

DATOS DE CAMPO PARA EL ENCALADO DE SUELOS ÁCIDOS: ALUMINIO COMO CRITERIO. RESPUESTA DE LA CEBADA

María José Lema; Pablo Rodríguez
Estación Fitopatológica do Areeiro
Excma. Diputación Provincial de Pontevedra
mse@efa-dip.org

.....

Antecedentes

La corrección de la acidez mediante diferentes tipos y dosis de materiales encalantes es una práctica agronómica indispensable para adecuar la fertilidad de los suelos “aluminicos” a las necesidades de la práctica totalidad de los cultivos: herbáceos, frutales, hortícolas, etc., que se efectúa –o se debe efectuar- sin excepción en nuestros suelos agrícolas.

El término genérico para caracterizar esta propiedad del suelo es la reacción del medio o valor de pH [H₂O]. Se acepta que cuando este valor es inferior a 6.0 es preciso examinar otras características del suelo directamente relacionadas con este parámetro para decidir la necesidad o no de corregir la acidez y concretar –en su caso- las cantidades de cal que se deben incorporar al mismo. Estas son, básicamente, el calcio y el aluminio del complejo de cambio [despensa del suelo]; cuando en la misma predomina el primero el pH del suelo será superior a 6.0, mientras que la presencia de cantidades crecientes de aluminio se asocia con suelos fuertemente ácidos o con valores bajos de pH- inferiores a 5.5

De manera general, se afirma que para corregir el pH de los 15-20 cm superiores del suelo desde un valor de 4.5 hasta 5.5 se precisan 1500 a 2000 kg ha⁻¹ de CO₃Ca en suelos arenosos y francos, respectivamente, mientras que para elevarlo desde 5.5 hasta 6.5 son necesarios 2000 a 3000 kg ha⁻¹; cantidades que en suelos arcillosos prácticamente se deben duplicar (Fink,1985; M-Sánchez, 2000) . También coinciden la mayor parte de los autores en que el intervalo de pH más adecuado está entre un mínimo de 5.5 y un máximo de 6.5, dependiendo del *tipo* de suelo (L-Mosquera, 1994; Westerman,1990).

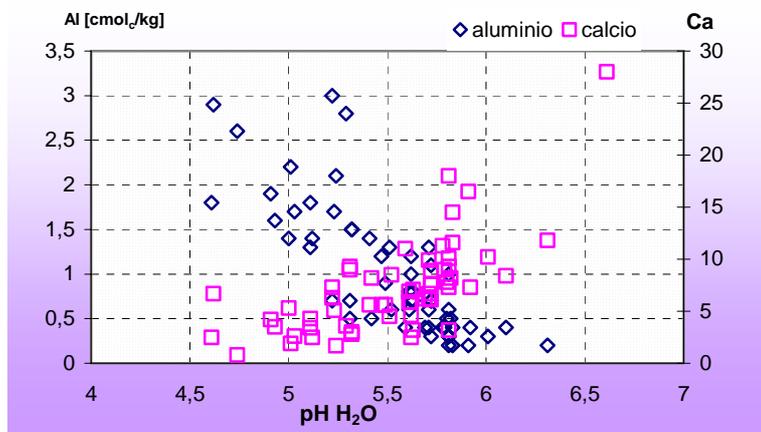
El principal causante de la acidez en nuestras condiciones y, por tanto, el elemento a neutralizar es el aluminio del complejo de cambio. Una de las fórmulas más conocida y sencilla para calcular el carbonato cálcico que se debe incorporar al suelo con la intención de reducir los niveles de aluminio de cambio es la propuesta por Kamprath (1970) y discutido por McLean (1982). Estos autores proponen incorporar tantas toneladas de CO₃Ca por hectárea de terreno como aluminio de cambio en cmol c kg⁻¹ se detecte en el suelo; para cultivos sensibles se incrementa la dosis en un factor de 1.5 o de 2.0 para cultivos muy sensibles a la toxicidad causada por el aluminio.

Sin embargo, no existe una relación unívoca entre el valor de pH del suelo y el contenido de aluminio del mismo, sino que dependerá –en cada caso- del complejo arcillo húmico, relacionado grosso modo con la textura y la materia orgánica del suelo. Así, para un pH dado los suelos más pesados y con mayor capacidad de intercambio catiónico presentarán cantidades de aluminio muy superiores a las de los suelos ligeros y desaturados.

Es por ello que para los mismos autores, las cantidades de cal necesarias para rebajar el aluminio son inferiores a las que se precisarían para elevar el pH hasta el umbral de 5.5-6.0, mientras que para otros persisten todavía importantes cantidades de aluminio, dependiendo de la naturaleza del suelo en cuestión.

