

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. EL CULTIVO DE PAPA

Según Huaman (1980), los tubérculos son tallos carnosos que se originan en el extremo del estolón y tienen yemas y ojos. La formación de tubérculos es consecuencia de la proliferación del tejido de reserva que estimula el aumento de célula.

Moya (1984), expresa que en el Ecuador la papa ha sido tradicionalmente un cultivo de altura entre los 2.000 y los 3.600 m.s.n.m. Sin embargo, recientemente se ha comenzado a cultivar papa en la Península de Santa Elena en la Costa, con resultados alentadores. En la sierra se encuentra el cultivo en zonas templadas a frías con un rango de temperatura de 6 a 18°C, una precipitación de 600 a 1200 mm. La papa se desarrolla mejor en suelos francos, bien drenados, húmiferos y apropiadamente abastecidos de nutrientes.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VARIEDAD

Muñoz (1982), manifiesta que el origen genético de la variedad INIAP Gabriela es del cruce entre algodona x chola. Su follaje es de desarrollo rápido, sus tallos bastante fuertes que cubren muy bien los surcos, y sus hojas son grandes.

El tamaño de los tubérculos es entre medianos y grandes de forma oval, color rosado intenso en su mayor parte y crema alrededor de las yemas; pulpa crema y ojos superficiales, es una variedad semitardía pues su maduración es a los 180 días y con un rendimiento potencial de 40 TM/ha.

Revelo et, al, (1995), afirman que INIAP Gabriela es susceptible a la lancha (*Phytophthora infestans*), moderadamente resistente a la roya (*Puccinia pittieriana*), tolerante al nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*), y resistente a la roña (*Spongospora subterranea*).

2.3 pH DEL SUELO

Según Oyarzún et. al. (2002), el pH del suelo expresa la concentración de iones de hidrógeno y se presenta en términos logarítmicos en una escala de 0 a 14. Un valor de pH de 7.0 es neutro. Los valores por debajo de 7.0 son ácidos. Aquellos que están sobre 7.0 son básicos. La mayoría de los suelos productivos fluctúan entre un pH de 4.0 a 9.0. La mayoría de suelos de las zonas paperas tienen valores de pH entre ácidos y ligeramente ácidos.

2.3.1 FACTORES QUE AFECTAN EL pH

Según INPOFOS (1997), el pH del suelo tiene influencia de varios factores, entre los más importantes tenemos: precipitación, siembra de cultivos y fertilización nitrogenada.

2.3.1.1 Precipitación

A medida que el agua de las lluvias se percola en el suelo, se produce la salida

(lixiviación) de nutrientes básicos como calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K). Estos son reemplazados por elementos ácidos como Al^{+3} e H^+ . Por lo tanto, los suelos formados bajo condiciones de alta precipitación son más ácidos que aquellos formados bajo condiciones áridas.

2.3.1.2 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. Por ejemplo, las leguminosas generalmente contienen niveles más altos de bases que los pastos. Los contenidos de calcio y magnesio también varían de acuerdo con las partes de las plantas cosechadas. Cuando se remueve forraje y paja del suelo queda un balance ácido. Cuando se remueve el grano o las semillas, se incrementa el pH debido a que la semilla contiene un alto nivel de componentes ácidos.

2.3.1.3 Fertilización nitrogenada

El N ya sea proveniente de los fertilizantes, materia orgánica, estiércol o fijación biológica de las leguminosas produce acidez.

2.4 CAL

Barrera (1994), señala que la cal logra bajar la toxicidad del Al y consigue incrementar el pH; además, la cal mejora las condiciones físicas del suelo, estimula la actividad microbiana en el suelo, incrementa la CIC en suelos de carga variable, incrementa la disponibilidad de varios nutrientes, proporciona calcio y

magnesio (dolomita), para las plantas y mejora la fijación simbiótica de nitrógeno por parte de las leguminosas.

