**Extracto del libro de Tistdale y Nelson, Fertilidad y Fertilizantes.**

**MATERIALES DE ENCALADO**

El encalado consiste en la aplicación masiva de sales básicas con el objeto de neutralizar la acidez del suelo causada por hidrógeno y aluminio. Los productos que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de la acidez del suelo son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio. Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una capacidad de neutralización variable. La acción neutralizante de los materiales de encalado no se debe en forma directa al calcio y el magnesio, sino más bien a las bases químicas a la cual están ligados estos cationes: CO3-2, OH- y SiO3-2.

Los cationes reemplazan a los iones ácidos de las posiciones intercambiables y los ponen en solución, y al entrar en contacto la cal con el agua del suelo (Espinosa 1995) las sales básicas se disocian y generan cationes y OH- . Los OH- generados por los carbonatos, hidróxidos y silicatos son los que neutralizan la acidez del suelo al propiciar la precipitación del aluminio como Al (OH) y la formación de agua. Las sales básicas de calcio y magnesio son muy abundantes en la naturaleza, y además estos dos elementos 3 son esenciales para la nutrición de las plantas. Por este motivo constituyen los correctivos de acidez de mayor uso.

Las reacciones de la neutralización de la acidez del suelo se pueden ilustrar de la siguiente forma



En el esquema anterior se deduce que el Ca no interviene en la neutralización de la acidez, sino más bien es el anión CO3-2 el que al hidrolizarse produce iones OH- que neutralizan los iones H+ provenientes de la hidrólisis del Al y precipitan al mismo Al. El proceso reverso también puede ocurrir, debido a que los iones básicos como Ca, Mg y K pueden ser removidos del suelo por la absorción de las plantas o lixiviación, siendo reemplazados por Al. A medida que ocurre este proceso, se incrementa la actividad del H y se reduce el pH del suelo. La acidificación progresiva del suelo es favorecida cuando se utilizan dosis altas de fertilizantes nitrogenados o amoniacales.

**3.1 Fuentes.**

Es el material más utilizado para encalar los suelos. Está compuesto en su mayoría por carbonatos de calcio con muy poco magnesio. Se obtiene a partir de

**a) Cal calcítica - CaCO3**

la roca caliza, roca calcárea o calcita, la cual es molida y pasada por mallas de diferentes tamaños para luego ser empacada en sacos de 23 ó 46 Kg. En su forma pura contiene 40% de Ca. Los materiales hechos de carbonato de calcio entes en el país varían entre 26 y 39% de Ca. Las rocas calizas no son puras, ya que pueden contener algunas impurezas que incluyen arcilla, hierro, arena y granos de limo.

 **b) Oxido de calcio CaO**

Es el producto obtenido de la calcinación total del carbonato de calcio a una temperatura aproximada a 1000 ºC.

CaCO3 + calor (1000 ºC) ⎯→ CaO + CO

 Se conoce como cal viva o cal quemada. Es un material muy cáustico y de manejo difícil porque puede causar quemaduras al contacto con la piel. Su velocidad de reacción es mayor que el carbonato debido a su mayor concentración de Ca (71% en su forma pura) y a que por ser un óxido, reacciona rápidamente al contacto con el agua provocando una fuerte reacción exotérmica y liberando iones OH-

Se presenta normalmente como polvo bastante fino y su precio es más alto que el CaCO3.

**c) Hidróxido de calcio Ca(OH)2**

Se obtiene a partir de la reacción del óxido de calcio con agua:

CaO + H2O ⎯→ Ca (OH)2

 Se conoce como cal apagada o hidratada y es la forma en que se comercializa el CaO producido por calcinación. Luego de sacarlo del horno, lo hidratan y empacan. Es un polvo blanco, con alto grado de solubilidad y de rápida reacción en el suelo. Presenta 54% de Ca en su forma pura. Es un material de mayor costo que el carbonato y con una reacción intermedia entre éste y el CaO en neutralizar la acidez del suelo.