Entre las muestras de suelos analizadas en el laboratorio, los suelos naturales presentan en ocasiones niveles de 3-4 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ pero lo más frecuente es que se sitúen en torno a 1-2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, mientras que los suelos sometidos ya a alguna práctica cultural – aunque sólo sea la incorporación de abonos orgánicos – presentan a menudo valores inferiores a 1 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

Nos interesa conocer las relaciones existentes entre pH del suelo y el aluminio de cambio en nuestras condiciones, así como las cantidades de carbonato cálcico que debemos incorporar tanto para alcanzar un pH óptimo como una reducción adecuada del aluminio y su sustitución por otros cationes, básicamente calcio pero dejando espacio al potasio y al magnesio en el complejo de cambio.



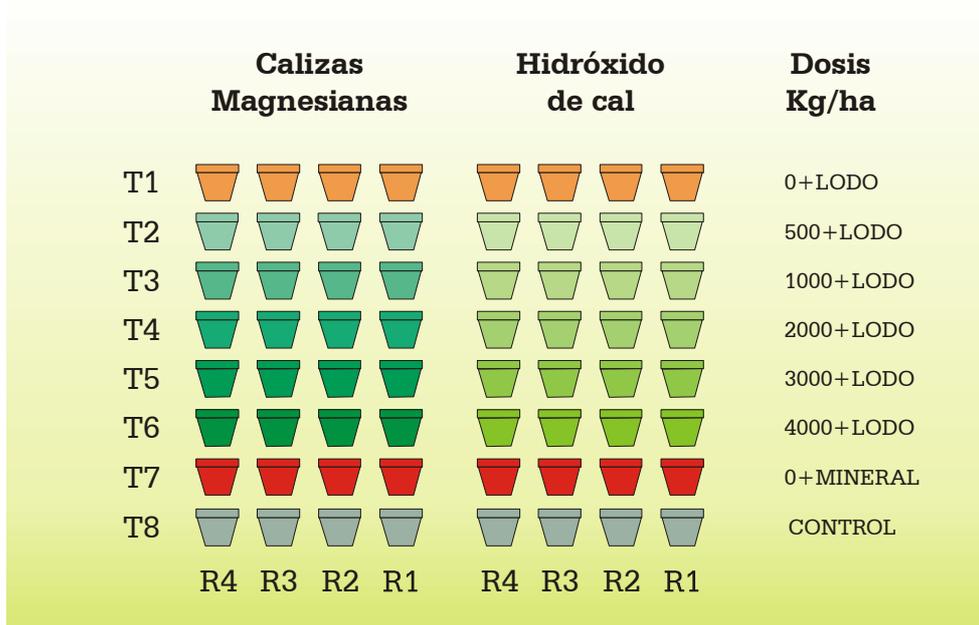
- El valor de pH aumenta a medida que se produce la sustitución del aluminio por el calcio en el complejo de cambio del suelo-

Por ello, para contrastar las afirmaciones anteriores se resume en el presente trabajo la respuesta obtenida al aporte de dosis crecientes de diferentes materiales enalantes: cal apagada y calizas magnesianas, en una experiencia realizada en un suelo ligero calificado de fuertemente ácido y con niveles próximos a 1 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de aluminio, representativo de muchos otros suelos franco-arenosos desarrollados sobre granitos cuya acidez ha sido parcialmente corregida.

Diseño experimental

Tratamientos ensayados

En la **figura 1** se recoge la disposición de 64 macetas con 5 kg de tierra procedente de un suelo en barbecho situado en la Estación do Areiro (Pontevedra). Se ensayaron dos materiales encalantes: calizas magnesianas e hidróxido de calcio, con un poder neutralizante de 60%. Se incorporaron cinco dosis: equivalentes a **500, 1000, 2000, 3000 y 4000 kg ha⁻¹**. Además de los controles sin calizas, se contrastó la respuesta de un tratamiento con lodo (50 tha⁻¹) y uno con fertilizante mineral 12-12-17+MgO (2 tha⁻¹). Todos los tratamientos se acompañaron de dosis equivalentes a 50 tha⁻¹ de lodos.



Controles efectuados

La mezcla con las correspondientes dosis se efectuó el 22 de Mayo de 2004. Se recogió muestra de suelo 3 días después de la mezcla (t=0) y se procedió a sembrar cebada. Asimismo, se tomaron muestras de suelo 1 mes (t=1) y tres meses después de la mezcla (t=3). Se recogió la cebada 3 meses después de la emergencia.

En las **muestras de suelo** se efectuó la determinación de pH en H₂O (relación 1:5); del aluminio de cambio extraído con KCl 0.1M (relación 1:5); y de los cationes del complejo de cambio: calcio y magnesio, desplazados con CINH₄ (relación 1:5).

En la **planta de cebada** se determinó el nitrógeno total por el método Kjeldhal; se determinó además la concentración de calcio, potasio, magnesio, hierro, cobre y manganeso por espectrofotometría de absorción atómica después de una mineralización seca a 450 °C. Además, se valoró el total de materia verde producida con cada tratamiento.

