

La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café

Para que los cultivos sean más productivos es necesario identificar las propiedades del suelo que limitan el desarrollo de las plantas, con el fin de tomar las medidas correctivas en cada caso. Estos problemas pueden ser de naturaleza física, química y biológica, y en muchas ocasiones se relacionan entre sí; de allí la dificultad que se presenta para realizar un diagnóstico acertado si no se dispone de las herramientas necesarias, en especial el análisis de laboratorio.

Entre los limitantes comunes para la producción de café en Colombia está la acidez del suelo, siendo más crítica la situación en algunas regiones, por ejemplo, los departamentos de Antioquia y Santander, donde el 80% de las muestras de suelo analizadas en las últimas tres décadas presenta algún grado de afectación (Tabla 1), mientras que para el Valle del Cauca el panorama es diferente, sin que el problema deje de suceder por completo.





Cenicafe
Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

Autores

Siavosh Sadeghian Khalajabadi

Investigador Científico III

Disciplina de Suelos

Centro Nacional de Investigaciones
de Café - Cenicafe

Manizales, Caldas, Colombia

Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Siavosh Sadeghian Khalajabadi
Archivo Cenicafe

Diagramación

Luz Adriana Álvarez Monsalve

Imprenta

<https://doi.org/10.38141/10779/0466>

ISSN - 0120 - 0178

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manizales
www.cenicafe.org

En este Avance se entregará información básica acerca de la acidez del suelo, las causas que la originan, su efecto en el crecimiento y producción de café, y las prácticas tendientes a su manejo. Con ello se espera generar mayor conciencia acerca de las implicaciones del problema y las medidas para su control.

Tabla 1. Porcentaje de muestras con valores bajos de pH y altos contenidos de aluminio intercambiable (Al^{3+}), detectados en los registros históricos de análisis de suelos de lotes cultivados con café en algunos departamentos de Colombia. Tomado de Sadeghian (9).

| Departamento | Número de muestras analizadas | Muestras con valores de $pH \leq 5$ (%) | Muestras con valores de $Al^{3+} \geq 1$ (%) |
|--------------------|-------------------------------|---|--|
| Antioquia | 69.718 | 79 | 81 |
| Caldas | 16.599 | 42 | 32 |
| Cauca | 6.602 | 49 | 57 |
| Cundinamarca | 1.389 | 77 | 62 |
| Huila | 17.245 | 53 | 45 |
| Norte de Santander | 1.790 | 63 | 51 |
| Quindío | 29.198 | 64 | 28 |
| Risaralda | 4.518 | 37 | 23 |
| Santander | 2.412 | 88 | 74 |
| Tolima | 12.992 | 46 | 36 |
| Valle del Cauca | 24.834 | 21 | 10 |

El pH

- La propiedad química del suelo por excelencia para valorar la acidez es el pH (potencial de iones hidrógeno o hidrogeniones). El valor del pH expresa la concentración de los iones libres de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo.
- Entre más alta sea la concentración de H^+ menor será el pH y mayor la acidez.
- El rango del pH va de 0 a 14. En los suelos agrícolas sus valores normalmente varían entre 4 y 10.
- Entre más bajo el pH del suelo habrá más Al^{3+} (Figura 1), y las altas concentraciones de aluminio intercambiable- Al^{3+} en el suelo resultan tóxicas para las plantas.
- Cuando el pH es mayor de 5,5 se neutraliza el Al^{3+} y deja de ser un problema para el crecimiento de los cafetales.

Para café el rango adecuado de pH se encuentra entre 5,0 y 5,5

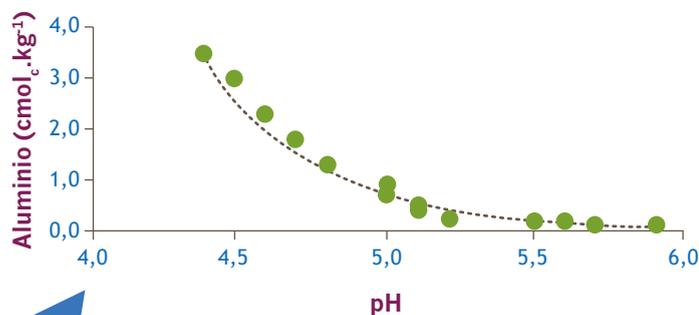


Figura 1. Aluminio intercambiable en función del pH del suelo. Tomado de Sadeghian (9).

En los suelos ácidos las concentraciones de aluminio- Al^{3+} y manganeso- Mn^{2+} solubles pueden alcanzar niveles que resultan tóxicos para las plantas; así mismo, se alteran las poblaciones y las actividades de los microorganismos que intervienen en la mineralización de la materia orgánica y la transformación de nitrógeno y azufre. La disponibilidad de fósforo se reduce debido a que forma compuestos insolubles con el hierro- Fe y Al^{3+} , dejando así de estar disponibles para las plantas (5).

