

**EFFECTO, USO Y BENEFICIOS DE LA CAL AGRÍCOLA SOBRE LOS SUELOS
Y LAS MICORRIZAS**

PRESENTADO POR

KENNE MARCEL RICO FRAGOZO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2013**

**EFFECTO, USO Y BENEFICIOS DE LA CAL AGRÍCOLA SOBRE LOS SUELOS
Y LAS MICORRIZAS**

PRESENTADO POR

KENNE MARCEL RICO FRAGOZO

**Monografía presentada como requisito para optar el título de Especialista en
Química Ambiental**

Director:

**Jorge Libardo Pinto
I.A Msc, Entomología**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2013**

CONTENIDO

Introducción.....	10
1. Problema.....	11
2. Justificación.....	13
3. Objetivos.....	14
4. Metodología.....	15
5. Marco teórico.....	16
6.1 Micorrizas: Diversidad, función y su relación simbióticas con las plantas..	16
6.2 La cal agrícola como enmienda en los suelos.....	19
6.3 Diversidad, actividad y función de las micorrizas en suelos ácidos y sulfatados ácidos	25
6.4 Efecto de la cal y la labranza en los suelos ácidos y sulfatados ácidos sobre las micorrizas	30
6.5 Prácticas agrícolas y efectos sobre las micorrizas arbúsculares.....	34
6.6 Efecto de la fertilización.....	37
6.7 Rotación de cultivos.....	38
6.8 Efecto del encalado sobre las micorrizas arbúsculares HMA.....	38
6.9 Estrategias que se pueden utilizar en el uso del suelo para potencializar el papel funcional de las micorrizas en la agricultura sostenible.....	40
7. Conclusión.....	42
Bibliografía.....	44

Lista de figuras	pág.
Figura 1. Imagen micorriza arbúscular.....	19
Figura 2. Grafico Toxicidad del aluminio.....	21
Figura 3. Grafico efecto de la cal y la toxicidad del aluminio.....	22
Figura 4. Imagen labranza.....	37

Lista de tablas**pág.**

Tabla 1. Ventajas de la micorrización.....	18
Tabla 2. Disponibilidad de nutrientes según el pH.....	32
Tabla 3. Rango de pH para cultivos.....	33
Tabla 4. Pruebas de significancia.....	39

TITULO: EFECTO, USO Y BENEFICIOS DE LA CAL AGRÍCOLA SOBRE LOS SUELOS Y LAS MICORRIZAS

AUTOR: KENNE MARCEL RICO FRAGOZO

Palabras claves: Micorriza arbúscular, simbioses, mutualistas, agricultura sostenible

RESUMEN

Los hongos que forman micorrizas son hongos simbioses mutualistas que se asocian con las raíces de las plantas vasculares, estos mediante esta asociación ayudan a las plantas a obtener nutrientes del suelo tales como fósforo, nitrógeno entre otros que son pocos móviles en suelos ácidos y suelos sulfato ácidos, además, por medio de sus hifas ayudan a evitar la erosión del suelo debido a que compactan el suelo mediante la unión de agregados. Los hongos formadores de micorrizas están dispersos por todo el mundo y aproximadamente el 95% de las especies vegetales se asocian con ellos en una relación de mutua ayuda, protegiendo incluso contra patógenos, estrés causado por la sequedad entre otros beneficios, sin embargo, algunas prácticas agrícolas convencionales que se emplean en la agricultura moderna pueden afectar de manera negativa esta asociación, por ejemplo, la labranza profunda y el encalado, además de, el uso de agroquímicos, fertilizantes entre otras prácticas pueden afectar al funcionamiento de estos hongos formadores de micorrizas, con este trabajo se pretende dar una visión sobre el impacto que generan el uso de algunas prácticas agrícolas en los hongos formadores de micorriza arbúscular (HMA) en la adecuación de suelos ácidos y sulfatados ácidos que pretenden ser cultivados, no obstante son pocos los estudios realizados de acuerdo al tema, sin embargo, han surgido nuevas estrategias agrícolas como la labranza mínima y/o labranza cero para minimizar el impacto de las prácticas convencionales y poder llevar a cabo una agricultura sostenible con protección del suelo y de los recursos naturales.

* Monografía

** Facultad de Ciencias, escuela de Química, Especialización en Química ambiental,
Director: Libardo pinto

TITLE: EFFECT, USE AND BENEFITS OF CAL ON AGRICULTURAL SOILS AND MYCORRHIZAE

AUTHOR: KENNE MARCEL RICO FRAGOZO

Key Words: Mycorrhizae, symbiotic, mutualistic, agrochemicals

ABSTRAC

The mycorrhizal fungi are mutualistic symbiotic fungi associated with the roots of vascular plants, through this partnership these plants help soil get nutrients such as phosphorus, nitrogen and others that few mobile in acid soils and sulphate soils acids also through its hyphae help prevent soil erosion because the soil compacted by bonding aggregates. Mycorrhizal fungi are dispersed throughout the world and approximately 95% of plant species are associated with them in a relationship of mutual support, even protecting against pathogens, stress caused by dryness among other benefits, however, some practices conventional farming used in modern agriculture can adversely affect this association, for example, deep tillage and liming, in addition, the use of agrochemicals, fertilizers and other practices can affect the operation of these mycorrhizal fungi, this paper aims to give an insight on the impact generated by the use of some agricultural practices on arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in matching acid and acid sulphate soils that pretend to be grown, however few studies agree to issue, however, has created new agricultural strategies such as minimum tillage and / or tillage to minimize the impact of conventional practices and to carry out sustainable agriculture and soil protection of natural resources.

* **Monograph**

** **Faculty of Science, School of Chemistry, Environmental Chemistry Specialization,
Directed: Libardo pinto**

INTRODUCCIÓN

Los suelos ácidos en algunas ocasiones constituyen un problema dependiendo del tipo de cultivo que se desea cosechar, en suelos ácidos la disponibilidad de nutrientes es limitada para algunos elementos importantes para el desarrollo de las plantas como el nitrógeno y el fósforo, esta acidez también afecta el intercambio catiónico de bases también importantes como el Ca, Mg, K que son importantes para algunos cultivos como banano entre otros.

En la agricultura moderna se han implementado algunas técnicas y adición de insumos para poder contrarrestar la condición de acidez de los suelos, esta es el encalado, que se trata de adición de carbonato de calcio (CaCO_3) para aumentar el pH en el suelo, sin embargo, esta práctica en muchas ocasiones se realiza sin tener análisis previos de la condición del suelo en cuanto a pH, elementos mayores y menores e incluso condiciones de acidez causada por aluminio.

Por consiguiente, esta práctica no es bien vista por algunos sectores agrícolas, ya que, el uso de maquinaria agrícola afecta el equilibrio microbiano en el suelo, debido a que, algunos microorganismos como los fijadores de nitrógeno como *Azotobacter sp* tienen funciones específicas como la fijación de nitrógeno en condiciones anóxicas mediante un complejo enzimático y el arado fracciona el suelo y lo voltea quedando expuesto al oxígeno todos los microorganismos presentes en el medio.

Con este trabajo se busca dar una visión de las implicaciones que algunas prácticas agrícolas tienen sobre algunos ecosistemas entre ellos el encalado.

1. PROBLEMA

Los suelos ácidos son consecuencia natural de zonas de alta pluviosidad y zonas de ladera principalmente debido a la escorrentía, sin embargo, los suelos ácidos han constituido un problema para el agricultor en la medida que la mayoría de cultivos no toleran la acidez y por tanto causan daños en las estructuras radiculares de las plantas y en los rendimientos de los cultivos, para poder equilibrar esta condición la cal agrícola ha sido utilizada como insumo en suelos ácidos como corrector de pH o elevador del pH.