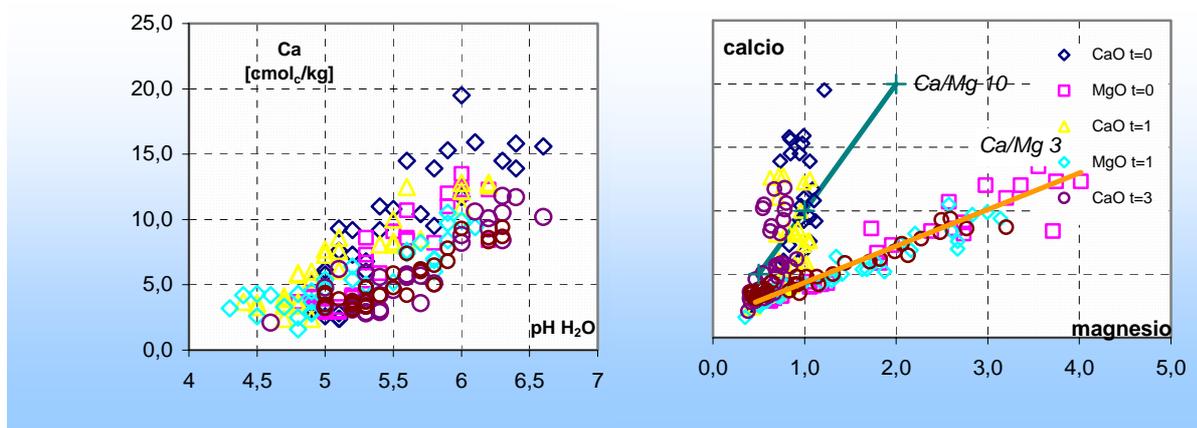
Resumen de resultados

Relaciones en el suelo

El suelo presenta $1.0 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ de aluminio de cambio. La incorporación de la dosis estimada mínima de cualquiera de los dos agentes encalantes -de 1000 kg ha^{-1} - no permite alcanzar valores de pH de 5.5 ni reducir el aluminio por debajo de $0.5 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$. En el otro extremo, 3000 kg ha^{-1} de hidróxido cálcico elevan el pH del suelo hasta 6.0 – hasta 5.8 con calizas magnesianas- y reducen el aluminio a menos de $0.2 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$, excluyéndolo prácticamente del complejo de cambio.

Ambos parámetros fluctúan a lo largo de la experiencia. En todos los tratamientos desciende ligeramente el valor de pH y asciende el aluminio de cambio un mes después de efectuada la mezcla, coincidiendo probablemente con el punto máximo de actividad de descomposición y transformación en nitratos del nitrógeno orgánico incorporado al suelo con los lodos. En todo caso, la mayor acidificación tiene lugar con el tratamiento mineral, descendiendo el pH hasta valores de 4.5.

Se aprecia, por otra parte, la relación directa existente entre la incorporación de cal y el aumento del calcio de cambio, alcanzándose niveles de $15 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ con la dosis máxima, si bien desciende en torno a 3 unidades en todos los tratamientos a medida que progresa la estación y se equilibra con el suelo receptor – tres meses después de la mezcla. *En cualquier caso, no existe una relación unívoca entre el pH y el calcio sino un rango de valores más probables.*