La mayoría de los suelos de la zona cafetera son de carga variable o carga dependiente del pH; esto quiere decir que el incremento de la acidez (reducción del pH) se traduce en una disminución de la CICE*. Este fenómeno tiene implicaciones considerables en la fertilidad del suelo y la eficiencia de la fertilización, pues entre más ácido el suelo habrá menor capacidad de retención o “almacenamiento”, más aluminos ocupando los sitios de intercambio, menos participación de las bases intercambiables (calcio- Ca^{2+} , magnesio- Mg^{2+} y potasio- K^{+}) y más susceptibilidad de éstos para perderse por lavado (Figura 2).

Causas de la acidez

Entre las causas generadoras de la acidez del suelo se encuentran: el lavado de bases intercambiables por la lluvia y su reemplazo por otros cationes de carácter ácido (principalmente Al^{3+}), la descomposición de la materia orgánica, la oxidación del azufre, la nitrificación del amonio- NH_4^{+} y la liberación de H^{+} por las raíces cuando absorben Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} (12). Adicionalmente, los aniones nitrato- NO_3^{-} , sulfato- SO_4^{-2} y cloruro- Cl^{-} , que proceden de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos, se unen a las bases intercambiables de la solución del suelo y los arrastran más allá del alcance de las raíces, utilizando como vehículo el agua.

* Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE).

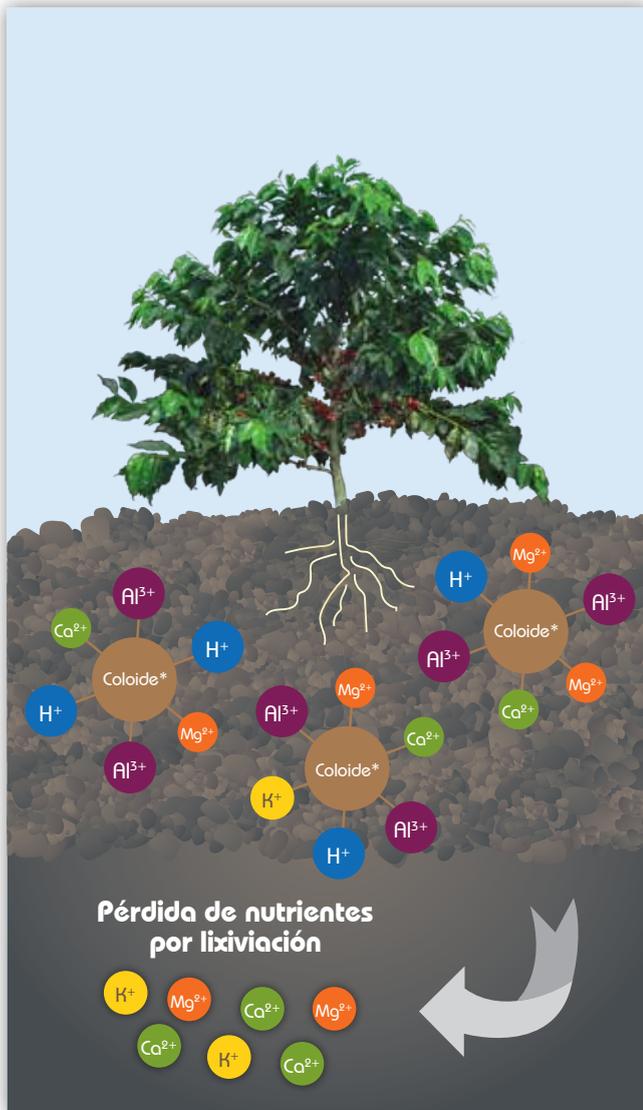
Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo

- La materia orgánica del suelo y las arcillas poseen cargas eléctricas; predominantemente negativas. Estas cargas ayudan a retener los elementos cargados positivamente, tanto aquellos de naturaleza ácida (aluminio- Al^{3+} e hidrógeno- H^{+}) como básica (calcio- Ca^{2+} , magnesio- Mg^{2+} y potasio- K^{+}), evitando que se pierdan con facilidad por lixiviación (lavado).
- Los cationes retenidos en esta fase por fuerzas electroestáticas se intercambian con aquellos que se encuentran en la solución del suelo; fenómeno que se conoce como el Intercambio Catiónico (1).
- Los suelos con más cargas negativas poseen una mayor Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).
- La CICE se refiere a la CIC que posee el suelo a un pH determinado.

