^c	1,18 ^{abcd}	4,75 ^{fg}	0,61	8,46	90,34	9,66
	“	1,5	1,19 ^c	0,18 ^{cd}	0,03	0,06	0,05 ^d	1,19 ^{ab}	4,99 ^{def}	0,41	8,52	96,69	3,31

Valores promedios seguidos de letras distintas son estadísticamente diferentes, según prueba de rangos múltiples de Duncan ($\alpha = 0,05$).

Tabla 4. Resumen de los análisis de varianza para los efectos de las fuentes y dosis de CaCO₃ sobre algunas propiedades químicas de dos ultisoles incubados con calcita y conchas de moluscos marinos.

Fuentes de variación	PH		P disponible		Al intercambiable		Ca intercambiable	
	MC	F	MC	F	MC	F	MC	F
Suelos (A)	35,54	350,65***	1,10	10,28**	0,18	252,89***	1,08	87,09***
Fuente-Dosis (B)	2,59	25,23***	0,39	3,71**	1,81x10 ⁻²	25,94***	1,20	97,09***
Interacción (AxB)	0,51	5,04***	0,65	6,15***	1,39x10 ⁻²	19,92***	6,31x10 ⁻²	5,09***
Residual	0,10		0,11		6,96x10 ⁻⁴		1,24x10 ⁻²	

Fuentes de Variación	Mg intercambiable		K intercambiable		CIC		Na intercambiable	
	MC	F	MC	F	MC	F	MC	F
Suelos (A)	0,01	78,86***	0,321	181,89***	78,42	419,65***	0,02	24,14***
Fuente-Dosis (B)	4,58x10 ⁻⁴	3,23*	1,16x10 ⁻³	0,66NS	0,04	0,22 NS	1,11x10 ⁻³	1,34 NS
Interacción (AxB)	1,14x10 ⁻³	7,99***	1,21x10 ⁻³	0,69NS	0,23	1,20 NS	6,80x10 ⁻⁴	0,82 NS
Residual	2,30x10 ⁻²		1,76x10 ⁻³		0,19		8,32x10 ⁻⁴	

NS: no significativo ($\alpha=0,05$). *: significativo ($\alpha=0,05$). **: significativo ($\alpha=0,01$). ***: significativo ($\alpha=0,001$).

Analizando la dosis de 1 t.ha⁻¹ en forma de CMM y de calcita en el suelo de San Agustín, la primera enmienda originó un cambio de pH ligeramente mayor que la segunda, lo cual indica que ambas fuentes tienen casi el mismo efecto sobre el pH de este suelo (Tabla 3). La comparación de las medias mostró que ambos resultados no difieren significativamente. En el suelo de Tonoro se observa un mayor incremento del pH con la calcita que con las CMM. La comparación de las medias arrojó como resultado una diferencia no significativa entre estos valores de pH. Ambas fuentes de carbonato de calcio, aplicadas en dosis de 1 t.ha⁻¹, produjeron el mismo efecto sobre la acidez del suelo, lo cual indica que las CMM representan una buena alternativa de encalamiento para aumentar el pH de los suelos ácidos.

Efecto de la calcita y CMM sobre el aluminio intercambiable

Las aplicaciones de calcita y CMM, neutralizaron apreciablemente el aluminio intercambiable en los dos suelos, siendo este efecto más pronunciado en el suelo de Tonoro, donde la neutralización se logró totalmente con la máxima dosis de CaCO₃, en forma de calcita (1,5 t.ha⁻¹), al igual que con las dosis de 2 y 3 t.ha⁻¹, agregando CMM (Tabla 3). La cantidad de este ión metálico fue afectada por la interacción entre el tipo de suelo y la combinación de fuentes y dosis de CaCO₃ (Tabla 4). Todos los resultados de aluminio intercambiable en el suelo de Tonoro fueron estadísticamente similares, incluyendo al suelo testigo (sin encalar). Esto era de esperar, ya que este suelo tiene muy bajo contenido de aluminio y poca cantidad de carbono orgánico (Tabla 1), siendo muy sensible a las bajas dosis de CaCO₃. El efecto del encalamiento con las distintas fuentes y dosis sobre el aluminio intercambiable se aprecia mejor en el suelo de San Agustín, donde se observó una disminución progresiva de este ión a medida que aumenta la dosis con las diferentes fuentes. Los efectos logrados con la calcita y las CMM a nivel de 1 t.ha⁻¹ son similares, al igual que los alcanzados con 1,5 y 2 t.ha⁻¹, respectivamente. En ambos suelos, se neutralizó casi totalmente el aluminio con la mayor dosis de CaCO₃, aplicada como CMM.