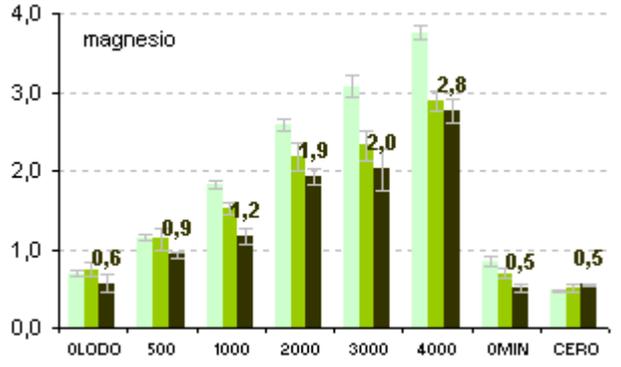
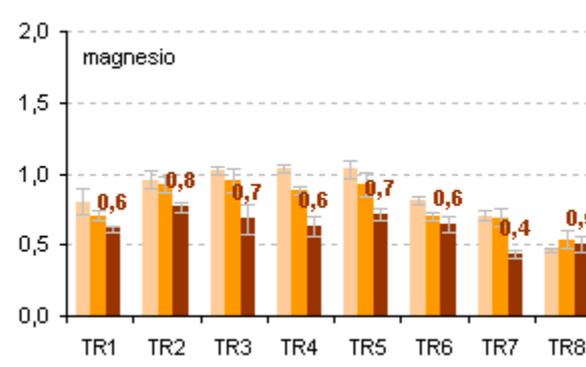
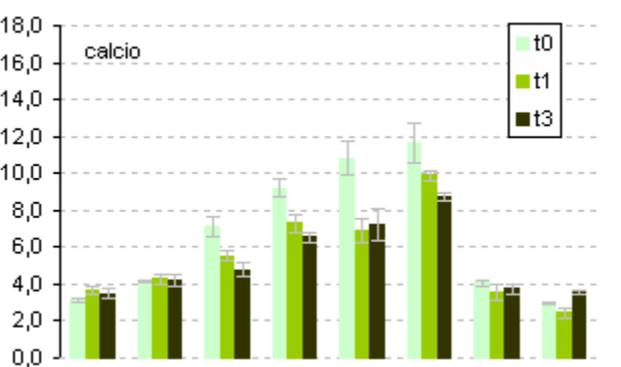
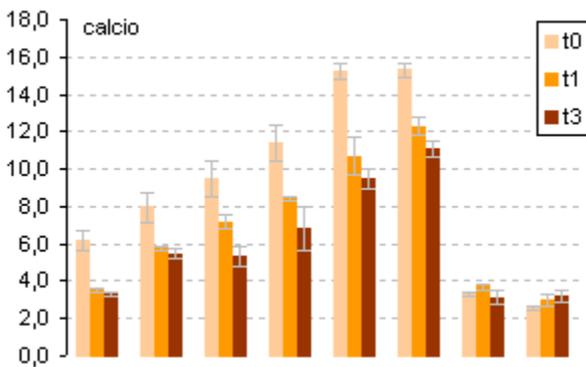
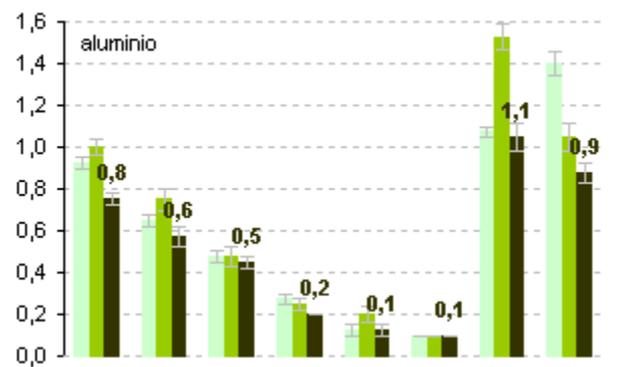
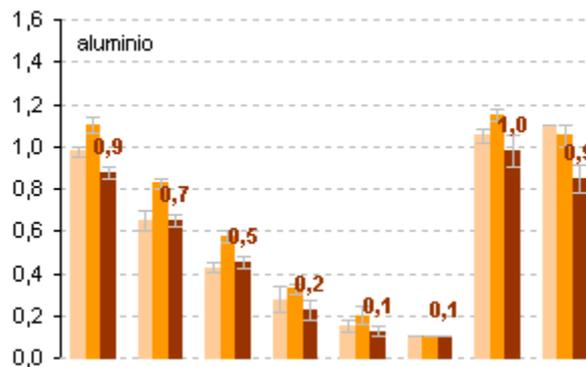
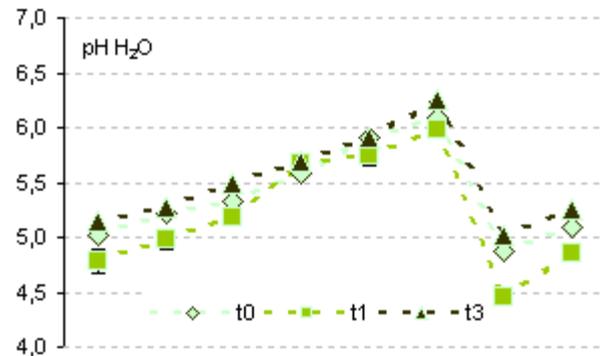
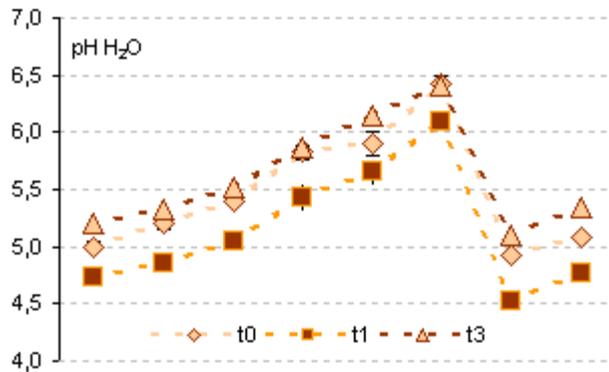


Por su parte, *las calizas magnesianas* dan lugar a aumentos significativos del magnesio de cambio, alcanzándose niveles muy elevados, de 4 a $3 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$, con 4000 kg ha^{-1} ; se trata de cantidades excesivas *que pueden dar lugar a desequilibrios entre el calcio y el magnesio del suelo*. De hecho, las dosis del ensayo han dado lugar a relaciones calcio/magnesio de más de 20 y menos de 3, según se incorpore cal apagada o calizas magnesianas respectivamente, en lugar de una relación óptima de 10.