Los suelos considerados ácidos poseen un pH inferior a 6.0 y aunque la acidez de los suelos es un proceso natural, esta condición limita la disponibilidad de elementos esenciales para el crecimiento de las plantas como el fósforo, nitrógeno entre otros de vital importancia para el desarrollo de tejido aéreo y frutos, también, en los suelos ácidos se hacen disponible y/o soluble otros elementos como el aluminio que son extremadamente tóxicos para las raíces de las plantas y que además limitan el crecimiento de las mismas, ya que, podría afectar drásticamente la capacidad de intercambio catiónico CIC de bases importantes como Na, Ca, Mg y K importantes para el desarrollo tanto de frutos y de estructura vegetativa. Por tal razón, y para corregir esta limitante en la productividad de los cultivos se ha utilizado cal agrícola como insumo para elevar de pH en suelos ácidos.

Sin embargo, en la práctica el uso de este insumo conlleva a la utilización de herramientas y maquinarias para poder mezclar la cal con el suelo en el proceso de encalado, práctica que podría generar un desequilibrio en las comunidades microbianas ya establecidas en el suelo si éstas no se utilizan con precaución y de forma adecuada; algunas de las comunidades microbianas que podrían verse afectadas por esta práctica son los hongos formadores de micorrizas, además de, otro conjunto de microorganismos benéficos como fijadores de nitrógeno de vida

libre y otras comunidades de microorganismos que equilibran los suelos mediante el ciclaje de elementos y materia orgánica.

2. JUSTIFICACIÓN

Con este trabajo se pretende dar una visión sobre el uso de la cal agrícola, sus beneficios y el efecto que esta práctica genera sobre las comunidades microbianas en el suelo como a las micorrizas y bacterias en general.

Debido a que la acidificación de los suelos se genera de forma natural, cada vez hay más zonas acidificadas sobre todo en países del trópico donde la pluviosidad es alta, por lo tanto, es fundamental comprender la acides del suelo de manera que se puedan emplear técnicas que minimicen el efecto sobre las comunidades microbianas del uso de la cal agrícola como insumo elevador de pH.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar los posibles beneficios y desventajas del uso de la cal agrícola y la labranza como prácticas culturales en sistemas agrícolas y la restauración de ecosistemas sobre las micorrizas en suelos ácidos y sulfatados ácidos.

Objetivos específicos

- Revisar aspectos relacionados con el papel funcional de las micorrizas y sus simbiosis con plantas.
- Determinar cómo la acidez en los suelos altera la disponibilidad de nutrientes y las micorrizas.
- Analizar cómo la práctica agrícola del encalado podría afectar a las micorrizas y a las comunidades de hongos micorrízicos del suelo.
- Plantear posibles alternativas para la conservación de las comunidades de hongos micorrízicos, para potencializar su uso en la agricultura sostenible y restauración de ecosistemas ante escenarios de cambio climático.

4. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión bibliográfica de las bases de datos (años 2000-2013) ELSERVIER, SCOPUS, GOOGLE SCHOLAR, SCIMAGO, WILLEY, OXFORD, SPRINGER y SCIELO, teniendo en cuenta los artículos y revisiones del tema en cuestión. Estimando el uso de la cal agrícola como elevador del pH a los microorganismos en general y a las micorrizas como organismos simbiotes y algunas consideraciones en el desarrollo de algunos cultivos y la disponibilidad de nutrientes.

6.0 Marco teórico

6.1 Micorrizas: Diversidad, función y su relación simbiótica con las plantas

Las micorrizas son una asociación mutualista entre las raíces de la mayoría de las plantas y algunos hongos presentes en el suelo. Esta es una simbiosis prácticamente universal, ya que, casi todas las especies vegetales son susceptibles de ser micorrizadas sino que también pueden estar presente en la mayoría de los hábitats naturales (Hernández, 2001).

La palabra micorriza se ha formado del término griego “mykos” (hongo) y del vocablo latino “Rhiza” (raíz). Literalmente el término micorriza significa hongo - raíz, y se usó aplicó por primera vez para determinar las asociaciones que se establecen entre plantas terrestres y grupos de hongos presentes en el suelo, dicha asociación entre las partes es de carácter mutualista debido a los beneficios que se obtienen de esta asociación que comprende la penetración radical por parte del hongo a la raíz de la planta en algunas ocasiones (Hernández, 2001).

La mayor parte de las 5000 especies de micorrizas que se conocen hacen asociación con las plantas y pertenecen a la división *Basidiomycota*, mientras que en otras asociaciones son hongo – raíz son llevadas a cabo por la división *Ascomycota*, la tercera división que se ha observado formando micorrizas es *Glomeromycota*, dentro de los cuales se pueden distinguir tres grupos fundamentales según la estructura que forma la micorriza: *Ectomicorrizas* o formadoras de manto, *Ectendomicorrizas* y las Endomicorrizas que se caracterizan por la colonización intracelular del hongo (Read, 1999).

Se hará énfasis en las endomicorrizas que son las que más predominan en el ambiente y son las que están en asociación con la mayoría de las plantas.

Las endomicorrizas se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical, las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas formando vesículas alimenticias y arbusculos. Por tal motivo a este grupo se les conoce como micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) y constituyen la simbiosis más predominante entre las plantas. Los hongos que la forman pertenecen a la división *Glomeromycota* y se dan en todo tipo de plantas, aunque predominan en hierbas y gramíneas. Los hongos que forman micorriza arbuscular, se ubican en el orden *Glomales* de la clase *Zygomycetes* (Sieverding, 1991).

Las ventajas proporcionadas por la micorrización de las plantas son muchas, gracias ella, la planta micorrizada es capaz de explorar más volumen de suelo del que de lo que alcanza con sus raíces normalmente, al ser las raíces colonizadas por el hongo formador de micorriza ayuda a las raíces a captar con mayor facilidad ciertos elementos importantes como fósforo, nitrógeno, calcio y potasio entre otros además de agua (Smith, 2000).

La protección que brinda el hongo hace que la planta sea más resistente a los cambios de temperatura en el suelo y la acidificación derivada de la presencia de azufre, magnesio y aluminio. También, algunas reacciones fisiológicas del hongo induce a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo en el suelo sin importar en las condiciones en la que se encuentre. En las siguientes tablas se detallan las ventajas y los beneficios que producen las micorrizas en una producción agrícola o forestal (Smith, 2000).

En el cuadro siguiente se observan algunas de las ventajas que ofrece la micorrización de las plantas por hongos formadores de micorrizas vesículo arbusculares (MVA).

Tabla 1. Ventajas de la micorrización

VENTAJAS	BENEFICIOS
Aumento del aprovechamiento de los fertilizantes y de los nutrientes del suelo	Disminución de los costos de producción
Favorece la captación de agua y nutrientes minerales	Aumento de la producción agrícola
Estimulación del crecimiento aéreo y radical	Ciclo productivo más largo con mayores producciones y mayor seguridad para el agricultor.

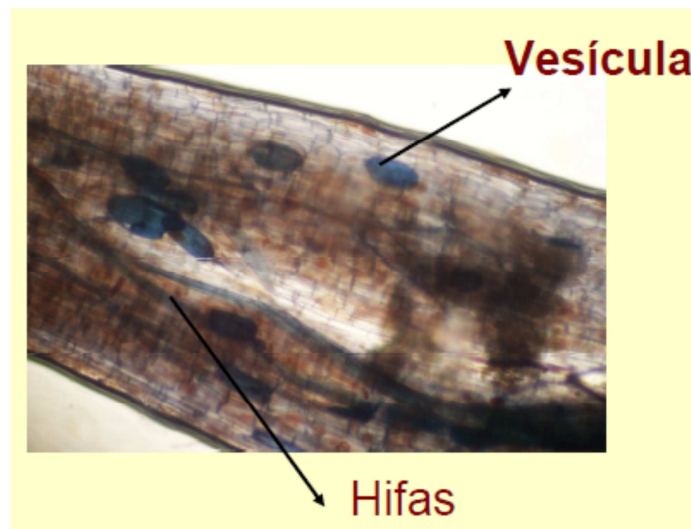
Fuente: Hernández, 2001

Favorece la captación de agua y nutrientes minerales	Especialmente Fósforo y Nitrógeno. También K, Ca, S, Zn, Cu, Sr, etc.
	El sistema enzimático y la distribución de los micelios hacen que los hongos sean más eficaces que las raíces para la absorción de agua y nutrientes.
	Los filamentos hifales son capaces de prospectar volúmenes de suelo mucho mayores que las raíces no micorrizadas.
Estimulación del crecimiento: aumento considerable de la producción de biomasa aérea y radical	Mayor y más rápida disponibilidad de nutrientes en el sistema vascular de las plantas, que acelera su actividad fotosintética para mantener su equilibrio fisiológico.
	Producción de fitohormonas por parte del hongo.
	Mejora de la estructura del suelo.
	Protección del sistema radical frente a patógenos fúngicos.