2.5 COMO SE DETERMINAN LOS REQUERIMIENTOS DE CAL

De acuerdo a INPOFOS (1997), el pH es un excelente indicador de la acidez del suelo, éste no determina el requerimiento de cal. El requerimiento de cal indica la cantidad de cal agrícola necesaria para establecer un rango de pH deseado en el sistema de cultivo con el que se está trabajando.

Valverde (2002), manifiesta que el requerimiento de cal de un suelo no solo se relaciona con el pH, sino también con su capacidad tampón. La cantidad total y tipo de arcilla, los contenidos de materia orgánica y Al 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 cantidad de cal requerida está en función del contenido de Aluminio del suelo.

2.5.1. ¿CÓMO LA CAL REDUCE LA ACIDEZ DEL SUELO?

Según INPOFOS (1997), señala que los procesos y reacciones por los cuales la cal reduce la acidez del suelo son muy complejos. Sin embargo, una visión simplificada de estos procesos explica como funciona la cal. La principal fuente de H^+ en la mayoría de los suelos de pH menor a 5.5 es la reacción de Al 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^+ .

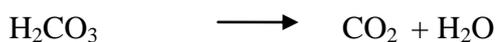
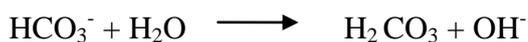
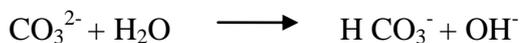
Las reacciones del encalado funcionan de la siguiente forma:

Los iones de Ca^{+2} de la cal reemplazan al Al^{+3} en los sitios de intercambio, y el ion carbonato (CO_3^{-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.

Molina (1998), dice que el efecto de las reacciones de la cal reduce la acidez del suelo (incrementa el pH) al convertir el exceso de H^+ en H_2O . Sin embargo es muy importante observar que el efecto del encalado va más allá de estas reacciones. El incremento del pH permite la precipitación del Al^{3+} como $Al(OH)_3$, que es un compuesto insoluble, eliminando de esta forma el efecto toxico del Al^{3+} en las plantas y la principal fuente de iones H^+ . De igual manera, las aplicaciones de cal también precipitan el manganeso (Mn) y el hierro (Fe) que en ocasiones se encuentran en exceso en suelos ácidos.

La Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (2001), indica que los mecanismos de reacción de los materiales encalantes en el suelo, permiten la neutralización de los iones H^+ en la solución del suelo, por medio de los iones OH producidos al entrar en contacto la cal con el agua del suelo. Es por esta razón que la cal es efectiva solamente cuando existe humedad en el suelo. Las reacciones

básicas de la cal en el suelo, pueden ser ilustradas en el caso de carbonato de calcio, de la siguiente manera:



La tasa de reacciones arriba indicadas y por lo tanto, la disociación del CaCO_3 , esta directamente relacionada con la tasa a la cual los iones OH^- , son removidos de la solución del suelo, a través de la neutralización del H^+ y la formación de H_2O .

Mientras exista H^+ en la solución del suelo, el Ca^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- y H_2CO_3 , continuarán apareciendo en la solución. En esta forma, el pH aumenta debido a que disminuye la concentración de H^+ en el suelo.

Es interesante observar que el ion calcio proveniente de la disolución del CaCO_3 , no interviene en las reacciones de incremento del pH. Este catión pasa simplemente a ocupar sitios de intercambio en la superficie de los coloides del suelo y servirá como nutriente de las plantas.

Por otro lado; también es interesante anotar, que es el ion carbonato (CO_3^{2-}) el que realmente eleva el pH al hidrolizarse y producir iones OH^- . Además, es importante indicar que el ion carbonato se disipa como CO_2 , después de las reacciones de hidrólisis. Esta es la razón por la cual, el efecto de la cal se limita al lugar de aplicación. En otras palabras, la aplicación superficial de cal, no afecta el pH de

capas inferiores, debido a que la cal no migra a través del perfil del suelo, sino más bien se disipa como CO₂ en el sitio de aplicación. Este es un aspecto importante en el manejo del encalado.