PARÁMETROS QUÍMICOS SUELO

HIDRÓXIDO CÁLCICO

CALIZAS MAGNÉSICAS

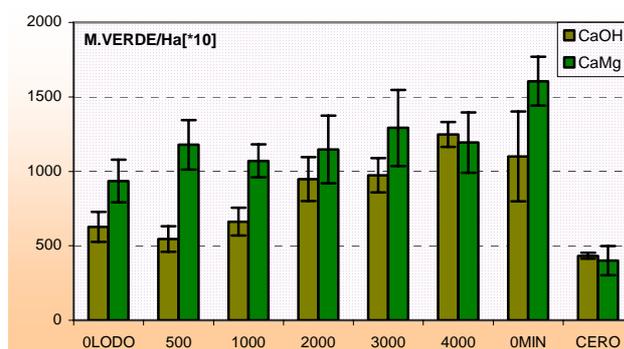


REPUESTA DEL SUELO A LOS APORTES DE DIFERENTES DOSIS Y MATERIALES ENCALANTES 1 Y 3 MESES DESDE LA MEZCLA (t1 y t3)

Respuesta de la planta

La producción de materia verde de cebada aumenta progresivamente con la dosis de cal apagada incorporada: desde 5 hasta 12 t ha^{-1} , lo cual refleja que alguna condición del suelo asociada a la acidez está frenando el desarrollo vegetativo, pero únicamente a partir de dosis de 2000 kg ha^{-1} se mejoran significativamente los rendimientos de materia verde.