Fuente: Hernández, 2001

En la imagen 1, se ilustra cómo la micorriza vesículo-arbúscular coloniza las células de raíz de la planta, llegando hasta el interior de la misma.

Imagen 1. Micorriza vesículo-arbúscular (MVA)



Fuente: www.fagro.edu.uy/~microbiologia/docencia/.../MICORRIZAS%2009.pdf

6.2 La Cal agrícola como enmienda en los suelos

Los suelos en el trópico tienen tendencia natural a volverse ácidos a través del tiempo por diversos factores naturales o por prácticas antrópicas usadas en la agricultura para preparar los suelos, condiciones ambientales como altas temperaturas, alta humedad, alta precipitación entre otras condiciones, pueden acelerar el proceso de degradación de los componentes de los suelos que podrían degradar los suelos en el trópico que en otras zonas del planeta, sin embargo, la acidez de los suelos en el trópico no solo es producto de condiciones naturales como las mencionadas anteriormente, también, puede ser generada por el mal manejo agronómico del suelo que incluye fertilización nitrogenada excesiva,

método de labranza profunda, riego que causa erosión y acumulación de materia orgánica en descomposición entre otras (Malagon, 2003).

En Colombia aproximadamente el 80% de los suelos son ácidos, pertenecen a la zona húmeda y cálida, que por exceso de precipitación se lavan las bases que están en el suelo como el calcio, magnesio, potasio y sodio, cuando estos elementos se lixivian los suelos pasan a tener condiciones ácidas (Malagon, 2003).

Como consecuencia de la condición de acidez del suelo, se limita la disponibilidad de algunos minerales esenciales para el desarrollo de las plantas tales como el nitrógeno, el fósforo y el potasio responsables de la formación de nuevos tejidos como área foliar y fruto.

Para poder contrarrestar esta tendencia de acidez en los suelos se ha empleado Cal agrícola o CaCO_3 como corrector o elevador del pH, el uso del cal puede aumentar el pH y dejar disponible elementos esenciales para el crecimiento de las plantas debido a que, la acidez del suelo limita la disponibilidad de estos elementos, entre más ácidos menos disponibles y por consiguiente menor crecimiento de las plantas (León, 1999; Espinosa, 2003; Lora, 2010).

Por tanto, algunos autores recomiendan que para poder estimar la condición del suelo que se pretende cultivar es necesario realizar un análisis de suelos antes de impartir a la siembra para poder analizar las condiciones tanto químicas como físicas del suelo.

Los motivos por el cual se debe analizar el suelo que se pretende cultivar es que elementos como el aluminio en suelos ácidos se vuelven solubles y pueden generar un desequilibrio y causar toxicidad para las plantas e incluso en pequeñas cantidades. Sin embargo, aunque el Al^{+3} es considerado como un elemento no esencial pero en ocasiones es tóxico, se ha reportado que en pequeñas concentraciones tienen efectos benéficos sobre las plantas, se ha visto que una

pequeña concentración de Al^{+3} tiene un efecto catalizador en la fotosíntesis, pero en altas concentraciones floculan las proteínas de las plantas y causan pérdida de calcio y potasio de las células dañadas (Pavan, 1982).

La toxicidad del Al^{+3} se observa principalmente en el sistema radical, causando una reducción del crecimiento y la muerte de los puntos de crecimiento, pero las más afectadas son las raíces laterales son más sensibles al daño que las raíces principales, aunque todas las raíces se dañan cuando se incrementan los niveles. Como resultado, el sistema radical se hace muy ineficiente en la absorción de agua y nutrientes debido a que el Al^{+3} interfiere en la absorción, transporte y uso de elementos esenciales tales como fósforo, potasio, calcio, hierro y magnesio (Kamprath, 1970).

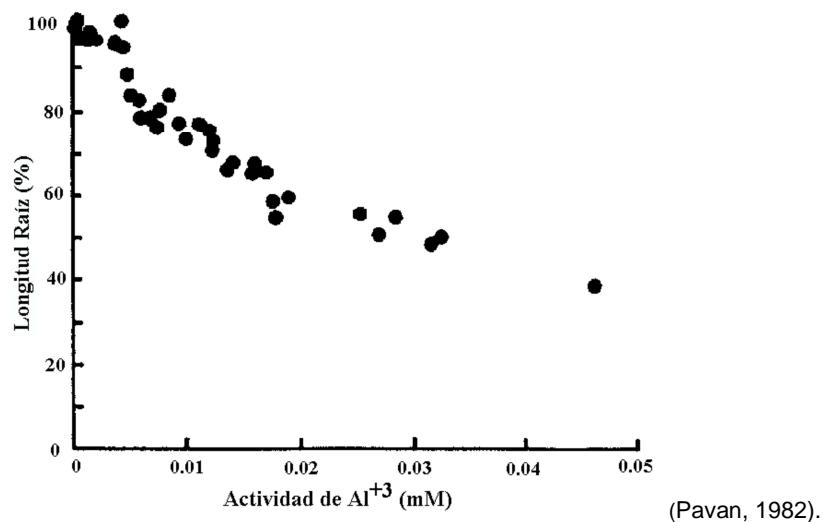


Gráfico 1. Toxicidad del aluminio

Como se observa en la gráfica anterior la condición de acidez puede generar problemas de toxicidad a causa de la disponibilidad del aluminio en los suelos ácidos, para poder arreglar la condición de acidez en los suelos y minimizar el impacto del aluminio sobre las plantas se ha utilizado cal agrícola o CaCO_3 aunque existen diversos tipos de cales en el mercado como los óxidos de calcio o cal viva,

hidróxidos de calcio o cal apagada, sulfatos y silicatos de calcio o de magnesio, sin embargo, el CaCO_3 se ha utilizado mayormente como insumo para elevar el pH en los suelos que presentan esta condición.

En el encalamiento es la práctica agrícola mediante la cual se hace la incorporación de la cal al suelo empleando herramientas y maquinaria agrícola para tal fin, mediante esta práctica se incorpora el correctivo de la acidez del suelo usando 1 ton/ha para subir en 0.1 grados de pH, sin embargo, depende de las condiciones de cada tipo de suelo.

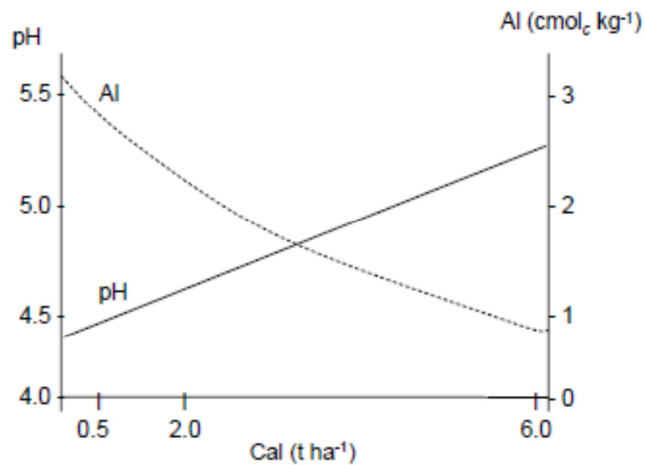


Figura 1. Efecto de la adición de cal sobre el pH del suelo y el contenido de Al intercambiable en un Oxisol de Carimagua, Colombia (Osorio, 2012, De Spain (1976)).

Grafica 2. Efecto de la adición de cal sobre pH y el AL^{+3}

En la gráfica 2, se observa que a pH ácidos de 5.5 predomina en mayor concentración el AL^{+3} pero a medida que se aumenta la cantidad de cal aplicada la disponibilidad de AL^{+3} disminuye notablemente y aumenta el pH (Osorio, 2012).