Efecto de la calcita y CMM sobre la cantidad de bases intercambiables

Calcio intercambiable

El mayor incremento del calcio intercambiable se logró con las CMM, en dosis de 3 t.ha⁻¹, aplicadas al suelo de San Agustín, seguida de la dosis de 2 t.ha⁻¹ en

este mismo suelo, ubicándose de tercera las CMM a 3 t.ha⁻¹ en el suelo de Tonoro (Tabla 3). La mayor acidez, cantidad de carbono orgánico y PSA, además de una mayor CIC en el suelo de San Agustín, probablemente permitió disolver mayor cantidad de los carbonatos aplicados e incorporar el calcio en las arcillas y partículas coloidales. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos practicados con ambas fuentes, a dosis de 1 t.ha⁻¹, en cada uno de los suelos, por lo que también se puede considerar a las CMM como una fuente alterna de calcio para los suelos ácidos, cuya efectividad es comparable con la de la calcita en dosis de 1 t.ha⁻¹.

Magnesio intercambiable

La aplicación de CMM no tuvo efecto aparente sobre las cantidades de magnesio intercambiable en el suelo de Tonoro; mientras que en el de San Agustín éste fue independiente de las dosis. Los tratamientos con calcita aumentaron las cantidades de Mg²⁺ en ambos suelos, observándose los cambios más pronunciados en el suelo de San Agustín con las dosis de 1 y 1,5 t.ha⁻¹ (Tabla 3). La razón de lo observado puede atribuirse, en gran parte, al mayor contenido de carbonato de magnesio en la calcita (3%) con relación a las CMM (0,5 %), y a la mayor acidez y CIC de este suelo. Al evaluar la interacción suelo x fuente-dosis de CaCO₃, sobre esta propiedad del suelo, se obtuvo un valor muy significativo, lo cual indica que el Mg intercambiable varió marcadamente de un tratamiento a otro cuando se combinaron ambos factores (Tabla 4). Casi todos los datos obtenidos en el suelo de Tonoro fueron iguales al suelo control, diferenciándose muy poco de los alcanzados al agregar la calcita en dosis de 1 y 1,5 t.ha⁻¹. Esto confirma, precisamente, la poca efectividad de las CMM sobre el magnesio intercambiable en este suelo. Por otro lado, en el suelo de San Agustín se observa que los resultados obtenidos con las tres dosis de calcita y la de 2 t.ha⁻¹ de CMM son similares, y éstas a su vez, fueron comparables con las otras dosis de CMM, siendo todos estos valores mayores que los del suelo control, comparándose solamente, con este último los obtenidos con las CMM en dosis de 1 y 3 t.ha⁻¹.

Potasio intercambiable

Los iones intercambiables de este elemento no fueron afectados por las diferentes dosis de ambas fuentes, solamente se observó un efecto del tipo de suelo, siendo mayor la cantidad de potasio intercambiable en el suelo de Tonoro, lo que pudo estar relacionado también con el bajo suministro de potasio en la calcita y CMM (Tabla 1).