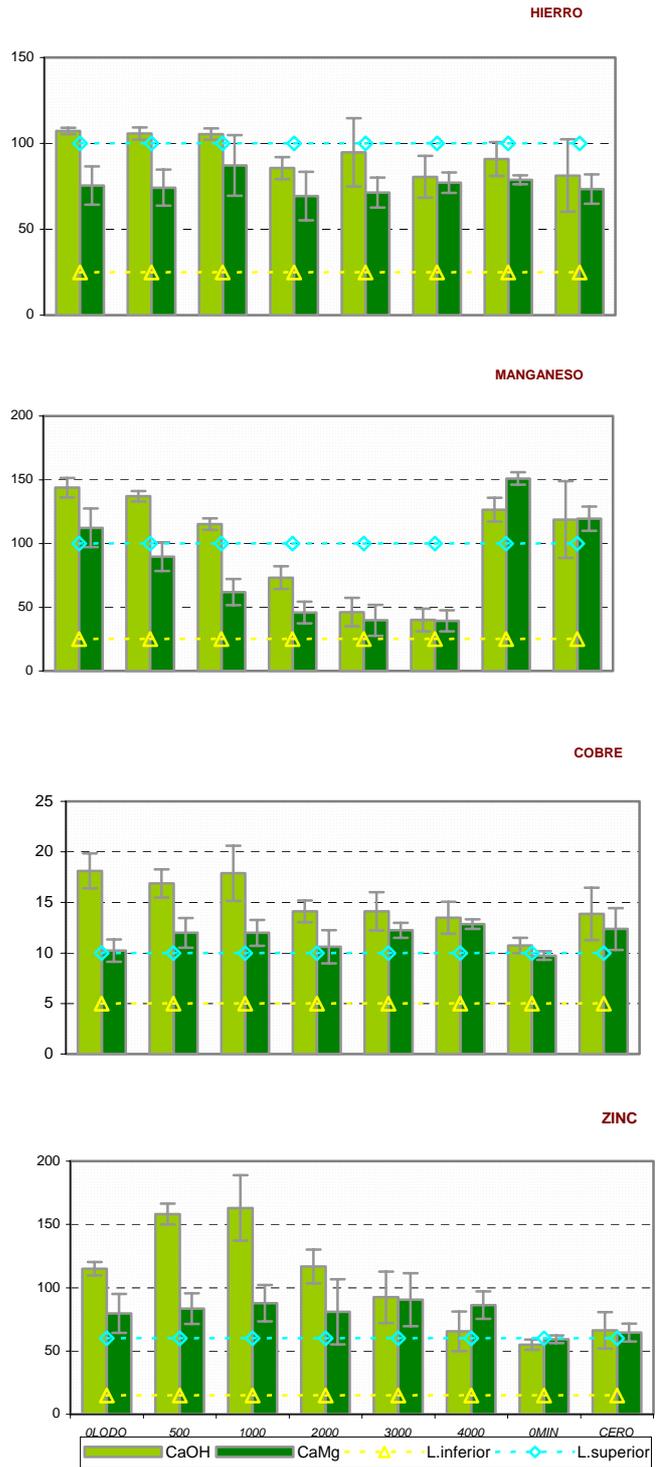
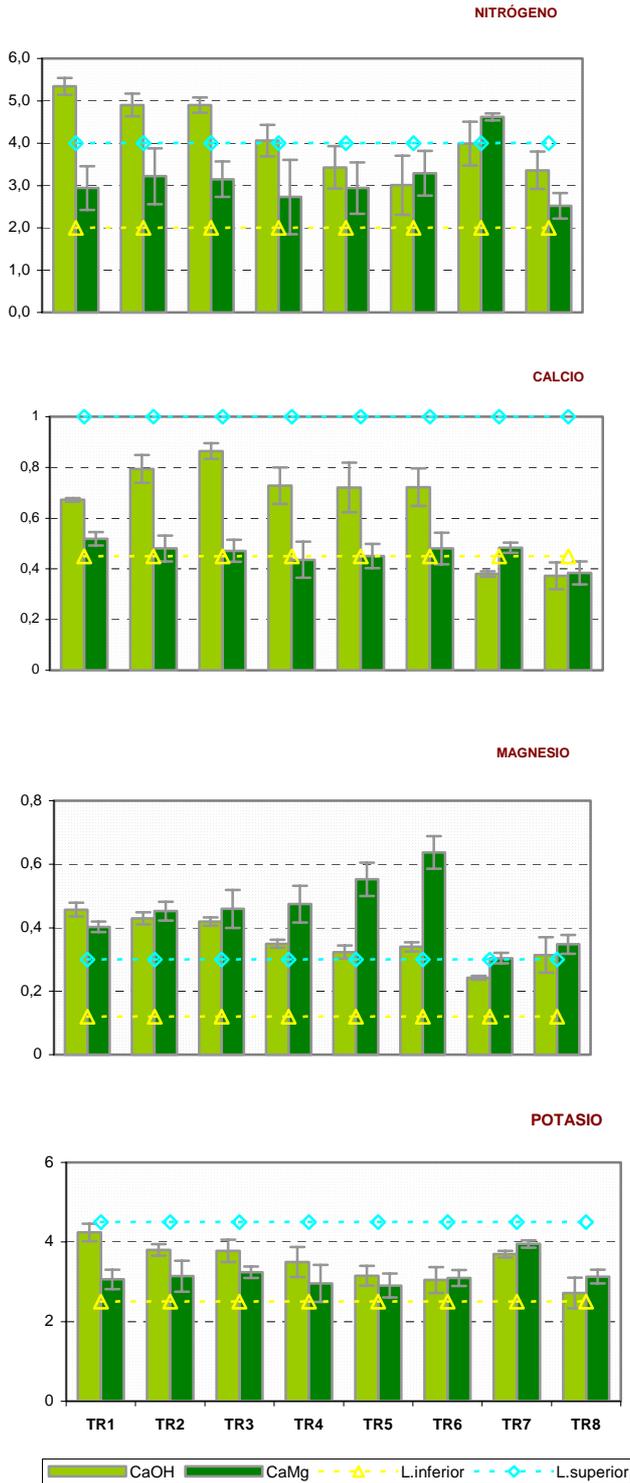
Este desarrollo es siempre inferior al alcanzado con dosis equivalentes de calizas magnesianas –o con la simple incorporación de lodo–; diferencias más acentuadas con las dosis inferiores de calizas. Por su parte, el tratamiento con fertilizante mineral sin calizas facilita un desarrollo igual o superior al alcanzado con cualquiera de las otras fórmulas de abonado.



El efecto diferencial de los dos agentes encalantes y sus respectivas dosis se refleja también en la concentración de diferentes nutrientes en la planta. Así, la concentración de nitrógeno – que no varía en función de las diferentes dosis de calizas magnesianas empleadas – es inferior a la alcanzada con la incorporación de cal apagada. Con este último material se aprecia, además, que la concentración descende a medida que aumenta la dosis empleada, calificándose de excesivos los niveles alcanzados con las dosis inferiores de cal apagada.

Son muy superiores los niveles de calcio en planta tratada con lodo o con cal apagada a los obtenidos en la cebada encalada con calizas magnesianas, pero sin distinción entre las diferentes dosis incorporadas. En cambio, sí se manifiesta un aumento progresivo de magnesio en planta con la cantidad de caliza magnesia empleada. Atendiendo a las referencias de la bibliografía, los niveles de calcio resultantes son muy bajos y muy altos los de magnesio, sobre todo con dosis de 3000 y 4000 kg ha^{-1} - las más elevadas del ensayo.