Según Zapata 2004, encalar es en la práctica agrícola el proceso de aplicar Cal al suelo para corregir su acidez, en la que se dan reacciones de neutralización, donde la cal consume H^+ de las diferentes fuentes de acidez del suelo aumentando el pH del suelo.

Los suelos tropicales en su mayoría son de origen ácido, primero por las condiciones climáticas del trópico (altas precipitaciones y temperaturas), segundo por la formación geológica y por su génesis dando origen a suelos ácidos, con pH que oscilan entre 4.0 y 5.5, estos suelos presentan altos contenidos de aluminio y bajos contenidos de bases. Para lograr la máxima productividad agrícola y un manejo adecuado del suelo y los cultivos es necesario encalar (Osorno, 2012).

El encalamiento de suelos llevado a cabo correctamente tiene los siguientes beneficios (León, 1999)

- Aumenta el pH del suelo y disminuye la acidez.
- Disminuye o elimina la toxicidad del aluminio, hierro y manganeso.
- Aumentar la disponibilidad del fósforo.
- Incrementa la disponibilidad de algunos elementos minerales aumentando el pH.
- Aumenta el contenido de calcio y magnesio.
- Reduce la actividad de hongos patógenos del suelo, al disminuir la acidez.

Sin embargo, según Castro 2010, el proceso de encalado se ha hecho sin tener en cuenta algunas consideraciones importantes como por ejemplo:

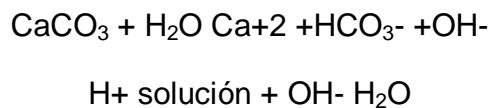
- “En muchas ocasiones no se utilizan los suficientes criterios técnicos para diagnosticar la acidez. En la mayoría de los casos sólo se tiene en cuenta el pH y se deja de lado indicadores importantes como acidez

intercambiable ($\text{Al}^{+3} \text{H}^+$), saturación de aluminio, sumatoria de bases ($\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}$), CICE y fijación de fósforo. Esto ha limitado el verdadero sentido y significado de las prácticas de encalamiento”.

- Según el mismo autor, tampoco se hacen se realizan pruebas de encalamiento de incubación en el laboratorio que apoyen decisiones de campo para implementar planes integrales de control de acidez que busquen adicionalmente mejoramiento en las concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y P en el suelo.
- Además se realizan muchas prácticas de encalamiento basados en experiencias de otras personas en otros cultivos y climas diferentes.

Por lo tanto, el proceso mediante el cual el encalado incorpora cal al para corregir la acidez presente, se da de dos diferentes maneras 1) de la cantidad de hidrogeniones (H^+) y 2) la acidez intercambiable causada por el aluminio (Al^{+3}).

a) **Acidez por hidrogeniones**



b) **Acidez intercambiable**



Castro, 2010

Por otro lado, según Osorno 2012, para mejorar la fertilidad de suelos ácidos y hacerlos menos dependiente de la fertilización mineral se recomienda los siguientes aspectos a tener en cuenta:

- Realizar el análisis químico completo del suelo.
- Diagnosticar el grado de acidez a través de los criterios tratados (pH, cmoles $Al^{+3}+kg^{-1}$ de suelo, % saturación Al^{+3} y sumatoria de bases (Ca+Mg+K)).
- Calcular las $t.ha^{-1}$ de $CaCO_3$ equivalente, considerar el nivel de concentración de Ca_{2+} , Mg_{2+} y P reportado en el análisis de suelos, con el fin de buscar a criterio técnico, la proporción de $t.ha^{-1}$ de $CaCO_3$ equivalente que del total calculado, aplicaría combinando el uso de materiales encalantes comerciales para generar una relación de balance, que mejore las condiciones químicas originales del suelo. Para realizar este ejercicio es necesario conocer el $CaCO_3$ de los materiales encalantes.

6.3 Diversidad, actividad y función de las micorrizas en suelos ácidos y sulfatados ácidos.

La micorriza arbúscular es una simbiosis mutualista ampliamente distribuida que se forma entre las raíces de grupos vegetales de herbáceas y arboles tropicales y un grupo de hongos colonizadores de la raíz del orden *Glomales*, esta simbiosis se caracteriza por el transporte de nutrientes minerales adquiridos por el hongo y el flujo de compuestos carbonados producidos por la planta (Varela, 2001).

La micorriza arbúscular es el grupo de hongos más antiguo que se conoce que hace esta asociación con las raíces de las plantas, en comparación con otros grupos de hongos formadores de micorrizas ésta es la asociación que más se presenta entre especies vegetales, sin embargo, aunque no se ha demostrado especificidad en la simbiosis, si se ha demostrado especificidad ecológica y compatibilidad funcional entre ambos simbioses (Molina, 1992).

Los hongos formadores de micorriza arbúscular son simbioses obligados y no pueden cultivarse por fuera de las raíces de las plantas vivas, las esporas germinan y colonizan las células de las raíces, invagina en el interior de la célula vegetal y produce una estructura ramificada llamada arbusculo que es el sitio donde se hace el intercambio de nutrientes (Smith, 1997), cuando la colonización micorrizica comienza a envejecer, el hongo produce sobre las raíces o dentro de ellas estructuras de almacenamiento llamadas vesículas que contienen gran cantidad de lípidos (Bonfante, 1984).

Debido a que todos los hongos que realizan este tipo de asociación forman arbusculos pero no vesículas, se les ha modificado el nombre y de micorriza vesículo-arbuscular (HMVA) por micorriza arbúscular (Varela, 2000). Esta micorriza se presenta en arboles tropicales y en la mayoría de las plantas de importancia agrícola y hortícola en zonas tropicales, pero sus requerimientos ambientales trascienden sus necesidades nutricionales por una planta específica, es decir, su distribución y diversidad está influenciada por las variables ambientales y también edáficas del medio en que se desarrollan que por la asociación libre de hongo-planta, aunque, existen muchas especies de *Glomales* que aparentemente están distribuidos y adaptados a diversos hábitats, pero los factores físicos y químicos del suelo pueden afectar y restringir su libre distribución (Read, 1991).

Según Azcón 1992, las micorrizas interactúan en el suelo con microorganismos rizosféricos y con la microbiota que está fuera de la influencia de la raíz formando micorizosfera en donde esta interacción se ha observado que se estimulan, se inhiben y seleccionan grupos de microorganismos específicos, sin embargo, según observaciones del mismo autor pueden promover o contrarrestar el desarrollo de las micorrizas, también, las interacciones microbianas podrían determinar la biodiversidad de las plantas y funciones de algunos ecosistemas como, productividad y variabilidad (Van der Heijden, 1998).

Por consiguiente, según afirmaciones de Azcón 1992, los HMA son considerados componentes importantes de la microbiota del suelo que llevan actividades importantes como el establecimiento, nutrición, desarrollo y salud para las plantas en suelos de bosques tropicales deficientes en fósforo disponible.

Por lo anterior, los suelos que son pobres en fósforo disponible son de carácter ácidos debido a que en suelos cercanos a la neutralidad este elemento se encuentra disponible para las plantas en mayor proporción lo que indica que en suelos ácidos no está poco disponible, por consiguiente, según lo que Azcón plantea en su estudio sobre micorrizas estas se encontrarían mayoritariamente en estos suelos, lo que se llevaría a pensar que la diversidad de los HMA son mayormente en suelos de carácter ácidos.

Según Munevar 1983, las condiciones de pH óptimas para crecimiento de los hongos en el suelo no es un pH bajo o moderadamente ácido, si no que, a pH ácidos no existe competencia por parte de las bacterias, que son abundantes en pH cercanos a la neutralidad.

Sin embargo, muchos otros autores en sus estudios afirman que poco se ha estudiado sobre la diversidad de HMA en ecosistemas tropicales sin ningún tipo de

perturbación, si no por el contrario, solo se ha estudiado en suelos y ecosistemas agrícolas (Van der Heijden, 1998).