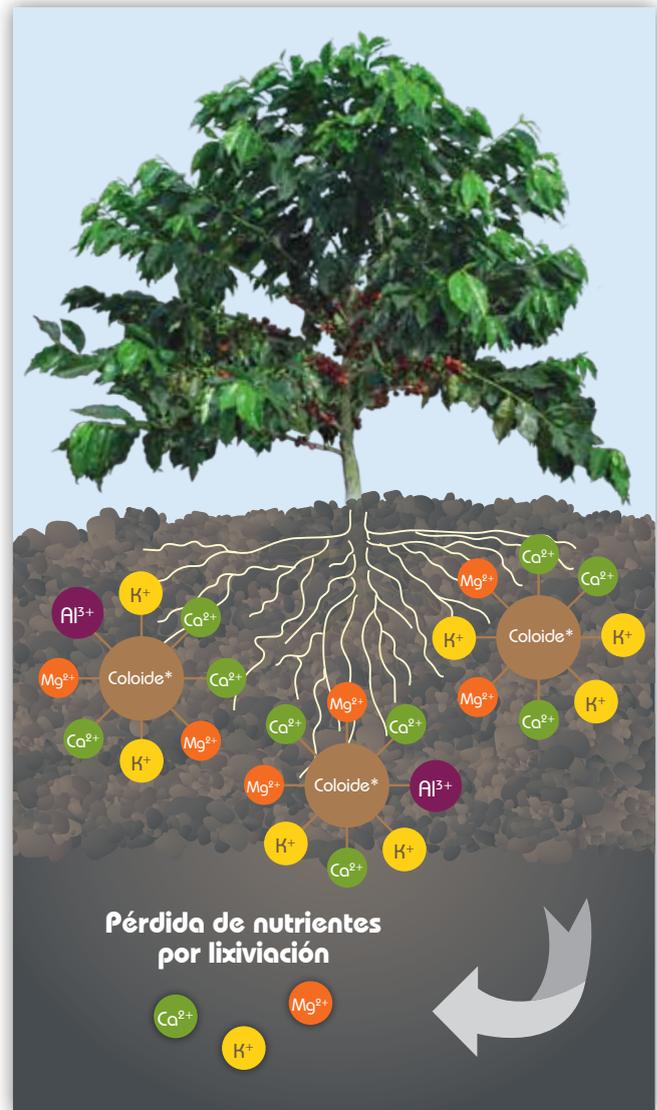
La CICE se calcula por la suma de los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Al^{3+}). En casi la totalidad de los suelos de la zona cafetera la CICE se reduce con el aumento de la acidez

La acidez que generan los fertilizantes nitrogenados depende de la fuente empleada (Tabla 2); es así como el efecto acidificante de una unidad de nitrógeno procedente de sulfato de amonio-SAM y fosfato monoamónico-MAP es dos veces mayor que el proporcionado por la urea y el nitrato de amonio; por lo tanto, se requiere de una mayor cantidad de cal (expresado como carbonato de calcio- CaCO_3) para su neutralización. Adicionalmente, los fertilizantes compuestos, bien sea los complejos granulados o aquellos que se obtienen mediante mezclas físicas, también generan acidez. Los primeros por contener en su formulación nitrato de amonio y los últimos al contener urea, fosfato diamónico-DAP y MAP.

Suelo ácido para café



Suelo con acidez adecuada para café



* Coloide órgano-mineral (arcilla y/o materia orgánica del suelo)

Menor capacidad de intercambio catiónico-CIC

Menor disponibilidad de Ca^{2+} Mg^{2+} K^{+}

Mayor toxicidad por Al^{3+}

Menor crecimiento radical

Mayores pérdidas por lixiviación

Mayor capacidad de intercambio catiónico-CIC

Mayor disponibilidad de Ca^{2+} Mg^{2+} K^{+}

Menor toxicidad por Al^{3+}

Mayor crecimiento radical

Menores pérdidas por lixiviación

Figura 2. Cambios en CICE (fase intercambiable), disponibilidad de bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+}), presencia de Al^{3+} , crecimiento radical y pérdidas de nutrientes por lixiviación como consecuencia de la acidez del suelo para café.

Nitrificación

- La nitrificación consiste en el paso del ion amonio- NH_4^+ a nitrato- NO_3^- .
- En este proceso, por cada NH_4^+ se liberan dos H^+ , los cuales aumentan la acidez.



La nitrificación es uno de los procesos más importantes en la acidificación de los suelos. Aunque ésta sucede de manera natural (en las fases finales de la mineralización de la materia orgánica del suelo y de los residuos orgánicos), su ocurrencia aumenta por la adición de fertilizantes amoniacales o aquellos que conllevan a la formación de este compuesto, por ejemplo sulfato de amonio, nitrato de amonio y urea (8)

Tabla 2. Acidez del suelo producida por los fertilizantes nitrogenados. Tomado de Havlin *et al.* (5).

| Fuente de fertilizante | Contenido de N (%) | Mol de H^+ por mol de N | CaCO_3 Equivalente* |
|-------------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Urea | 46 | 1 | 3,6 |
| Nitrato de amonio | 34 | 1 | 3,6 |
| Sulfato de amonio | 21 | 2 | 7,2 |
| Fosfato monoamónico-MAP | 12 | 2 | 7,2 |
| Fosfato diamónico-DAP | 18 | 1,5 | 5,4 |

* Representa las libras de CaCO_3 necesarias para neutralizar la acidez que se genera por cada libra de N aplicado vía fertilizante.