**d) Cal dolomítica CaMg (CO3)2**

La dolomita pura contiene 21.6% de Ca y 13.1% de Mg. Aunque este material reacciona más lentamente en el suelo que el carbonato de calcio, tiene la ventaja de que suministra Mg, el cual es un elemento que con frecuencia se presenta también deficiente en suelos ácidos.

Los materiales de encalado pueden clasificarse de acuerdo con su contenido de Mg en distintas categorías.

Se ha indicado que la dolomita reacciona más lentamente en el suelo que la cal calcítica, aunque no hay suficiente evidencia experimental que respalde esta afirmación.

**e) Magnesita**

Es un producto a base de carbonato de magnesio (MgCO3), que en su forma pura posee un contenido de Mg de 28.5%. Es una excelente fuente de magnesio.

 **f) Oxido de Magnesio - MgO**

Este es un material compuesto sólo de Mg. Se le conoce también como Magox, y en su forma pura contiene 60% de Mg. Es fabricado a partir de la calcinación de la magnesita que produce MgO. Es una fuente excelente en suelos ácidos con problemas de Mg. Su capacidad de neutralización de la acidez es mucho más elevada que la de otros materiales, pero dado que es un producto poco soluble en agua, debe ser molido finamente para que actúe como material neutralizante de la acidez del suelo.

**g) Arcillas calcáreas**

 Son depósitos no consolidados de CaCO3, conocidos también como margas, de textura arcillosa y con gran cantidad de impurezas. Por lo general, este material se maneja en húmedo lo que disminuye su eficiencia.

 **h) Escorias industriales**

Son residuos de la industria del acero (escorias básicas) y de la fundición de hierro (escorias Thomas): ambos contienen silicatos de calcio (CaSiO3) y silicatos de magnesio (MgSiO3) y neutralizan la acidez del suelo a través de la hidrólisis del ión silicato (SiO3). Su capacidad para neutralizar la acidez del suelo es similar al del carbonato de calcio.

**i) Yeso**

El yeso agrícola o sulfato de calcio dihidratado (CaSO4)**.**2H2O) es un subproducto de la industria del ácido fosfórico, el cual es necesario para la fabricación de fertilizantes fosfatados como triple superfosfato y fosfatos de amonio. La roca fosfórica es atacada con ácido sulfúrico para producir ácido fosfórico y yeso como subproducto:

El yeso también es obtenido de yacimientos o depósitos naturales de evaporitas sedimentarias. Su composición varía de 17 a 20% Ca y de 14 a 18% de S. Su aplicación superficial incrementa los contenidos de Ca y S, eleva la capacidad de intercambio catiónico y disminuye el nivel de aluminio intercambiable, su actividad, y su saturación en el complejo de intercambio del suelo. Los productos finales de la disolución del yeso son Ca+2, que participan en reacciones de intercambio catiónico y aniónico, formación de complejos iónicos y precipitados. Estas reacciones modifican el nivel de fertilidad de suelos tropicales por la formación de un sistema dinámico con movimiento de iones y alteración de la solubilidad y disponibilidad de elementos para las plantas.

El SO4-2 también sufre reacciones de intercambio y adsorción y es susceptible a lixiviarse, arrastrando consigo a los cationes desplazados a la solución del suelo, hacia los horizontes subsuperficiales mediante la formación de pares iónicos neutros como CaSO4, MgSO4 y K2SO4 y SO4-2. Esta lixiviación puede mejorar la fertilidad del subsuelo, enriqueciéndolo con Ca, Mg, K y S, y estimulando un crecimiento más profundo de las raíces.

**3.2 Calidad de materiales de encalado**

 Uno de los aspectos más importantes de considerar en la determinación de la eficiencia agronómica de un material de encalado es su calidad, la cual está fundamentada en los siguientes factores: pureza química y poder neutralizante, forma química, tamaño de partícula, Poder de Neutralización Total.

