

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GENERALIDADES

2.1.1. NUTRICIÓN MINERAL DE LA MEZCLA FORRAJERA

Las leguminosas han sido reconocidas como fuente excelente de forraje y como mejoradoras de la fertilidad del suelo, debido a su habilidad para fijar nitrógeno del aire y para incorporar a la capa arable grandes cantidades de materia orgánica, existen gran cantidad de estudios sobre los requerimientos nutricionales y de manejo de las leguminosas cuando se cultivan poblaciones puras (Bernal, 1994).

En praderas mixtas siempre ha sido un problema mantener la proporción deseada de leguminosas y gramíneas; la gramínea asociada generalmente se debe nutrir de los fertilizantes aplicados y del nitrógeno fijado simbióticamente en la leguminosa. Aunque este casi nunca es suficiente para obtener máxima producción de la gramínea. En la mayor parte de los casos es más fácil introducir gramíneas dentro de una pradera de leguminosas puras que a la inversa. Cuando se aplican fertilizantes nitrogenados generalmente la leguminosa acaba siendo desplazada dada su inhabilidad para competir con la gramínea por esa fuente de nitrógeno (Salvador, 2000).

El organismo animal, es la “fotografía” bioquímica no sólo del medio en que vive sino del suelo que ha producido los alimentos de que se nutre. Si el suelo

no cuenta con todos los elementos nutritivos que las plantas necesitan para elaborar y formar su materia orgánica, éstas adolecerán de carencias que repercutirán en su propio desarrollo y en el organismo animal que las consume, produciendo enfermedades carenciales o metabólicas (Vera, 2003).

2.1.2 HIERRO Y ALUMINIO.

En suelos ácidos se encuentran altas concentraciones de hierro y aluminio solubles, especialmente en suelos con bajos contenidos de calcio. Las aplicaciones de calcio y fósforo pueden neutralizar la toxicidad producida por estos elementos; las cantidades aplicadas deben ser mayores en leguminosas de zona templada que en leguminosas tropicales más tolerantes a la acidez y altos niveles de hierro y aluminio (Bartolini, 1989).

2.1.3. ENCALADO EN PASTOS

El contenido de CaCO_3 aumenta el pH, en función de la titulación se ha observado que en suelos andinos el 63% necesitan más de 10 TM/ha de cal, y más del 93% necesitan más de 6TM/ha de cal, a medida que aumenta la aplicación de cal, aumenta la producción (García, 2002).

El requerimiento de cal de un suelo no solo se relaciona con el pH de ese suelo, sino también con su capacidad tampón. La cantidad total y el tipo de arcilla y el contenido de materia orgánica del suelo determinan que tan fuerte es la capacidad tampón del suelo; es decir con que fuerza el suelo resiste el cambio de pH. La capacidad tampón aumenta con el incremento en la cantidad de arcilla y materia orgánica. Los suelos con alta capacidad tampón requieren más cal para incrementar el pH que los suelos de menor poder tampón. Los suelos arenosos, con bajas cantidades de arcilla y materia orgánica, tienen bajo poder tampón y por lo tanto requieren menor cantidad de cal para cambiar el pH (INPOFOS, 1997).

La cantidad de cal necesaria para precipitar el aluminio varía en los Andisoles dependiendo de factores como altitud, clima e intensidad y estado de meteorización de la ceniza y únicamente se puede determinar con exactitud mediante ensayos de campo en los sitios específicos (Gutiérrez ,1992).

2.1.3.1. EFECTOS DEL ENCALADO

Gutiérrez (1992) indica que:

- a.- Los valores de pH se incrementan a medida que se aumentan las cantidades de cal (CaCO_3) aplicados.
- b.- La aplicación de CaCO_3 origina una disminución sustancial del aluminio intercambiable y de la correspondiente saturación de este. La dosis correspondiente a 1,5 veces el aluminio intercambiable reduce su concentración a valores de 0,2 meq/100 g y la saturación bajó a valores menores al 3%.
- c.- Conforme se aumentan las dosis de cal aplicadas, los contenidos de calcio incrementan, mientras que el Magnesio intercambiable disminuye. Por ello, al recomendar CaCO_3 , es necesario aplicar cantidades de magnesio o cal dolomita

2.1.3.2 FACTORES QUE AFECTAN EL pH

- a. Material de origen.-** Los suelos que se desarrollaron de un material parental proveniente de rocas básicas generalmente tienen un pH más alto que aquellos formados de rocas ácidas.
- b. Profundidad del suelo.-** Excepto en áreas de baja precipitación, la acidez generalmente aumenta con la profundidad. Por esta razón, la pérdida de la capa superior del suelo por erosión puede llevar a la superficie suelo de pH más ácido. Sin embargo, existen áreas donde el pH del subsuelo es más alto que el pH de la capa superior.