Otro aspecto a tener en cuenta se relaciona con las cantidades de nitrógeno empleadas en la fertilización. La Figura 3 ilustra el efecto de dosis crecientes de N en las propiedades químicas del suelo en la Estación Experimental La Trinidad (Tolima), luego de 4 años de aplicaciones. Con el suministro de $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de N el pH se redujo en 0,27 unidades, el Ca^{2+} $1,43 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$, el Mg^{2+} $0,10 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ y el K^+ $0,14 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$, mientras que el Al^{3+} se incrementó en $0,46 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$, pasando su participación en el complejo de cambio del 14% al 31% (saturación de aluminio). Con respecto a la capacidad que tiene el suelo para el almacenamiento de cationes, la CICE disminuyó en 25%.

Dos de las propiedades importantes del suelo relacionadas con la acidez son el poder tampón (búfer) y la resiliencia. La primera tiene que ver con la resistencia que el suelo exhibe para no dejarse modificar y la segunda hace referencia a la capacidad que tiene para recuperar su estado inicial luego de haber cesado la acción de un agente al que había estado sometido. Entre los factores que determinan el poder de amortiguación del suelo se encuentran el material parental, el contenido y tipo de arcilla, el contenido de materia orgánica y la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Al (3). Un ejemplo de la resiliencia se registró en una investigación desarrollada durante dos años, en 41 lotes cafeteros (11 departamentos), donde el pH del suelo tuvo un incremento promedio de 0,29 unidades cuando se dejó de aplicar N ($240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) (10).

Implicaciones de la acidez en el crecimiento del café

Ante condiciones de acidez ($\text{pH} < 5,5$), el exceso de aluminio afecta el crecimiento normal de las raíces; circunstancia que reduce la absorción de los nutrientes y el desarrollo de la parte aérea de la planta (Figura 4). Se ha demostrado que en los suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia, caracterizados por ser ricos en materia orgánica, la concentración de Al^{3+} en la solución es baja (7), lo cual explica la poca probabilidad de encontrar patologías severas de su toxicidad; sin que ello implique reducción de crecimiento y desarrollo de las plantas.

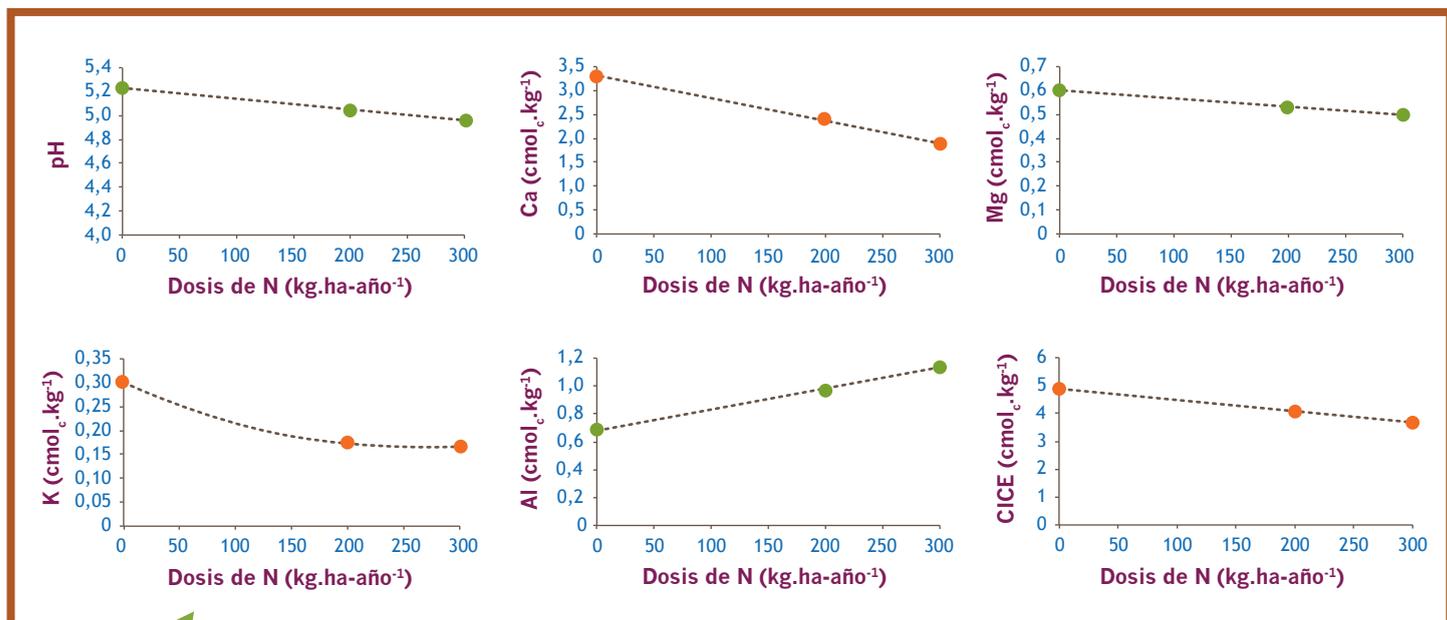


Figura 3. Cambios en las propiedades químicas del suelo en respuesta a la fertilización nitrogenada (valores promedio de urea y nitrato de amonio) en la Estación Experimental La Trinidad (Tolima).