En suelos sulfatados ácidos la diversidad de los HMA no está muy estudiada, debido a que son suelos que son difícil manejo agrícola y de carácter fuertemente ácido no óptimo para la mayoría de cultivos debido a la toxicidad causada por el H_2SO_4 , sin embargo, la aplicación de cales en estos suelos pueden recuperarlo y hacerlo manejable para cultivos agrícolas, se han hecho diferentes ensayos como los llevado a cabo por Gómez 2000, en el Alto Chicamocha en el departamento de Boyacá-Colombia, donde se aplicó hidróxido de calcio y cal dolomita al suelo, los resultados fueron el aumento del pH en dos unidades, disminución de las sales y menor concentración del aluminio de cambiabile evaluó el efecto del encalamiento de suelos sulfato ácidos para el cultivo del algodón, donde se encontró que el encalamiento disminuye la acidez causada por la alta cantidad de sulfatos y aluminio intercambiabile, por consiguiente el aumento del pH en el suelo recuperado hizo disponible la cantidad de nutrientes en el suelo.

Los suelos sulfato ácidos presentan acidez debido a que se forma H_2SO_4 en el suelo por oxidación del azufre reducido, éste es un ácido fuerte que puede bajar el pH en solución a 4 e incluso hasta 2 y se les denomina suelos salino ácidos (Pla, 1979).

Este suelo puede llegar a tener un alto contenido de sales, sin embargo, el contenido de aluminio intercambiabile lo vuelve muy ácido, estos suelos se forman en lugares donde el drenaje permite la oxidación de compuestos reducidos del azufre como la pirita (FeS_2), la acidez generada es suficiente para atacar a las arcillas y destruirlas dejando en solución al silicio y al aluminio. Esto hace que el suelo pase a un suelo saturado con protones a un suelo saturado con aluminio intercambiabile (Bhon, 1993).

Estos suelos se han encontrado en zonas templadas y en el trópico se encuentran en zonas extensas como en algunas zonas de Colombia en el departamento de Córdoba, donde estos suelos tienen sedimentos depositados en aguas salobres donde se desarrollan los manglares (Florentino, 1981).

Los suelos sulfato ácidos se forman cuando la pirita (FeS_2) es expuesto al oxígeno del aire y produce ácido sulfúrico, éste ácido fluye en el suelo y acidifica el agua causando grandes problemas a todos los sitios a donde llega el agua, aunque, el mayor problema se genera cuando en la oxidación de la pirita se presentan compuestos intermedios como los sulfatos dobles de hierro y de potasio, podrían generar toxicidad en el suelo por el aluminio y otros metales pesados como el cadmio impidiendo el desarrollo de las plantas (Florentino, 1981).

Según Ponnaperuma 1972, en algunas zonas templadas del mundo donde estos suelos son de importancia económica se han recuperado con cal, sin embargo, esto ha llevado hasta 100 toneladas de CaCO_3 por hectárea y en algunas condiciones del trópico lo mejor es no drenar estos suelos y dejarlos para producir arroz. Según el autor lo mejor que se puede hacer con estos suelos es no drenarlos, así se evita el riesgo de que se oxigene el horizonte que contiene la pirita, ya que, esta forma de azufre no es problema en esta condición.

Si se drena el suelo una vez oxigenada la pirita se produce H_2SO_4 que es muy costoso y difícil de neutralizar, sin embargo, unas de las soluciones para minimizar el daño de estos suelos es neutralizar con cal e inundar nuevamente para detener la oxidación y que siga causando daño, el suelo debe tener suficiente materia orgánica como agente reductor, de otra manera la reducción del sulfato no procederá.

Como se puede ver los suelos sulfatados ácidos son un gran problema para los suelos que pretenden ser cultivados por la formación de ácido sulfúrico en solución, autores como Welch *et al* 2000 y Sierra, 2003 se refieren al tema y

opinan que para contrarrestar los efectos de los suelos ácidos sulfatados podría usarse el encalado con CaCO_3 con el propósito de neutralizar la acidez ocasionada por el hidrógeno, aluminio, manganeso, hierro y ácidos de la materia orgánica con el fin de permitir el crecimiento normal de las plantas pero que es una costosa y poco eficiente en muchas partes de los trópicos, otros autores más optimistas como Mathew, 2001 recomiendan realizar lavados antes de encalar y posteriormente fertilizar para obtener buenos resultados.

6.4 Efecto de la cal y la labranza en los suelos ácidos y sulfatados ácidos sobre las micorrizas

Por otro lado, en muchas de las prácticas agrícolas se emplea Cal para como nivelador del pH del suelo y muchas veces se adiciona sin tener análisis previos, a pesar de que es de gran utilidad y genera grandes beneficios el efecto que puede tener la cal sobre los microorganismos del suelo y particularmente los HMA puede ser devastador ya que debido a prácticas no convencionales además del aumento del pH puede influir sobre la microflora y microfauna presente en el suelo y su actividad.

En condiciones ácidas los cambios en la materia orgánica de los suelos se generan como resultado de la actividad biológica de algunos hongos y actinomicetos. A medida que el pH aumenta, los hongos disminuyen y las bacterias aumentan, principalmente son importantes aquellas que fijan nitrógeno del aire y las que producen nitratos. Las bacterias viven y prefieren pH cercanos a la neutralidad para su desarrollo y actividad. Sin embargo a pH cercano a la neutralidad también se desarrollan bacterias patógenas para los cultivos como en el caso de la papa (Cales de Antioquia, 1979).

La cal puede evitar diferentes enfermedades debido al aporte de nutrientes y aumento del pH. Por ejemplo en palma de aceite se observan síntomas de pudrición de los tejidos en palmas jóvenes, que es causada por una cepa del hongo *Phytophthora palmivora*, cuando las palmas crecen en suelos ácidos y pobres en Ca. Donde se demuestra que la pudrición del cogollo de palma de aceite puede ser controlado encalando el suelo, antes de la siembra según como plantea Laing, 2010.

Por tanto, el calcio aportado en cal agrícola beneficia al suelo e incluso puede ayudar a las plantas a crear barrera en contra de patógenos ya que el calcio hace parte de las pectinas (poligalacturonatos de Ca), las cuales confieren resistencia físico-mecánica a los tejidos de las plantas lo que hace difícil a la mayoría de hongos y bacterias invadir el apoplasto por medio de la liberación de enzimas pectolíticas, por tanto, la actividad de estas enzimas es fuertemente inhibida por el Ca presente y puede inhibir algunas especies de hongos al aumentar el pH del suelo mediante el uso de CaCO_3 en el encalado (Primavesi, 2002).

La mayoría de los suelos agrícolas poseen un pH entre 4 y 8, sin embargo, el pH ideal para la mayoría de los cultivos está entre 5.5 y 6.5. Cuando el pH es menor de 5.5 el suelo tiene problemas asociados a toxicidad por aluminio, fijación de fósforo, deficiencia de calcio y magnesio entre otros, cuando el pH es mayor a 6.5 los problemas resultantes son deficiencias de microelementos en las plantas, cuando el pH es más alto se genera deterioro físico del suelo, en suelos fuertemente ácidos existe baja disponibilidad de nutrientes con excepción del hierro (Brady, 1999).

En la figura 3, se muestra como el pH influye en sobre la actividad microbiana en el suelo y la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana aumenta cuando el pH se hace moderadamente ácido y se acerca a la neutralidad, las bandas representadas en la ilustración se hace más amplia indicando que existe mayor actividad de los microorganismos. Las bacterias son las más activas en un rango

de pH entre 6.0 y 8.0. Los actinomicetos prefieren un rango de pH entre 7.0 y 7.5, por el contrario, los hongos prefieren condiciones ácidas y muy pocos crecen a pH tan bajos como 4.0 (Gutiérrez, 1997).

Por tanto, el pH del suelo determina una gran actividad tanto química como biológica para el aprovechamiento de nutrientes para las plantas, los rangos de pH son importantes para la actividad de muchos microorganismos en el suelo y para la disponibilidad de nutrientes, intercambio catiónico, conductividad eléctrica entre otras.

En el cuadro 1, se muestran los rangos de pH adecuados para algunos cultivos, esto responde a lo anteriormente dicho de la actividad microbiana y a la disponibilidad de algunos elementos minerales como importantes para el desarrollo de las plantas.