Efecto de la calcita y CMM sobre la disponibilidad del fósforo en los suelos

El fósforo disponible disminuyó con el aumento de las dosis de CaCO_3 , agregada como calcita en los dos suelos, en comparación con el control, a excepción de la dosis de $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, quizá por el pH casi neutro logrado con esta dosis. Las CMM produjeron el mismo resultado en el suelo de San Agustín. Esto también fue observado por Curtin y Syers (2001) en seis suelos de Nueva Zelanda con pH de 5,1 a 5,6, incubados con cuatro dosis de CaCO_3 , lo cual verifica una vez más que el encalamiento puede inducir a la adsorción de fosfatos, debido a la formación de fosfato de calcio insoluble. En el suelo de Tonoro, la concentración del fósforo disponible con el incremento de la dosis, fue menor que la del suelo control. El análisis de varianza determinó un efecto altamente significativo con las diferentes fuentes y dosis sobre el fósforo disponible de Olsen, al igual que con el tipo de suelo; encontrándose además, una interacción altamente significativa entre ambos factores. Los resultados de la comparación de medias (Tabla 4) muestran la misma influencia con las dosis de $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de ambas fuentes calcáreas, al igual que $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CMM. Las concentraciones de fósforo disponible determinadas en el suelo de San Agustín, tratado con $0,5$ y $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 , añadido como calcita, son estadísticamente iguales a las del suelo control; mientras que la de $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ no difiere significativamente de éstas. Debido a su capacidad amortiguadora, en este suelo no se observó un efecto marcado sobre el fósforo disponible con las diferentes dosis de CaCO_3 aplicadas como calcita y CMM, solamente se distingue ligeramente el resultado logrado con $3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en forma de CMM. Por el contrario, en el suelo de Tonoro se aprecia una gran influencia de las diferentes dosis sobre la concentración de fósforo disponible, siendo mayor con la calcita a nivel de 1 y $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. El efecto contrario encontrado con las CMM pudiera explicarse, si tomamos en cuenta que la calcita es mucho más reactiva, lo cual, por algún mecanismo no bien conocido, evitó que el fósforo quedara adsorbido como fosfato de calcio cuando se agregaron las CMM al suelo de Tonoro. No obstante, esto resulta un poco contradictorio, ya que la formación de fosfatos de calcio es más probable en suelos de mayor pH.

Cambios en el PSA y acidez intercambiable debido a la aplicación de calcita y CMM en los suelos de San Agustín y Tonoro

Entre todos los elementos, el aluminio y el calcio intercambiable son los más afectados por el encalamiento de los suelos, aumentando el último a medida que

disminuye el primero (Tabla 3). Algunos investigadores han encontrado que al aplicar la cal a razón de $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ para llevar el pH a valores próximos a 5,5 y 6, casi todo el aluminio ha sido neutralizado (McLean 1971; Sánchez 1977; López 1980; Pérez 1986). En el presente estudio, se observó que el porcentaje de aluminio disminuyó marcadamente al aumentar la dosis de CaCO_3 con ambas fuentes, teniendo éstas el mismo efecto cuando se agregaron en dosis de $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Cabe mencionar que con esta dosis el aluminio se neutralizó casi totalmente a pH mayores de 6,3, logrados con el suelo de Tonoro. Con respecto a la acidez intercambiable, la disminución de ésta con las dosis de CaCO_3 fue similar a los cambios registrados en el aluminio intercambiable. Por todo esto, y debido a que el pH y el aluminio intercambiable se vieron altamente influenciados por el tipo de suelo y las fuentes con sus respectivas dosis, pudiera decirse que el PSA y la acidez intercambiable respondieron considerablemente a estos factores, ya que estas propiedades del suelo están íntimamente relacionadas.

Efecto de la aplicación de calcita y CMM sobre la capacidad de intercambio catiónico en los suelos de San Agustín y Tonoro

La CIC aumentó ligeramente con las dosis de los materiales de encalamiento en el suelo de San Agustín, no observándose cambios apreciables en el suelo de Tonoro (Tabla 3). Este comportamiento se puede atribuir a la mayor acidez del suelo de San Agustín, el cual pudo disolver mayor cantidad de CaCO_3 y asociar el calcio a los sitios de intercambio de las partículas coloidales como la materia orgánica, arcillas u otras, mediante el intercambio de los iones Ca^{2+} con los de Al^{3+} . Esto probablemente, no fue posible en el suelo de Tonoro debido a que no contiene cantidades apreciables de aluminio intercambiable, además de tener muy baja concentración de carbono orgánico. En este sentido, Pérez (1986) observó un aumento progresivo de la CIC en cuatro Ultisoles de la zona alta del estado Lara, luego de ser encalados durante seis semanas. Estos suelos tenían pH entre 3,8 y 4,2; además presentaron alrededor del 5 % en materia orgánica y alta saturación de aluminio. En el presente trabajo, la CIC prácticamente no fue afectada por las fuentes con sus respectivas dosis de CaCO_3 , distinguiéndose muy significativamente los resultados obtenidos con el tipo de suelo (Tabla 3), siendo mayor la respuesta observada en el suelo de San Agustín.