2.5.2. MATERIAL DE ENCALADO Y ASPECTOS DE CALIDAD

Karl (1960), afirma que cuando se selecciona un material de encalado, se debe tener en cuenta el valor de neutralización, grado de finura y reactividad de la cal. En los sitios donde el contenido de Mg en el suelo es bajo o deficiente, se debe considerar el contenido de Mg de la cal como uno de los factores para seleccionar el material.

Según Karl (1960), 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 gruesas de cal reaccionan lentamente y en forma incompleta. Las partículas de cal finas reaccionan rápidamente y en su totalidad.

2.5.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA ENCALADO

Existen varios materiales que son capaces de reaccionar en el suelo y elevar el pH. Según la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (2001), los materiales de encalado de uso más común son los siguientes:

2.5.3.1. Calcita (CaCO₃)

La calcita, llamada también cal agrícola, contiene principalmente carbonato de calcio, que se obtiene a partir de roca caliza y roca calcárea o calcita, que se muele y luego se cierce en mallas de diferentes tamaños, estas rocas no son puras y

pueden contener impurezas que reducen el contenido de carbonato, en su forma pura contiene 40% de Ca.

2.5.3.2. Dolomita (Ca Mg [CO₃]₂)

El carbonato doble de calcio y magnesio se denomina dolomita. El material puro contiene 21.6% de Ca y 13.1% de Mg. Aunque la dolomita reacciona más lentamente en el suelo, tiene la ventaja de que suministra Ca y Mg a las plantas, elemento con frecuencia deficiente en suelos ácidos.

2.5.3.3. Oxido de calcio (CaO)

INPOFOS (1997), manifiesta que el oxido de calcio es conocido también como cal viva o quemada, es un polvo cáustico, blanco, desagradable de manejar. Se manufactura por medio de la incineración de la calcita y su pureza depende de la pureza de la materia prima. Cuando se aplica al suelo reacciona casi inmediatamente; por lo tanto, cuando se requieren resultados rápidos, es ideal utilizar este material. Se debe mezclar completamente con el suelo, inmediatamente después de la aplicación, debido a que se endurece rápidamente y puede tornarse ineficiente.

2.5.3.4. Hidróxido de calcio (Ca [OH]₂)

Conocido como cal hidratada o cal apagada y se obtiene a partir de la reacción del oxido de calcio con agua. Es un polvo blanco, cáustico, difícil y poco placentero de manejar. Este tipo de cal también neutraliza rápidamente la acidez cuando se aplica al suelo. En forma pura presenta un 56% de Ca.

2.5.3.5. Oxido de magnesio (MgO)

Es un material que contiene solamente Mg en una concentración de 60%. Su capacidad de neutralizar la acidez, es mucho más elevada que las de otros materiales; pero por su poca solubilidad en agua, debe ser molido finamente para que controle adecuadamente la acidez del suelo. Es una fuente de Mg para suelos ácidos que frecuentemente son deficientes en este elemento.

2.5.3.6. Magnesita (MgCO₃)

Es un producto a base de carbonato de magnesio, su forma pura contiene 28.5 % de Mg.

2.5.3.7. Gredas

Son depósitos no consolidados de CaCO₃, de textura arcillosa y con gran cantidad de impurezas. Estos materiales por lo general se manejan en húmedo lo que disminuye su eficiencia.

2.5.3.8. Escorias industriales

Son residuos de la industria de acero (escorias básicas) y de la fundición de hierro (escorias Thomas). Los dos contienen silicato de calcio (CaSiO₃) y silicato de magnesio (MgSiO₃) y neutralizan la acidez del suelo a través de la hidrólisis de ión silicato (SiO₃⁼). Su capacidad de neutralizar es similar al CaCO₃.

2.6. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PARA EL ENCALADO

Lascano (1999), señala que cuando se selecciona un material de encalado, se debe tener en cuenta la pureza del material, el valor de neutralización, grado de finura y reactividad de la cal. En los sitios donde el contenido de Mg en el suelo es bajo o deficiente, se debe considerar el contenido de Mg de la cal como uno de los factores para seleccionar el material.