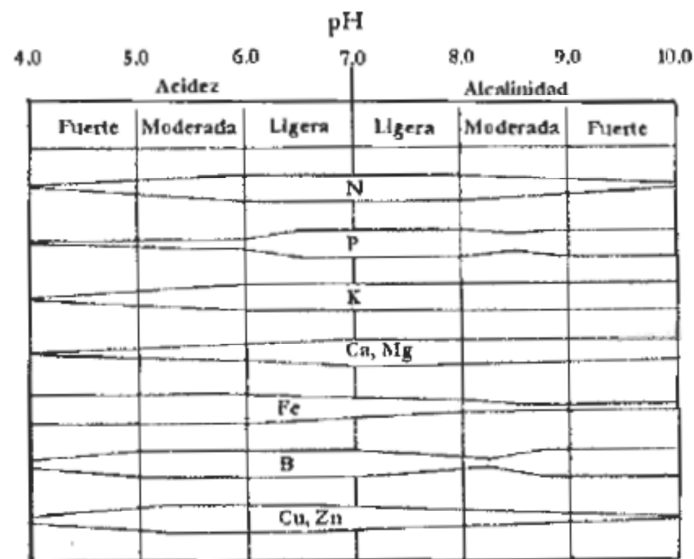


Figura 6.2. Relación en suelos minerales entre el pH y la actividad microbial y la disponibilidad de nutrientes en la planta. En los puntos de pH donde se amplía la banda existe una mayor actividad en los microorganismos y una mayor disponibilidad de nutrientes (Brady y Weil, 1999).

Tabla 2. Disponibilidad de nutrientes según el pH

Cuadro 6.3. Rango de pH, relacionado al largo de la línea, adecuado para varios cultivos.

Cultivos	pH					
	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Alfalfa				██████████	██████████	██████████
Red Clover			██████████	██████████	██████████	
Trigo		██████████	██████████	██████████	██████████	
Maíz		██████████	██████████	██████████	██████████	
Avena		██████████	██████████	██████████	██████████	
Remolacha			██████████	██████████	██████████	
Algodón		██████████	██████████	██████████		
Tomates		██████████	██████████	██████████		
Tabaco	██████████	██████████				
Papas	██████████					
Melones	██████████					
Mora	██████████	██████████				

Fuente: Zapata, 2002

Tabla 3. Rango de pH para cultivos

Por otro lado, la labranza y todas las actividades que manipulan los primeros centímetros del suelo producen ruptura y disgregación del micelio externo de las micorrizas arbúsculares. Debido a que este micelio contribuye a la formación de la estructura del suelo, su destrucción mediante el arado trae consecuencias indeseables para la infiltración y demás propiedades físicas del suelo (Miller y Jastrow, 2000).

Además, la aplicación de fertilizantes químicos en dosis elevadas, además de los problemas de contaminación que suele provocar, inhibe la actividad de la actividad de estas micorrizas HMA. Por consiguiente, su aplicación prolongada especialmente en monocultivos disminuye la presencia de estos hongos en los sistemas agrícolas conllevando la pérdida de la diversidad de hongos micorrízicos presentes en el suelo (Johnson, 1993). La aplicación de fungicidas y de plaguicidas con fines fitosanitarios también tiene efectos los HMA, los cuales no son fácilmente predecibles debido a la complejidad de interacciones que se establecen en la comunidad de organismos del suelo (Sieverding, 1991).

La mayoría de las plantas de interés agronómico como el cacao, café, coco, algodón, cebolla, ajo, yuca, papa, todos los cítricos, todas las leguminosas y gran parte de los cereales se asocian con micorrizas arbusculares. Sin embargo, no todas estas especies de plantas dependen de estos hongos de la misma manera para su crecimiento. En aquellos cultivos con raíces gruesas y pocos pelos radicales, como por ejemplo el ajo, la cebolla, las leguminosas y los cítricos, tienden a ser muy dependientes de las micorrizas y la disminución en la productividad de dichos cultivos puede deberse a un manejo inadecuado de los insumos que se aplican, los cuales pueden conducir a la muerte de los propágulos de estos hongos (Hernández, 2000).

La aplicación de cal agrícola al suelo también afecta a las micorrizas arbusculares, debido a que con el aumento del pH en el suelo y muchos de estos hongos proliferan en condiciones moderadamente ácidas, además, el calcio endurece las paredes de las células vegetales lo que podría hacer difícil la colonización de las raíces por parte de las hifas de los HMA.

6.5 Prácticas agrícolas y efectos sobre las micorrizas arbusculares

Estos hongos formadores de micorrizas dependen de las plantas para el suministro de carbono, fuente de energía y un nicho ecológico para ellos y que a su vez entregan a la planta algunos minerales para su nutrición especialmente el fósforo que es poco móvil en el suelo. Además de otros beneficios a la planta como: estimulación de sustancias reguladoras de crecimiento, incremento de la tasa fotosintética, tolerancia al estrés ambiental, mejoramiento de la agregación del suelo entre otras interacciones que ocurren alrededor de la raíz (Bethlenfalvay y Linderman, 1992).

Las micorrizas HMA son importantes para las plantas y su desarrollo, se ha estimado que el 95% de las especies de plantas vasculares pertenecen a familias que son micorrícicas (Safir, 1994).

Las micorrizas proporcionan a las plantas un sin número de beneficios para el desarrollo y crecimiento de las plantas e incluso cultivos como yuca a pesar de estar en suelos ricos en nutrientes no pueden establecerse sin esta asociación simbiótica entre hongo-raíz, pero algunas prácticas empleadas en la agricultura podría afectar el desarrollo de estas poblaciones en el suelo.

Algunas de estas prácticas que se llevan a cabo en la agricultura podrían generar un detrimento en la asociación hongo-raíz y afectar el equilibrio del suelo trayendo consigo inestabilidad a los sistemas agrícolas de producción (Blanco, 1996).

Algunos de estos daños causados por estas prácticas son: pérdida de la fertilidad del suelo, reducción de poblaciones de enemigos naturales, surgimiento de nuevas plagas, descenso en el rendimiento de las cosechas entre otras consecuencias.

Entre tanto, las micorrizas son un agente estabilizador de los agroecosistemas y las prácticas culturales pueden afectar de tal manera a estos organismos que podrían incidir en el rendimiento de los cultivos o minimizar la producción de los cultivos (Blanco, 1996). Por otro lado, según Sauerbeck, 2001, actualmente existe preocupación global con respecto a la acumulación de gases efecto invernadero, lo que ha llevado políticas para disminuir emisiones y reducir el impacto sobre el cambio climático.

Uno de los principales gases efecto invernadero es el dióxido de carbono CO₂ que se ha incrementado significativamente y uno de los mayores factores

contribuyentes ha sido la aplicación de cal al suelo ya que se produce CO_2 en las reacciones de neutralización de la acidez en el suelo.

Uno de los efectos más importantes de la labranza o arado del suelo sobre el funcionamiento de las micorrizas es el resquebrajamiento de la red de hifas y como consecuencia de ello la reducción de la infectividad a las raíces de las plantas (Kurle y Pflieger, 1994).

Según estudios de Vivekanadan *et al*, en 1991 en cultivo de maíz mostraron que en suelos menos perturbado se obtuvieron mayor colonización radical por hongos micorrícicos arbusculares, mas rendimiento de materia seca.

La ruptura de esta red de hifas de estos hongos formadores de micorrizas y hongos saprófitos expone al suelo a erosión, ya que, estas hifas atrapan microagregados mayores a 0.25 mm en macroagregados contribuyendo a la estabilidad física del suelo. Bethlenfalvay 1992 afirma que el mayor potencial de las micorrizas en el contexto de una agricultura sostenible es mejorar la estabilidad del suelo y controlar la erosión.

En la imagen de 1, se observa la labranza en el suelo que de las cuales no se recomienda sea muy profunda para no causar desequilibrios en las comunidades de microorganismos del suelo.