Figura 4. Síntomas de toxicidad por aluminio en la parte aérea (izquierda) y en las raíces (derecha) de café. Tomado de Sadeghian (9).

La acidez del suelo afecta el crecimiento del café en todas las etapas del cultivo. Cuando el suelo es ácido para café ($\text{pH} < 5,0$), la planta crece menos; lo mismo ocurre si la reacción del suelo se torna más alcalina (pH mayor de 5,5). Ejemplos de lo anterior se muestran para la etapa de almácigo (Figura 5) y en el establecimiento de los cafetales (Figura 6).

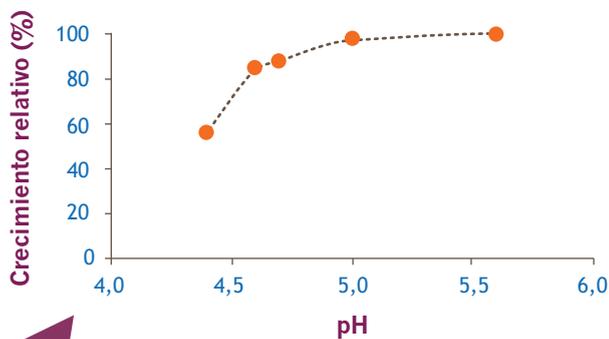
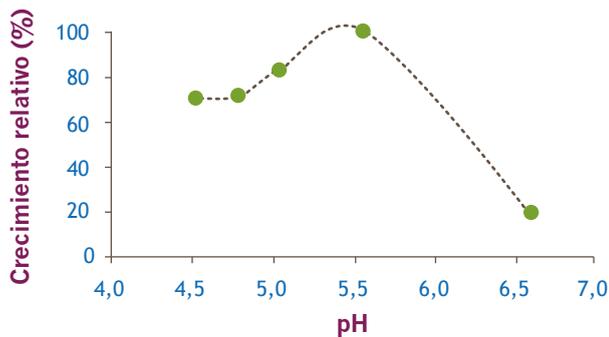


Figura 5. Efecto del pH en el crecimiento del café en suelos de las unidades 200 (arriba) y Chinchiná (abajo). Adaptado de Díaz (2).

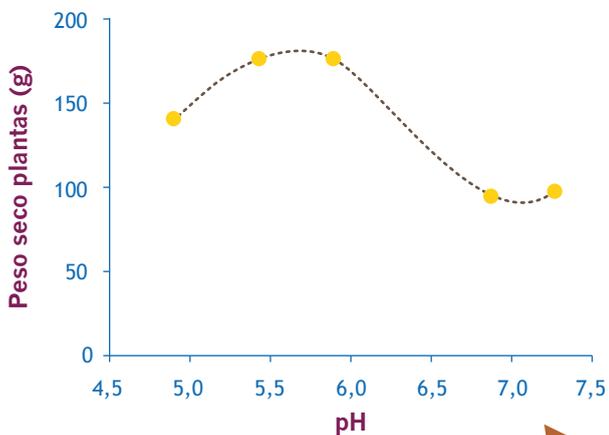


Figura 6. Materia seca de café durante la fase de establecimiento en respuesta a las variaciones del pH del suelo. Adaptado de Suárez de Castro y Rodríguez (11).

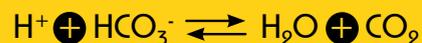
Manejo de la acidez del suelo

Son diversas las estrategias para enfrentar los problemas de acidez; entre ellas, disponer de genotipos tolerantes, el uso de microorganismos (por ejemplo, las micorrizas ayudan a las plantas en la absorción de fósforo), aumentar el contenido de la materia orgánica del suelo, controlar la erosión, aplicar abonos orgánicos y el empleo de enmiendas inorgánicas.

Entre estas estrategias, la más divulgada y quizás la de mayor efectividad, es el manejo de la acidez del suelo mediante la aplicación de cales (productos clasificados entre las enmiendas inorgánicas), principalmente carbonatos de calcio (CaCO_3) y/o de magnesio (MgCO_3); esto sin descartar otros materiales encalantes como óxidos, hidróxidos y silicatos.

Reacción de las cales

Las reacciones de los carbonatos de calcio y magnesio en presencia de agua liberan iones hidroxilo (OH^-), los cuales se unen con el H^+ para formar agua y así neutralizar la acidez.