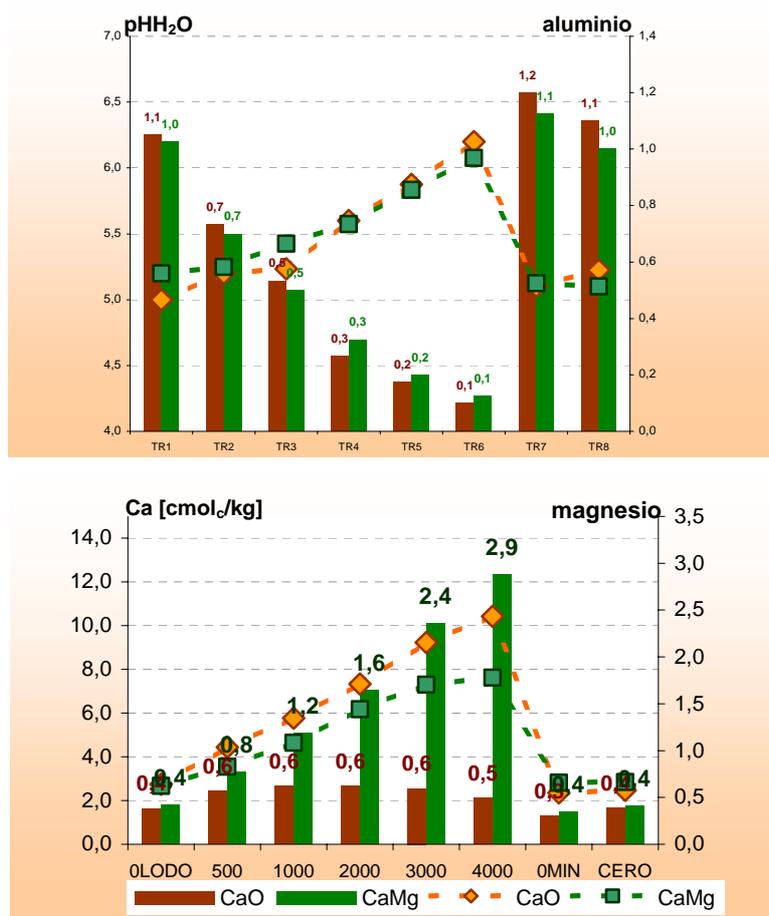
Entre los micronutrientes, destaca el paralelismo en el comportamiento del cobre y el zinc. En general, descende la concentración de ambos en la planta al aumentar la cantidad de cal apagada incorporada, y es muy superior – principalmente con las dosis más bajas – a la alcanzada con las calizas magnesianas. Los niveles son muy altos, y excesivos en los casos en que se ha añadido lodo con dosis bajas de cal. Por su parte, el manganeso en planta descende progresivamente al aumentar la dosis de ambos materiales encalantes y aumenta significativamente en los tratamientos mineral y control sin lodo. También en este último caso las concentraciones se calificarían de excesivas.



RESPUESTA DEL CULTIVO AL ENCALADO CON DIFERENTES DOSIS Y MATERIALES SOBRE LOS RANGOS ADECUADOS DE LOS CONTENIDOS DE NUTRIENTES MINERALES s.m.s. EN PLANTAS DE CEBADA (Bergmann, 1992).

Evolución del suelo

También con carácter general se afirma que en los suelos ácidos es preciso efectuar encalados periódicos de mantenimiento para compensar la acidificación anual, cifrándose las necesidades medias de cal en valores de 200-500 kg ha⁻¹. Se recogen en la figura los parámetros relevantes del suelo un año después de la incorporación de los dos agentes encalantes.



- un año después del encalado han descendido ligeramente el pH
- y ha aumentado el aluminio de cambio -

Con carácter general, el pH del suelo ha descendido en 0.3 unidades y el aluminio ha aumentado en 0.2 cmol.kg⁻¹ en las parcelas control, resultando inapreciable el descenso desde los 3 meses de la mezcla en las parcelas encaladas. Tampoco se producen diferencias significativas en los contenidos de calcio y magnesio de cambio entre los 3 y los 12 meses después del encalado.

Discusión y conclusiones

En los suelos estudiados se precisa multiplicar el aluminio de cambio por un factor de 3 en lugar del valor 2 propuesto por los autores del método para excluir por completo el aluminio del complejo de cambio, tal como exigirían cultivos más sensibles a la toxicidad de este elemento, y sólo así se alcanza el umbral de pH de 6.0.

Esta dosis más elevada garantiza, además, que se compensa la acidificación anual del suelo que se produce de modo natural y, de manera más acentuada, a consecuencia de la incorporación de cantidades importantes de nitrógeno orgánico o inorgánico tal como se efectúa en los cultivos intensivos; permitiendo espaciar temporalmente la práctica del encalado.

Con la dosis señalada de cal apagada aumenta acusadamente el calcio de cambio pero en un mes se estabiliza en torno a niveles – adecuados- de $10 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$. Sin embargo, la incorporación de las mismas cantidades de calizas magnesianas conduce a niveles respectivos de calcio y magnesio de equilibrio de 6 y 2 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$, potenciando un desequilibrio entre ambos cationes. La sustitución total de las calizas agrícolas por calizas magnesianas para la corrección de la acidez no resulta adecuada.