- c. **Precipitación.-** A medida que el agua de las lluvias se percola en el suelo, se produce la salida (lixiviación) de nutrientes básicos como potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Estos son reemplazados por elementos ácidos como Al, H, Fe y Mn. Por lo tanto, los suelos formados bajo condiciones de alta precipitación son más ácidos que aquellos formados bajo condiciones áridas.
- d. **Descomposición de materia orgánica.-** Los materiales orgánicos del suelo son descompuestos continuamente por los microorganismos convirtiéndolos en ácidos orgánicos, dióxido de carbono (CO₂) y agua, formando finalmente ácido carbónico. El ácido carbónico reacciona a su vez con los carbonatos Ca y Mg en el suelo para formar bicarbonatos solubles que se lixivian, haciendo el suelo más ácido.
- e. **Siembra de cultivos.-** Los suelos a menudo se vuelven más ácidos con la cosecha de los cultivos debido a que éstos remueven bases. El tipo de cultivo determina las cantidades relativas removidas.
- f. **Fertilización nitrogenada.-** El Nitrógeno (N) ya sea proveniente de los fertilizantes, materia orgánica, estiércol o fijación biológica de las leguminosas produce acidez. La fertilización con N⁺ acelera el desarrollo de la acidez. A dosis bajas de N⁺, la acidificación es lenta, pero se acelera a medida que las dosis de N⁺ se incrementan.
- g. **Inundación.-** El efecto global de la inundación del suelo es el incremento del pH en suelos ácidos y una reducción en suelos básicos. Sin tener en cuenta el valor original del pH, la mayoría de los suelos llegan a valores de pH entre 6.5 y 7.2 alrededor de un mes después de haber sido inundados y se mantienen a ese nivel hasta que se secan (INPOFOS ,1997).

2.2. EL PORQUE SE DEBEN ENCALAR LOS SUELOS ÁCIDOS

La acidez del suelo afecta de diversas maneras el crecimiento de la planta. Cuando el pH es bajo (la acidez es alta), uno o varios factores perjudiciales pueden deprimir el crecimiento del cultivo (Espinosa, 1987).

A continuación se presentan algunas de las consecuencias de la acidez del suelo:

De acuerdo a Sánchez, (1981) indica que:

- La concentración de elementos como aluminio, hierro y manganeso puede llegar a niveles tóxicos, debido a que su solubilidad se incrementa en suelos ácidos.
- La toxicidad del Al es probablemente el factor que más limita el crecimiento de las plantas en suelos fuertemente ácidos (pH menor a 5.5) en la mayoría de los suelos. El H solamente es tóxico a un pH menor a 4.2.
- Los organismos responsables de descomponer la materia orgánica y de mineralizar al nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) pueden ser menores en número y en actividad.
- El Ca puede ser deficiente cuando la CIC del suelo es extremadamente baja. También puede presentarse una deficiencia de Mg^{+2}
- Los herbicidas aplicados al suelo pueden ser poco efectivos cuando el pH del suelo es muy bajo.
- La fijación simbiótica de N^+ por parte de las leguminosas se reduce notablemente. La simbiosis requiere de un rango de pH estrecho para funcionamiento óptimo de *Rhizobium* (bacterias fijadoras de nitrógeno)
- Los suelos arcillosos muy ácidos son menos agregados. Esto promueve una baja permeabilidad y aireación. Un efecto indirecto del encalado es que esta práctica produce más residuos de cultivos y esto a su vez mejora la estructura del suelo.
- Se reduce la disponibilidad de nutrientes como fósforo y Molibdeno.
- Se incrementa el potencial de lixiviación del potasio.