Imagen 1. Labranza

Fuente: http://es.123rf.com/photo_3346936_un-grupo-de-trabajo-sobre-un-tractor-de-labranza-en-un-dia.html

6.6 Efecto de la fertilización

En la fertilización del suelo el exceso de N y P podría afectar negativamente la función de las micorrizas, mientras que bajas concentraciones de K son benéficas aunque este no es muy ampliamente estudiado según (Kurle y Pflieger 1994).

En otros estudios realizados por Vivekanadan y Fixen en 1991, resultó que el porcentaje de colonización micorrícica descendió en todos los agroecosistemas evaluados a consecuencia de un exceso de fósforo.

6.7 Rotación de cultivos

Aunque los hongos micorrícicos arbusculares son generalistas y hacen asociación con la mayoría de las plantas vasculares en el suelo, hay especificidad ecológica y preferencias entre las plantas y los hongos (Sieverding 1991).

En estudios realizados por Salas 1990 en invernadero, se encontró que unas plantas son más fácilmente colonizables que otras por ciertas especies fúngicas y producen más micelio y esporas de hongos micorrícicos también se evidenció simbiosis con unos hospederos y con otros no.

Por tanto, en ciertas medidas las rotaciones podrían generar un detrimento de las asociaciones de los hongos con las raíces de las plantas, aunque ayudan en otros factores con insectos plaga.

6.8 Efecto del encalado sobre las micorrizas

El efecto que el CaCO_3 ejerce sobre las micorrizas no está ampliamente estudiada, ya que, la relación que se establece entre los rangos de pH del suelo y el efecto de la colonización micorrizógena es compleja, debido a que depende no sólo de la especie micótica, sino también del tipo de suelo, la forma en que se encuentran los nutrientes fundamentalmente el fósforo (P), nitrógeno (N) y otros elementos como cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), boro (B), entre otras consideraciones edáficas (Díez, 2009).

Por otro lado, en otros estudios en México por Álvarez, 2013 con especies de pino demostraron que el encalado junto con la colonización micorrícica con HMA en suelos ácidos podría generar beneficios a plantas maderables como los pinos.

Este estudio se llevó a cabo en el oriente del estado de México donde se tomó suelo moderadamente ácido con un pH de 5,3 con evaluación de cal agrícola (CaCO_3 , 90% de pureza) en concentraciones de 0 g kg^{-1} ; $0,2 \text{ g kg}^{-1}$; $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ y $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ para incrementar el pH de 5,3 a 5,5; 6,0 y 6,5 con y sin inoculación micorrícica, utilizando un inoculo comercial conocido como “Endospor” formado por las especies *Gigaspora margarita*, *Glomus mosseae*, *Glomus clarum*, *Glomus desertícola*, y *Glomus brasilianum* para evaluar su efecto en especies de pino (*Pinus hallepensis Mill*).

En la siguiente siguiente tabla se observa el efecto del encalamiento y la colonización micorrícica sobre la altura de la planta de pino.

Tabla 1. Pruebas de significancia de los factores niveles de encalado (E), micorriza (HMA) y su interacción en las variables de crecimiento, fósforo acumulado y segmentos de raíz colonizados en brinzales de pino.

Fuentes de variación	Altura	Diámetro tallo	Peso seco aéreo	Volumen de raíz	P acumulado	Segmentos de raíz colonizados	P-Bray
	----- cm -----		g planta ⁻¹	cm ³	mg planta ⁻¹	%	mg kg ⁻¹
Encalado	**	**	ns	**	**	**	ns
HMA	**	**	**	**	**	*	ns
E x HMA	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
±CV (%)	6,2	8,5	10,7	14,9	18,8	12,5	20,9
ns	no significativo,			**	significativo a P < 0,01		
*	significativo a P < 0,05			±CV	coeficiente de variación		

Fuente: Álvarez, 2013

Tabla 4. Pruebas de significancia

Se observa que no hubo diferencias significativas usando un P menor a 0.05 en el uso de el encalado y las HMA ha mostrado que el encalado de los suelos puede inhibir la simbiosis entre el hongo formador de micorriza y la raíz.

Este estudio establece que hay que realizar evaluaciones a nivel de campo en diferentes especies de plantas para poder estimar el efecto del encalado sobre la simbiosis hongo-raíz, por lo menos en especies de pinos la asociación de hongos HMA según este estudio revela que podría ser aprovechados, en otras especies de plantas aun no se ha determinado aun un efecto benéfico junto con prácticas agrícolas convencionales descritas anteriormente.

6.9 Estrategias que se pueden utilizar en el uso del suelo para potencializar el papel funcional de la micorrizas en la agricultura sostenible.

Debido al gran impacto que causa la agricultura convencional sobre los HMA en el suelo en el uso de agroquímicos, fertilizantes nitrogenados y fosforados, agroquímicos, rotación de cultivos, labranza, encalado entre otras prácticas, se puede prever que los beneficios que son establecidos mediante la asociación entre hongo-raíz se ven afectados en la medida que se emplean prácticas convencionales para preparar el suelo cultivable.

En países de la unión europea ya se habla del desarrollo de políticas gubernamentales para la implementación de prácticas que ayuden a un desarrollo agrícola sostenible para minimizar el impacto en el medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. Es así como organizaciones internacionales como la FAO ha hecho un llamado de alerta en la preocupación de la producción de alimentos a países desarrollados y en desarrollo en donde el cambio climático disminuye los recursos como el agua (Comisión europea, desarrollo y cooperación, agricultura y desarrollo rural, 2012).

Por tanto, unas de las prácticas convencionales utilizadas en la agricultura que más genera efectos negativos sobre los HMA es la labranza de la cual produce un resquebrajamiento de la red de hifas de los hongos, por otro lado, el encalado endurece los tejidos debido al calcio presente lo que dificulta en gran medida dicha colonización.

Según Altieri, 2000 en su libro agroecología expone los beneficios de una labranza mínima o labranza cero donde la conservación del suelo representa beneficios importantes referente a lo convencional, el uso de pesticidas residuales, fertilizantes químicos entre otros han llevado a la contaminación del medio ambiente y al deterioro del suelo. El éxito de países como Brasil, Argentina y Uruguay usando labranza mínima ha incrementado en un 50% la producción agrícola.

También, el mismo autor determina que la incorporación de abonos verdes o restos de cosechas para la obtención de materia orgánica en el suelo mientras se empieza un nuevo ciclo de cultivo es fundamental para la conservación del suelo.

La interseembra de especies vegetales establecidas para cada piso térmico puede ayudar a la preservación de enemigos naturales, además de plantas como leguminosas que pueden realizar asociaciones simbióticas con organismos fijadores de nitrógeno.

Por tanto, se deben buscar estrategias que minimicen el impacto en el suelo, se debe tener conocimiento previo de la ecología microbiana presente y su función específicas para poder realizar un balance sobre lo que se debe hacer y en especial cuidado para no generar un desequilibrio en entre las plantas, los hongos y bacterias benéficas en el suelo.

7. CONCLUSIÓN

Los suelos en el trópico tienen una tendencia natural de volverse ácidos debido a las altas temperaturas, lluvia, erosión entre otros factores que pueden incidir en la acidez del suelo, el constante lavado del mismo por el agua de lluvia incide en el lavado de las bases como Ca, Na, K, Mg para que por consiguiente el suelo aumenta el pH debido al desbalance de H^+ y OH^- .

Pero, no solo la acidez del suelo depende de la cantidad de H^+ y OH^- presente, si no que, otros factores como la cantidad de aluminio puede generar una extrema acidez en el suelo si no también toxicidad a las plantas impidiendo la toma de nutrientes mediante daños causados en las raíces que afecta el crecimiento de las plantas.

Pero el problema principal de los suelos tropicales radica en la condición de acidez ya sea por la cantidad de H^+ presente y/o condiciones de extremas de acidez causada por el aluminio, por tanto, para poder corregir la acidez de los suelos se utiliza carbonato de calcio $CaCO_3$ para aumentar el pH del suelo, siendo no tan costosa y está se encuentra disponible en cualquier ferretería.