Esta aseveración se confirma al observar la composición de un cultivo testigo. La concentración de calcio en la planta de cebada es baja incluso con los aportes más intensos de cal apagada, calificándose de deficiente el calcio en todos los tratamientos con calizas magnésicas; una deficiencia en calcio que se agudizará, dado que los contenidos de magnesio son excesivos en esta última hipótesis.

Teniendo en cuenta que tampoco se aconseja en general incorporar más de 2000 kg ha^{-1} en cada aplicación, lo más adecuado parece ser fraccionar el aporte añadiendo 2/3 del total en forma de calizas sin magnesio y el tercio restante como calizas magnesianas. Un fraccionamiento que se hace más aconsejable en suelos más pesados, donde probablemente la dosis necesaria para reducir el aluminio alcance 4000 kg ha^{-1} .

...

Los *datos experimentales* de este trabajo se presentan para corroborar una serie de afirmaciones que se vienen haciendo en el laboratorio de diagnóstico de la fertilidad desde la observación de los suelos agrícolas analizados en el mismo, así como su evolución temporal o la respuesta a los tratamientos efectuados.

Las *preguntas más frecuentes* siguen siendo cuál es el valor óptimo de pH, cuáles los niveles óptimos de calcio en el suelo y qué cantidad de calizas se deben añadir para alcanzar estas condiciones; nosotros preferimos hablar de niveles o intervalos normales en nuestros suelos dado que no existe un único valor óptimo aislado para cada uno de los parámetros que entran en juego al modificar el pH.

No existe una respuesta única. El valor de pH más adecuado – como medida indirecta de otras características del suelo – depende del cultivo pero también del propio tipo de suelo, siendo más elevado cuanto mayor sea el contenido de arcilla o limo del suelo – o su textura más pesada- y variando entre 6.0 y 6.5.

Los *niveles normales* de calcio en estas condiciones oscilan entre 10 y 15 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$; siendo niveles inferiores a 5 o superiores a 25 inadecuados por causar en los cultivos escasez absoluta de calcio y relativa de magnesio, respectivamente.

El *necesario equilibrio* entre el calcio y el magnesio del suelo da lugar a cifras adecuadas para este último de 1 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ de magnesio de cambio hasta 1.5 como máximo. No es infrecuente que los aportes exclusivos de calizas magnesianas o dolomitas den lugar a suelos con niveles excesivos de magnesio e insuficientes de calcio provocando dificultades para la absorción – por sí misma escasa – de este importante nutriente vegetal.

Como *tendencia general*, se ha superado la teoría del encalado hasta alcanzar la neutralidad, de modo que salvo en áreas muy concretas donde se aprovechan recursos como la conchilla de moluscos para corregir la acidez no es frecuente el sobreencalado en los suelos agrícolas. Empieza a mostrarse, por el contrario, una excesiva tendencia a corregir con materiales que suministran demasiado magnesio, por otra parte muy persistente, para el calcio y potasio que pueden almacenar en su complejo de cambio nuestros suelos.

Las *concretas cantidades* de calizas y su forma: agrícolas, magnesianas, etc, que es preciso incorporar a un suelo dado para alcanzar un o unos valores predeterminados son difíciles de precisar, no sólo por depender de su propia naturaleza – o variar en cada suelo- sino también por ser un medio característicamente dinámico y heterogéneo.

Pero un *control periódico* de los parámetros del suelo nos permiten su aproximación a las condiciones más idóneas, que serán aquellas que no provoquen desequilibrios en la absorción por los cultivos del necesario potasio, calcio y magnesio pero también que faciliten la absorción de diversos micronutrientes y limiten la absorción de elementos tóxicos, ambas muy afectadas por la reacción del medio. Finalmente, queremos resaltar que el *mantenimiento de estas condiciones* es sencillo una vez que se ha conducido el suelo a sus niveles medios o normales.

Referencias

- Bergmann W. (ed.) 1992. Nutritional disorders of plants. Development, visual and Analytical Diagnosis. Ed. Gustav Fischer. New York. 741 pp.
- Fink A. 1985. Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverte. Barcelona. 439 pp.
- Kamprath E.J. 1970. Exchangeable aluminium as a criterium for liming highly leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 252-254
- L-Mosquera E. 1994. Corrección de la acidez: encalado. Monografía Escuela Politécnica Superior. Lugo. 28 pp.
- Mclean E.O.1982. Soil pH and lime requirement. p. 99-224. In A.L.Page et al. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. 2nd Ed. Agronomy Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison. Wisconsin.
- M-Sánchez Cl. 2000. Enmiendas calizas: corrección de suelos ácidos. En: <http://www.fertiberia.com>. 9 pp.
- Westerman R.L. 1990. Soil testing & plant analysis. Soil Sci. Soc. of America. Book Series:3. Wisconsin. 784 pp