En conclusión, la incorporación de CMM y calcita a los suelos de San Agustín y Tonoro provocó aumentos de pH y calcio intercambiable y disminuyó el aluminio

intercambiable y fósforo disponible en función de las dosis de cada material calcáreo. Entre estas cuatros propiedades, el fósforo disponible fue contrario a lo esperado, sobre todo en el suelo de San Agustín, donde el mayor valor de pH alcanzado al encalarlo fue menor a 6, descartándose la posibilidad de formarse fosfato de calcio insoluble, ya que a pH ácido la forma predominante del fosfato es el $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ soluble. Esto en sí merece un estudio más a fondo. Al encalar los suelos con los dos tipos de materiales de enmienda, en dosis de $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, se observó que no difieren significativamente en cuanto al pH, aluminio y calcio intercambiable, distinguiéndose un poco el fósforo disponible logrado con las dos fuentes de encalamiento en el suelo de Tonoro. Estos resultados dan a entender que las CMM, con un 78 % de CaCO_3 , pudieran emplearse para encalar suelos que presenten características similares a los utilizados en el presente estudio, ya que contienen una efectividad comparable a la cal agrícola con más del 90% de CaCO_3 y menor tamaño de partícula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CURTIN D.; SYERS J.K. 2001. Lime-induced changes in indices of soil phosphate availability. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 65:147-152.
- GILABERT J., LÓPEZ I.; PÉREZ R. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia (Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad). Versión preliminar. Maracay, CENIAP. 164 pp.
- HAHN G.; MARSCHNER H. 1998. Effect of acid irrigation and liming on root growth of Norway spruce. *Plant Soil* 199:11–22.
- KREUTZER K. 1995. Effects of forest liming on soil processes. *Plant Soil* 168-169:447–470.
- LÓPEZ I. 1980. Respuesta al encalado en suelos oxisoles y ultisoles de Venezuela. *Agron. Trop.* 31(1–6):37–57.
- LÓPEZ I. 1986. Efecto de diferentes fuentes de enmienda sobre la reacción del suelo y respuesta del cultivo de sorgo. *Agron. Trop.* 36(1–3):129-141.
- LUNDSTRÖM U.S.; BAIN D.C.; TAYLOR F.S.; VAN HEES A.W. 2003. Effects of acidification and its mitigation with lime and wood ash on forest soil processes: A review. *Water, Air, Soil Pollut. Focus* 3:5–28.
- MCLEAN E.D. 1971. Potentially beneficial effects from liming: chemical and physical. *Soil & Crop Sci. Florida* 31:196–198.
- MURPHY J.; RILEY P.A. 1972. Modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta* 27:31-36.
- PRATT P.F.; HOLOWAYCHUK N. 1954. A comparison of ammonium acetate, barium acetate and buffered barium chloride methods of determining cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 18:365–368.
- PRIHA Q.; SMOLANDER A. 1994. Fumigation-extraction and substrate-induced respiration derived microbial biomass C, and respiration rate in limed soil of Scots pine sapling stand. *Biol. Fertil. Soils* 17:301–308.
- PÉREZ R. 1986. Efectos del encalado en la neutralización del aluminio intercambiable y sobre el crecimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agron. Trop.* 36(1-3):89–110.
- RAJ B.V. 1994. New diagnostic techniques, universal soil extractants. *Soil Sci. Plant Analysis.* 25:799-816.
- SÁNCHEZ C. 1977. Encalamiento de Ultisoles de Sabana. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela. 95 pp.
- SOKAL P.R.; ROHLF F.J. 1979. Introduction to biostatistics. Freeman, U.S.A. 832 pp.
- SUMMER M.E.; SHAHANDEH H.; BOUTON J. 1986. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50:1254–1258.
- WESTERMANN D.T. 1992. Lime effects on phosphorus availability in a calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 56:489–494.