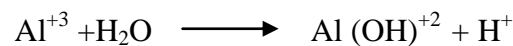
La aplicación de cal en suelos ácidos tiene los siguientes efectos:

- La cal reduce la toxicidad de aluminio y otros metales.
- La cal mejora las condiciones físicas del suelo.
- La cal estimula la actividad microbiana en el suelo.

- La cal incrementa la CIC en suelos de carga variable.
- La cal incrementa el pH del suelo.
- La cal incrementa la disponibilidad de varios nutrientes.
- La cal dolomita proporciona calcio y magnesio para las plantas.
- La cal mejora la fijación simbiótica de nitrógeno por parte de las leguminosas.

2.3. REDUCCIÓN DE LA ACIDEZ DEL SUELO POR LA ADICIÓN DE CAL.

Los procesos y reacciones por las cuales la cal reduce la acidez del suelo son muy complejos. Sin embargo, una visión simplificada de estos procesos explicará como funciona la cal. Como se mencionó anteriormente, el pH del suelo es una expresión de la actividad del H⁺. La principal fuente de H⁺ en la mayoría de los suelos de pH menor a 5.5 es la reacción de Al⁺³ con el agua, como se demuestra en la siguiente ecuación:



Esta reacción libera H⁺ (acidifica) y a su vez incrementa la cantidad de Al⁺³ listo para reaccionar nuevamente.

La cal reduce la acidez del suelo (incrementa el pH) al convertir parte del H⁺ en agua. Cuando el pH es mayor a 5.5, el Al se precipita como Al(OH)₃ eliminando la acción tóxica de este metal y la principal fuente de H⁺.

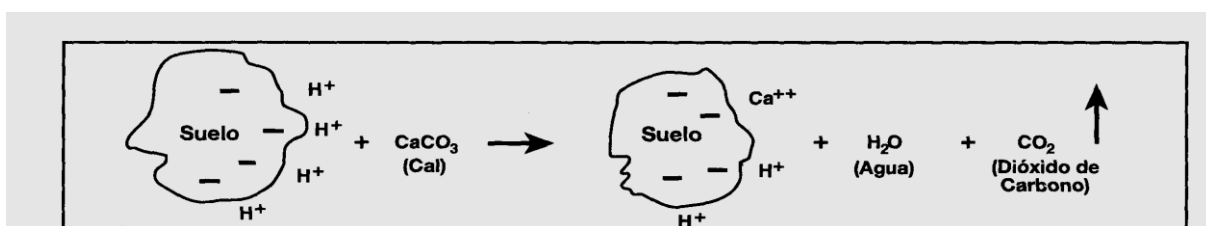
Las reacciones del encalado funcionan de la siguiente forma:

Los iones de Ca⁺² de la cal reemplazan al Al⁺³ en los sitios de intercambio, y el ion carbonato CO₃⁻² reacciona con el agua de la solución del suelo creando un exceso de iones OH⁻, que a su vez reaccionan con el exceso de H⁺ acidez, formando agua.

Debe recordarse también que el proceso reverso puede ocurrir. Un suelo ácido puede volverse más ácido si no se adopta un programa de encalado. A medida que los iones básicos como Ca⁺², Mg⁺² y K⁺ son removidos, generalmente

por la absorción de las plantas, éstos pueden ser reemplazados por Al^{+3} . Estos iones básicos pueden también perderse por lixiviación, y en este caso también pueden ser reemplazados por Al^{+3} . Este proceso incrementa la actividad de H^+ por lo tanto reduce el pH del suelo en forma constante si el suelo no es encalado adecuadamente (INPOFOS,1997).

Esquema de como la cal reduce la acidez del suelo.



Reacciones del encalado.

2.4. EPOCA Y FRECUENCIA DE LAS APLICACIONES DE CAL

El hacer recomendaciones generales con respecto a la frecuencia de la aplicación de la cal no es una buena alternativa debido a que en esta práctica están involucrados muchos factores. La mejor forma de determinar la necesidad de un reencalado es el análisis de suelo. Los factores que influyen la frecuencia del encalado son los siguientes.

- Textura del suelo.- Los suelos arenosos deben ser reencalados más a menudo que los suelos arcillosos.
- Dosis de N^+ utilizadas.- Dosis altas de amonio (NH_4) generan una acidez considerable.
- Cantidad de bases removidas por los cultivos.- Dependiendo del cultivo, del rendimiento y de las partes cosechadas, se pueden remover cantidades substanciales de K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} del suelo.