**a) Pureza química**

La pureza es una característica importante del material de encalado ya que permite conocer su composición química y expresarla como equivalente de carbonato de calcio. La composición molecular del material y la alta cantidad de contaminantes que contenga, tales como arcilla o minerales de Fe determinan este valor. Todos los materiales difieren en su capacidad de neutralizar la acidez del suelo. Para conocer esta característica se utiliza el criterio de Efectividad química, Equivalente químico (EQ) o Poder de Neutralización, que se define como la capacidad de neutralizar la acidez que tiene un material con relación al carbonato de calcio puro, al cual se le asigna un valor de 100%. Para determinar el Poder de Neutralización se debe tomar una cantidad conocida del material y disolverla en una cantidad conocida de ácido, luego el exceso de ácido es titulado con una base. Comparativamente con el carbonato de calcio puro, los óxidos e hidróxidos presentan una mayor capacidad potencial de neutralización. El óxido de magnesio constituye la forma química más eficiente para neutralizar la acidez del suelo. Como norma internacional se considera que los materiales con (32% de Ca) son de baja calidad.

**b) Forma química**

 Con base en las diferentes formas químicas existentes, se presentan también diferentes capacidades de neutralización y reactividad. Los productos a base de carbonatos y silicatos neutralizan la acidez a través de sus bases químicas CO3-2 y SiO3-2 , las cuales son débiles. En tanto que los óxidos reaccionan inmediatamente con el agua del suelo transformándose en hidróxidos, por lo cual los óxidos e hidróxidos neutralizan la acidez a través de su base OH- que es fuerte, por lo que son más efectivos.

**c) Tamaño de partícula**

La fineza de las partículas individuales de la cal determina su velocidad de reacción. Conforme se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material, aumenta su área o superficie de contacto. Cuanto más superficie específica tenga el material, más rápido se disolverá en el suelo. Para estimar la eficiencia granulométrica de un material de encalado, se pesa una cantidad determinada del material y se pasa por una secuencia de mallas o cribas de diferente tamaño, donde se obtiene la cantidad de material retenido en ellas, y cada fracción se expresa como porcentaje de la masa inicial.

Los materiales que son retenidos en tamiz de 8 son inefectivos. Los que pasan este tamiz pero se retienen en tamiz 20 son 20% efectivos pero reaccionan muy poco. Los que pasan el tamiz 20 pero se retienen en el tamiz 60, son 60% efectivos y pueden reaccionar en un período de 10-18 meses, y todos los que pasan este último tamiz tienen 100% de efectividad y reaccionan entre 3 y 6 meses. La cal que pasa por un tamiz 80 es muy fina y puede reaccionar en 1-3 meses. La condición ideal es que el 100% del material pase por una malla 8 y 70-80% pase por una malla 60.

Para el análisis de la Eficiencia granulométrica se pueden utilizar la siguiente secuencia de mallas: 8 ó 10, 20, 40, 60 y 80 mesh.

**3.3 Método y época de aplicación**

El método óptimo de aplicación es incorporar la cal en los primeros 15-20 cm de suelo, con rastra. De esta forma se logra la mezcla del material con la capa del suelo donde se concentran las raíces de la mayoría de los cultivos. Sin embargo, esto no puede siempre lograrse debido al costo que representa o a que el cultivo está ya establecido, como en el caso de los perennes, por lo que la cal se aplica entonces en la superficie. Se ha demostrado que las aplicaciones de cal incorporadas son más eficientes, especialmente si el suelo es arcilloso.

La distribución es otro aspecto muy importante. Si la cal va a ser incorporada, debe distribuirse en forma uniforme en todo el terreno. En cultivos perennes con distancias de siembra amplias, la cal debe distribuirse en el área de gotera o rodaja, que es donde se concentran las raíces.

En cultivos perennes también resulta muy práctico incorporar un poco de cal en el hoyo de siembra antes de poner la planta, y otro poco en la rodaja. Normalmente, el suelo en la banda de fertilización tiende a ser más ácido debido al efecto residual de los fertilizantes nitrogenados, por lo que la aplicación de la cal en ese sitio es una medida eficaz.