La práctica del encalado se usan por ejemplo la labranza que voltea toda la capa vegetal y la remueve el suelo para poder introducir la cal y poder mezclar con el mismo, sin embargo, los HMA podrían verse afectados por esta práctica ya que las micorrizas como una asociación simbiótica mutualista entre algunos hongos del suelo con las raíces de las plantas necesitan posicionarse en esta asociación, pero algunas prácticas como la labranza, rotación de cultivos, el encalado principalmente puede endurecer las los tejidos de las células radicales y de esta forma impedir que el hongo pueda colonizar de manera simple las células vegetales, también, la labranza es una práctica que podría afectar grandemente a

estos hongos, ya que, las herramientas utilizadas rompen el micelio que ayuda a los agregados del suelo y por consiguiente a la colonización con la raíz de la planta.

No obstante, no solo los hongos formadores de micorrizas se ven afectados principalmente por la labranza de los suelos, si no también, algunas comunidades bacterianas como los fijadores de nitrógeno, ya que, estos lo hacen de manera anoxigénica y que con el volteo del suelo afectan su ambiente proporcionándoles oxígeno dañando su complejo de enzimas que hacen la tarea de fijar este mineral importante para el desarrollo de las plantas.

Por este motivo, las prácticas agrícolas son importantes para la adecuación de terrenos y la productividad de las plantas, sin embargo, en muchas ocasiones no se tiene en cuenta la dinámica del suelo que acaban por interrumpir el equilibrio de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez., M. Hernandez., E. Maldonado., R. Rivera., M. 2013. Encalado y micorriza para corregir la deficiencia de fósforo en un andisol cultivado con *Pinus halapensis* 19(1), 2013:7-16. México DF.

Azcón., A. Barea., M. 1992. Interactions between micorrhizal fungi and other rizosphere microorganism. 163-198. New York.

Bear., E. 1952. 100 preguntas y respuestas sobre el encalado de los suelos. Asociación nacional de la Cal. Washinton. Estados Unidos de América. Pag 31.

Bethlenfalvay., Linderman., R 1992. Preface. In Mycorrhizae in sustainable a griculture. Madison, Wisconsin, USA. ASA Special Publication Number 54. p. 45-70.

Blanco., A. 1997 Micorrizas en la agricultura: Contexto mundial e investigación en Costa Rica. Agronomía Cosarricense. 21:57-67.

BLANCO., F. Salas., E. 1996. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. X Congreso nacional agronómico/II Congreso de suelos. Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional. Costa Rica. p. 69

Braddy., N. Weil., R. 1999. The nature and properties of soli. Prentice Hall. New Jersey 881p.

Bhon, 1993,. G, Connor., 1993. Química de suelos. Limusa. México. 370 p.

Bonfate,. P. 1984. Anatomy and morphology of VA micorrhizae. Boca Ratón. Pp 5-33.

Cales de Antioquia limitada. 1979. Traducción: Encalado agrícola, 100 preguntas y respuestas. National lime association. Primera edición. pp. 1-28

Díez., E. Montoya., L. 2009. Estandarización de las metodologías para determinar el índice de encalado e identificación de tres grupos funcionales de microorganismos: Degradadores de urea, proteolíticos y celulolíticos en suelos, en el laboratorio de análisis químico de suelos y foliares de la universidad tecnológica de Pereira. Pag 177.

Espinosa J. 2003. Encalados de suelos tropicales. En: manejo integral de la fertilidad del suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencias del suelo. Bogotá.

Florentino., G. 1981. Caracterización y diagnóstico de suelo salino ácidos en las llanuras costeras del estado falcón. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 99p

Gutierrez., F. Zapata., D. 1997. Especiación del fósforo en la solución del suelo de tres andisoles del oriente antioqueño bajo fertirrigación. Revista Suelos ecuatoriales. 27: 117 – 122

Hernández., M. 2000. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición mineral de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [Tesis de Maestría], INCA.

Johnson, N., Copeland, P., Crookston., R. Pflieger., F 1992. Mycorrhizae: possible explanation for yield decline with continuos corn and soybean. Agronomy Journal 84(3):387-390

Kamprath, E. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci.Soc. Am. Proc.*, 34: 252- 254.

Korenko S, Kula E, Holec M, Jarab M, Michalkova V. 2008. Influence of liming on the epigeic spider (Araneae) community of the Krusne hory Mts. (Czech Republic). *European journal of soil biology* 44. pp. 559 – 566.

Kurle, J. Pflieger, L. 1994. The effects of cultura practices and pesticides on VAM fungi. In *Mycorrhizae and plant health*. Ed. F.L. Pflieger and R.G. Linderman. Minnesota APS Press. p. 101-132

Laing D. 2010. La Causa de la Pudrición de Cogollo en la Palma de Aceite (PC): Evidencias del Rol del Calcio en una Hipótesis Abiótica. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Santo Domingo Ecuador en noviembre 2010.

Leon A. 1999. Capacidad de intercambio catiónico y química de las bases del suelo. *Cursos sobre suelos con aplicación en palma de aceite*. Cenipalma. pp. 43-50.

Lora R. 2010. *Propiedades químicas del suelo*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. *Ciencia del suelo, principios básicos*. P 77-137.

Malagón., D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos -Énfasis en génesis y aspectos ambientales- *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 27(104): 319-341.

Mathew, E., R. Panda., M, Nair., 2001. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. *Agr. Water Manage.* 47, 191-209.

Miller., R. Jastrow., J. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In: Kapulnik Y, Arbuscular mycorrhizas: physiology and function. Kluwer Academic, Dordrecht, the Netherlands, pp 3–18

Munevar., F. 1983. Diversidad y funciones de los microorganismos en el suelo. Revista. Suelos ecuatoriales de la sociedad colombiana de la ciencia del suelo. V. XII No 2.

Molina., R. 1992. Specificity Phenomena in Micorrryzal simbiosis. London. Pp 357-423.

Osorno., H. 2012. Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

Osorio. W. 2012. Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico. ISBN: 978-958-44-9746-8.

Pavan., M. T., Bingham. 1982. Toxicity of aluminium seedling to coffee grown in nutrient solution. Soil Sc. Soc. Am. J.46: 993-997.

Primavesi., A. 2002. La nutrición y la enfermedad en las plantas. Memorias del seminario Manejo ecológico del suelo tropical. Santafé de Bogotá, febrero del 26 - 28.

Read, D. 1999. The state of the art. En: Mycorrhiza 2nd. (A. Varma y B. Hock, eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. p. 3-34.

Rubio., R. Boire., F. Moraga., E. Albornoz., 1992. E. Efecto del encalado sobre algunos parámetros biológicos y rendimiento del trébol rosado en un suelo con alto contenido de aluminio. Agricultura técnica. Chile. (4) 394-397. Chile.

Sauerbeck., D. 2001. CO₂ emissions and C sequestration by agriculture perspectives and limitations. Nutrient Cycling in Agroecosystems 60, 253- 266.

Saar., G. 1994. Involvement of cropping systems, plant produced compounds and inoculum production in the functioning of VAM fungi. In Mycorrhizae and plant health. Ed. Bu F.L. Pflieger and R.G. Linderman. Minesota. APS Press. p. 239-260.

Salas., E. 1990. Selección de plantas hospederas para la reproducción de hongos formadores de micorrizas vesículo arbusculares (MVA), en macetas. Tesis. Lic. Heredia, Costa Rica. Escuela de Ciencias Agrarias Universidad Nacional. Pág 94

Sieverding, E. 1991. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft fur technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, federal Republic of Germany. 371 p.

Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizal management in tropical agrosystems Technical Cooperation, Federal Republic of Germany. 371 p.

Smith, F., Jakobsen, I., 2000. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with medicago truncatula. New Phytologist 147: 357-366.

Varela., L. Trejo., D. 2001. Hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México.

Vivekanandan., M., Fixen., E. 1991. Cropping system effects on mycorrhizal colonization, early growth and phosphorus uptake of com. Soil Science Society of America Journal 55(1):136-140

Welch., S. A. Isaacson., Kirste., D. 2009. Mineralogical control of rare earth elements in acid sulfate soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73, 44-64.

Zapata, R., 2002. Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.