Adicionalmente, el aluminio- Al^{3+} se precipita como $\text{Al}(\text{OH})_3$, forma en la cual no es tóxico para las plantas (4)

En ocasiones se tiene la creencia de que al aplicar cales es el calcio el que corrige la acidez, lo cual es incorrecto. En los materiales encalantes es el ion hidroxilo (OH^-) generado en la reacción el que ejerce esta función y no el calcio. Fertilizantes como el nitrato de calcio no modifican el pH ni controlan el aluminio intercambiable. El yeso (sulfato de calcio- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) puede neutralizar el aluminio, sin modificar el pH.

Beneficios del encalado

Son muchos los beneficios que ofrece el encalamiento, Malavolta (6) cita algunos de éstos:

- Elimina la toxicidad de aluminio y de manganeso.
- Proporciona calcio y magnesio.
- Incrementa la actividad de los microorganismos encargados de la mineralización de la materia orgánica del suelo y, en razón de ello, aumenta la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, azufre y boro, entre otros.
- Incrementa la actividad de las bacterias que fijan el nitrógeno atmosférico.
- Mejora la eficiencia de los abonos, en particular los nitrogenados, potásicos y fosfóricos.
- Contribuye al aumento de la productividad y reduce los costos de producción.
- Debido a su efecto prolongado (2 a 4 años), el encalamiento es “una verdadera inversión”.

Respuesta del café al encalamiento

La cal es efectiva siempre y cuando existan condiciones de acidez en el suelo. Cuando la reacción del suelo es neutra o alcalina (pH igual o mayor de 7,0) la cal no reacciona; debido a ello, no es una fuente de calcio.

En algunas ocasiones con el uso de abonos orgánicos se corrige parcialmente la acidez del suelo; en contraste, cuando la acidez es alta, resulta más favorable para el crecimiento de las plantas el uso de enmiendas calcáreas junto con la aplicación de abonos orgánicos y fósforo. Un ejemplo de lo anterior se presenta para la etapa de almácigo (Figura 7).

En suelos ácidos la incorporación de cal al suelo del hoyo antes de la siembra favorece el crecimiento de las plantas. En una investigación reciente, desarrollada en el municipio de Andes (Antioquia), se demostró que las plantas de un año tuvieron mayor diámetro del tallo y ramas más largas. En este caso, tratándose de un suelo pedregoso, fueron suficientes 60 g de caliza dolomítica por hoyo (Figura 8).

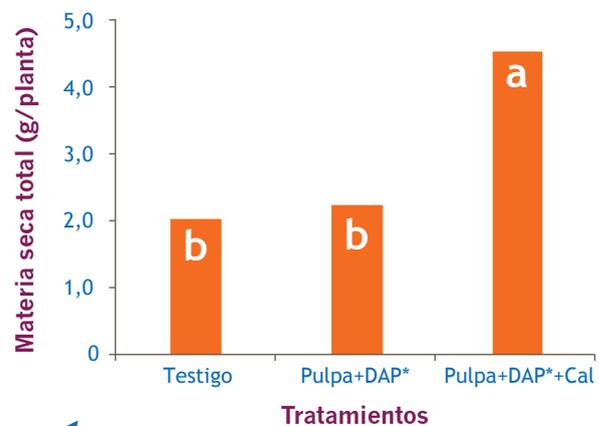


Figura 7. Crecimiento de café durante la etapa de almácigo en respuesta a pulpa de café, fósforo y cal en Cajibío (Cauca). El tratamiento testigo corresponde a suelo solo. Datos de la Disciplina de Suelos (sin publicar). Letras distintas indican diferencias según la prueba de Tukey. * El DAP se aplicó superficialmente.

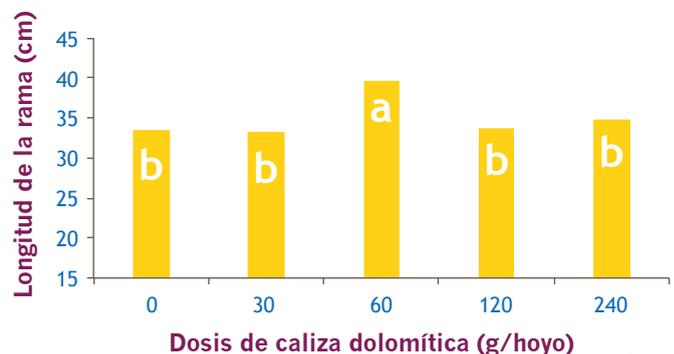
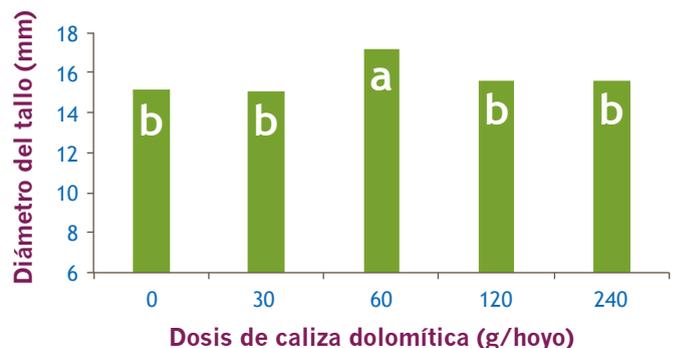


Figura 8. Diámetro del tallo y longitud de las ramas de café en respuesta a dosis de cal en la siembra. Letras distintas indican diferencias según la prueba de Duncan.