En vista que la cal requiere de humedad para que reaccione, la época más apropiada para aplicarla es al inicio de las lluvias o un poco antes. En café es usual que la cal se agregue en los meses secos. Sin embargo, no existen limitaciones en cuanto a la época de aplicación siempre que haya humedad en el suelo y que no coincida con un ciclo de fertilización al suelo. En siembras nuevas la cal debe ser incorporada antes de sembrar. Una vez aplicada la cal, se debe esperar un tiempo prudencial (1 mes) para que reaccione antes de añadir el fertilizante. El contacto directo de la cal con fertilizantes nitrogenados amoniacales en la superficie del suelo puede favorecer la formación de carbonato de amonio, el cual a su vez se transforma en amoníaco y se pierde el N por volatilización. También el contacto con fertilizantes fosfatados causa pérdidas del elemento por formación de fosfatos de calcio insolubles.

**3.4 Efecto residual de la cal**

El efecto residual de la cal depende de su velocidad de reacción o reactividad en el suelo. Entre los factores que intervienen en este proceso se pueden citar:

**a) Condiciones de clima y suelo**

La alta temperatura y humedad, así como un valor alto del acidez, favorecen la reacción de la cal. Por tal motivo, los materiales de encalado son más reactivos en zonas tropicales que en sitios fríos o templados.

 En suelos con pendientes muy fuertes, la cal aplicada superficialmente puede perderse por escorrentía y erosión.

Se ha demostrado que la lixiviación de Ca y/o Mg proveniente de la cal, es alta en suelos de texturas livianas y alta capacidad de infiltración. Los suelos ácidos de textura arenosa deben ser encalados con mayor frecuencia que los arcillosos.

 **b) Naturaleza química del material**

Los productos que forman bases fuertes como los óxidos e hidróxidos reaccionan más rápido, pero su efecto residual no es muy prolongado debido a que el Ca y/o Mg pueden ser lixiviados con el tiempo en climas muy lluviosos. Las bases débiles como los carbonatos, son de reacción más lenta y de mayor efecto residual.

 **c) Tamaño de partícula**

Los materiales más finos reaccionan mucho más rápido que los gruesos, y su efecto residual es menor. Los materiales muy finos pueden presentar pérdidas significativas por la acción de viento, además de mostrar aglutinación y adherencia de sus partículas, lo que dificulta su acción y distribución (Chaves, 1993a). La cal retenida en mallas 20 y 40 puede reaccionar en un plazo que oscila entre 1 y 3 años, dependiendo de las condiciones climáticas. El material retenido en malla 10 no tiene efecto sobre la acidez del suelo.

 **d) Cultivo**

En cultivos de ciclo muy corto, como hortalizas y algunas ornamentales, es preferible el uso de materiales de rápida reacción y alta fineza tales como los óxidos e hidróxidos de Ca. En cultivos perennes se puede utilizar cales con un efecto residual más prolongado (con un poco de material más grueso).

**e) Intensidad de cultivo**

Los terrenos intensamente cultivados y fertilizados con nitrógeno, son más susceptibles a acidificarse rápidamente. Se ha demostrado que en suelos ácidos como los Andisoles y Ultisoles, el abonamiento intensivo con fuentes amoniacales como sulfato de amonio, nitrato de amonio y urea, pueden incrementar los problemas de acidez a mediano plazo si no se toman medidas oportunas de corrección. Los fertilizantes nitrogenados amoniacales dejan efecto residual ácido como consecuencia de la nitrificación del NH4+ por las bacterias del suelo. Además presentan mayor grado de acidificación potencial del suelo.

 **f) Dosis**

Dosis muy bajas o que subestiman el contenido de acidez intercambiable del suelo no reducen la acidez de forma cuantificable y su efecto residual es casi nulo. Por ejemplo, la práctica corriente de aplicar 1 ton/ha de CaCO3 en suelos ácidos cafetaleros, puede ser insuficiente en muchos casos, subestimando la magnitud de los problemas de acidez. En tal situación el análisis de suelos es la mejor herramienta para calcular la dosis de cal adecuada.

Algunos suelos pueden presentar un nivel de acidez intercambiable bajo, pero ser deficientes en Ca. En este caso, la aplicación de la cal es la forma más económica de suplir Ca como fertilizante, y el uso de una fórmula para calcular la dosis resulta innecesario, siendo más práctico agregar una cantidad moderada de cal (0.5-1 ton/ha) como fuente de Ca.