- Cantidad de cal aplicada.- La aplicación de cantidades altas de cal generalmente reduce la frecuencia del reencalado, pero no se debe sobre encalar.
- Rango de pH deseado.- El mantener un pH alto generalmente requiere de aplicaciones más frecuentes de cal que cuando se busca mantener un pH intermedio. A menudo no se logra obtener el rango deseado de pH, debido a que no se aplica la cantidad requerida de cal o se está usando un material de baja calidad (gránulos gruesos) o no se mezcla completamente la cal con el suelo. El análisis de suelo puede determinar los cambios de pH a través del tiempo (INPOFOS,1997).

CUADRO 1. Valores de neutralización relativa de algunos materiales de encalado.

Materiales de Encalado	Valores de neutralización relativa (%)
Carbonato de calcio puro	100
Dolomita (cal dolomítica)	95 – 108
Calcita (cal agrícola)	85 – 100
Conchas calcinadas	80 – 90
Greda	50 – 90
Cal quemada	150 – 175
Cal hidratada	120 – 135
Escorias Básicos	50 – 70
Ceniza de madera	40 – 80
Yeso	Ninguno
Sub. productos	Variables

Fuente: INPOFOS

Cuando se mezcla una cantidad determinada de cal con el suelo, la tasa y grado de reactividad son afectados por el tamaño de las partículas del material. Las partículas de cal gruesas reaccionan más lentamente y en forma incompleta. Las partículas de cal finas reaccionan más rápidamente y en su totalidad.

El costo de la cal se incrementa a medida que las partículas son más finas. Se recomienda utilizar un material que requiera de un mínimo de molienda, pero que contenga la suficiente cantidad de material fino para permitir un cambio rápido de pH.

A pesar de que la tasa de reacción de la cal depende del tamaño de las partículas, del pH inicial y del grado de incorporación en el suelo, es importante considerar la naturaleza química del material de encalado. Por ejemplo, el óxido y el hidróxido de calcio reaccionan más rápidamente que el CaCO_3 . De hecho, la cal hidratada reacciona tan rápidamente que puede esterilizar parcialmente el suelo. Si se aplica muy cerca a la siembra, puede inducir una deficiencia temporal de K debido a la alta disponibilidad de Ca. En casos extremos, puede ocurrir un retraso en el crecimiento de la planta y algún marchitamiento (INPOFOS, 1997).

2.5. FORMA DE APLICACIÓN DE LA CAL

Otro factor importante que determina la efectividad de la cal, es la forma de aplicación. Es esencial incorporar la cal de modo que se logre un contacto máximo del material de encalado con el suelo en la capa arable. La mayoría de los materiales de encalado son solo parcialmente solubles en agua; por lo tanto, la completa incorporación en el suelo es muy importante para que la cal reaccione completamente. Además, es indispensable que el suelo se encuentre húmedo para que las reacciones de la cal ocurran. Cuando se encalan suelos arcillosos con cantidades altas de cal, se logra una mejor incorporación cuando, se mezcla solamente una parte de la cal con el primer paso del tractor, y el resto con los siguientes (INPOFOS, 1997).

2.6. MATERIALES DE ENCALADO

El INPOFOS (1997) presenta una breve descripción de algunos materiales de encalado:

Calcita.- Este es uno de los materiales de encalado de uso más común. Depósitos de calcita de alta calidad se encuentran localizados en muchos lugares del mundo. La cal generalmente es minada a cielo abierto. La calidad depende del contenido de impurezas del material tales como arcilla o residuos de materia orgánica. Sus valores de neutralización (CaCO_3 equivalente) fluctúan desde 65 - 70 % hasta un poco más del 100%.

Dolomita.- Existen dos principales vertientes a conocer de la dolomita: como aditivo del suelo y la dolomita que se usa como materia base para los fertilizantes de magnesio y calcio.

La dolomita es también utilizada hasta cierto punto como aditivo de alimento para animales. La dolomita para uso en la industria del fertilizante debe contener mínimo 90% Ca_2MgCO_3 combinado, así como un contenido de sílice que no exceda del 5%. La dolomita de grado bajo con 15 a 20% MgO puede ser usada como acondicionador de suelos de pH ácidos.