La aplicación de cal apagada (hidróxido de calcio- $\text{Ca}(\text{OH})_2$) durante la fase de establecimiento del cultivo ha demostrado ser eficaz en la corrección de la acidez, así como en el crecimiento de la planta cuando se aplican dosis no mayores a $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 9).

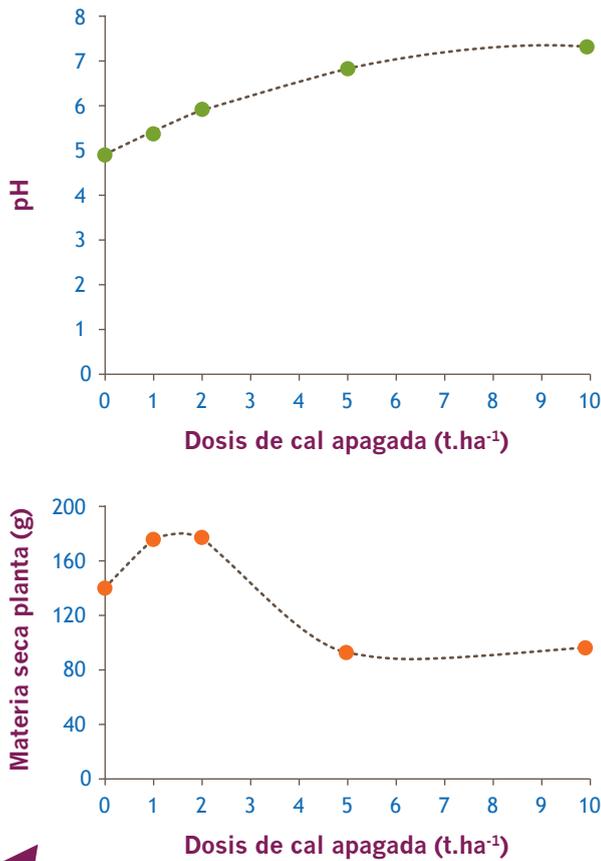


Figura 9. Efecto del encalamiento en el pH y materia seca de cafetales jóvenes. Tomado de Suárez de Castro y Rodríguez (11).

Han sido pocas las investigaciones desarrolladas en torno al encalamiento de cafetales durante la etapa de producción en Colombia. La Figura 10 ilustra la respuesta del café en producción al suministro de dosis bajas de cal agrícola ($340 \text{ kg}\cdot\text{ha}\cdot\text{año}^{-1}$) en las Estaciones Experimentales El Rosario (Antioquia) y San Antonio (Santander). En las dos localidades se registraron incrementos de la producción en cantidades equivalentes al 15%.

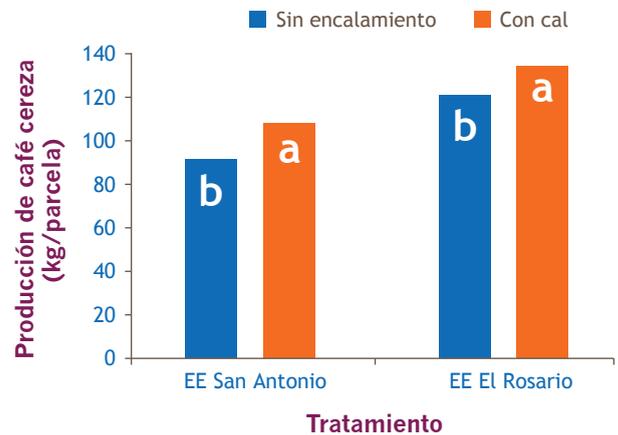


Figura 10. Producción del café en respuesta al suministro de cal en dos Estaciones Experimentales (EE) de Cenicafé durante el año 2003. Tomado de Sadeghian*. Letras distintas indican diferencias según la prueba de Dunnett.

* Sadeghian K., S. Efecto de la fertilización con calcio en la producción y calidad del café. Informe anual de actividades. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. Manizales, Colombia. Informe anual de actividades Disciplina de Suelos 2003-2004. Chinchiná, Cenicafé, 2004. 5 p.



Señor caficultor

En muchas regiones de Colombia la producción de café se afecta por la acidez del suelo.

¿Ya tomó muestras de suelo para detectar si su cafetal tiene problemas de acidez?

Consideraciones

- Cuando las raíces del café se desarrollan en suelos sin problemas de acidez, su crecimiento es mayor, son más eficientes en la absorción de agua y nutrientes y, por lo tanto, las plantas son más productivas.
- Para conocer el grado de la acidez del suelo debe disponerse del análisis de suelos.
- Los suelos ácidos se caracterizan por presentar valores bajos de pH y altos contenidos de aluminio, elemento que es tóxico para las plantas.
- El uso racional de los fertilizantes nitrogenados reduce la acidificación del suelo.
- La acidez del suelo se corrige mediante la aplicación de enmiendas, principalmente cal. El análisis del suelo ayuda a definir correctamente la dosis y la fuente de cal.
- La efectividad de la cal depende tanto de la dosis y la fuente empleada, como el grado de la finura (tamaño de la partícula) y la forma de su aplicación.
- La cal no es soluble, por lo tanto, su efectividad está dada por su aplicación. Es mucho más eficaz si se incorpora al suelo, práctica que solo puede efectuarse al momento de la siembra, de lo contrario pueden ocasionarse daños a las raíces.
- Cuando la cal no se mezcla de manera homogénea con el suelo antes de la siembra, se forman capas o costras de cal que no son efectivas (Figura 11). Esto también sucede al espolvorear el producto a las paredes del hoyo.
- Es necesario tener en cuenta el tamaño del hoyo en el que se siembra el colino con el fin de ajustar la dosis de la cal.
- Es preferible construir hoyos grandes (30 x 30 cm), especialmente en los suelos donde se presenta una acidez alta. Esto permitirá controlar la acidez en un mayor volumen de suelo (Figura 12).



Figura 11. Capas o costras de cal por una aplicación incorrecta.

- El efecto de las aplicaciones superficiales se limita a los primeros 5 ó 10 cm; sin embargo, se espera que las aplicaciones continuadas tengan efecto en mayores profundidades.
- Después de la siembra es necesario esparcir la cal de manera homogénea en la zona de raíces (el plato del árbol). Si el cultivo no ha alcanzado su máximo desarrollo, el área de aplicación debe ampliarse, teniendo en cuenta el crecimiento futuro.
- Es necesario retirar la mayor cantidad de hojarasca antes de encalar. El exceso de la hojarasca afecta la uniformidad de la aplicación de la cal (Figura 13).
- Cantidades de cal menores a las requeridas son menos efectivas y el sobre-encalamiento afecta negativamente el crecimiento de las plantas, generando deficiencias de algunos elementos, principalmente de hierro, lo que se conoce como clorosis calcárea. Los problemas de sobredosis son muy difíciles de resolver en razón de la alta residualidad de la cal.



Figura 12. Aplicación homogénea de la cal en el hoyo antes de la siembra.

- La frecuencia del encalamiento puede variar entre 1 y 2 años. Al efectuar esta labor en la siembra, se recomienda una nueva aplicación después de 10 a 12 meses. Durante la fase reproductiva la frecuencia de aplicación es de 2 años; esto a menos que se realice un nuevo análisis de suelo.
- Se sugiere llevar a cabo el encalamiento aproximadamente 2 meses antes o después de fertilizar. Esta labor puede realizarse en épocas secas.
- No debe fraccionarse la dosis recomendada.
- Es posible aplicar una mezcla de cales, otras enmiendas y ciertos fertilizantes, por ejemplo óxido de magnesio y yeso. En contraste, la cal no debe mezclarse con los fertilizantes nitrogenados ni fosfóricos.
- Cuando se quiere corregir la acidez, no debe reemplazarse la cal por fertilizantes solubles como nitrato de calcio.



Figura 13. La presencia de hojarasca afecta la uniformidad de la aplicación.



Literatura citada

1. BOHN, H. L.; MCNEAL, B.L.; O'CONNOR, G. A. 2001. Soil Chemistry. Tercera edición. John Wiley & Sons, INC, New York. 307 p.
2. DÍAZ M., C. Efecto del enclamiento sobre el crecimiento de las plantas de café en la etapa de almácigo. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2006. 246 p.
3. FASSBENDER, H. 1987. Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina. 420 p. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica.
4. FÁVERO, E. C. Manejo da acidez do solo. 2010. En: Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Ed. PROCHNOW L.I.; CASARIN V.; STIPP, S.R. Vol 1. 281-338.
5. HAVLIN, J.L.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 8a. ed. New Jersey : Pearson, 2014. 516 p.
6. MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.
7. ORTÍZ E. M. A.; ZAPATA H., R.D. SADEGHIAN K., S.; FRANCO A. H.F. Aluminio intercambiable en suelos con propiedades ándicas y su relación con la toxicidad. Cenicafé 55(2): 101-110. 2004.
8. RAIJ, B. Van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2011. 420p.
9. SADEGHIAN K., S. Nutrición de cafetales. p. 85-116. En: CENICAFÉ. Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná : FNC : CENICAFÉ, 2013. 3 vols.
10. SADEGHIAN KH., S. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelo cultivados en café. Cenicafé 54(3): 242-257. 2003.
11. SUÁREZ DE C., F.; RODRÍGUEZ G., A. Aplicación de la cal en cafetos jóvenes. Revista cafetera de Colombia 12(129):4294-4301. 1956.
12. ZAPATA H., R. D. Química de la acidez del suelo. 2004. Cargraphics, Cali. 208 p.