Algunos recomiendan su uso en términos de equivalente químico de carbonato de calcio (CCE), o como el valor relativo de neutralización u otro término similar, otros recomiendan simplemente la cantidad de calcio o magnesio sin especificar una calidad específica; sin embargo, debe existir normatividad.

2.6.1. Pureza química

Molina (1998), indica que la pureza es una característica importante de los materiales de encalado, que reconoce su composición química y los contaminantes presentes en dicho material. Para determinar la pureza, se utiliza el criterio de equivalente de carbonato de calcio, el mismo que determina la cantidad de ácido que se puede neutralizar por una cantidad dada de dicho material.

2.6.2. Pureza o valor de neutralización

Espinosa y Molina (1999), manifiestan que el valor de neutralización es expresado como el porcentaje de equivalente químico de carbonato de calcio, tomando al CaCO_3 puro como el 100%. A mayor valor de (CCE) mayor efectividad del encalado, algunas cales agrícolas como la dolomítica pueden tener valores

superiores al 100%, la cal agrícola contiene generalmente impurezas como grava o arena o materia orgánica que reducen el valor de neutralización relativa.

2.6.3. Tamaño de la partícula o finura de molienda

El INPOFOS (1997), manifiesta que a pesar 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 de la zona de siembra o semilla, puede inducir una deficiencia de K debido a la alta disponibilidad de Ca.

Molina (1998), indica que para estimar la eficiencia granulométrica de un material de encalado, se pesa una cantidad del material y se cierne en una secuencia de mallas de diferente tamaño. Es normal utilizar la siguiente secuencia de mallas: 8 – 10 – 20 – 40 – 60 y 80 mesh. Todos los materiales que pasan completamente malla 60 tienen 100% de efectividad y reacciona entre 3 y 6 meses.

Lascano (1999), manifiesta que la propiedad física conocida como finura de las partículas de la cal agrícola determinan la velocidad de reacción y de neutralización de la acidez. 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. A medida que se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material de encalado se aumenta el área o superficie de contacto. Entre más superficie específica tenga el material más rápido reacciona la cal en el suelo

Cuadro 1. Equivalentes químicos y composición química de materiales puros para encalado.

Material	Equivalente Químico (EQ)	Fórmula	Concentraciones (%)	
			Ca	Mg
Carbonato de Ca	100	CaCO ₃	40	
Dolomita	108	Ca Mg[CO ₃] ₂	21.6	13.1
Carbonato de Mg	119	Mg CO ₃		28.5
Oxido de Mg	248	MgO		60
Silicato de Ca	86	CaSiO ₃	34.4	
Silicato de Mg	100	MgSiO ₃		24
Oxido de Ca	179	CaO	71	
Hidróxido de Ca	138	Ca(OH) ₂	54	
Hidróxido de Mg	172	Mg(OH) ₂		41

Fuente: INPOFOS, (1997)

2.7. EPOCA Y FRECUENCIA DE APLICACIÓN DE CAL

Según Valencia (1988), en algunos países de Centroamérica, en el cultivo de café, es usual que la cal se agregue en los últimos meses de la estación seca, para que el efecto del encalado se vea en las primeras brotaciones. Sin embargo, no existe 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 siempre incorporada antes de sembrar.

Chávez y Alvarado (1994), manifiestan que las reacciones de neutralización no se producen si no se tiene un medio favorable. En condiciones apropiadas, las reacciones ocurren relativamente rápido; por esta razón, la época más apropiada para aplicar la cal es un poco antes o al inicio de las lluvias.

Gambudo (2002), menciona que la relación entre el suelo y la cal aplicada se mantiene a lo largo de muchos años. Durante el primero y segundo año, la reacción es veloz, pero conforme pasa el tiempo, está declina gradualmente. Generalmente, el pH máximo resultante del encalado, se alcanza entre los 2 y 3 años de la aplicación. Después de ese tiempo, la reacción es más lenta que la velocidad de lavado, y el pH desciende gradualmente hasta que se decide repetir la aplicación.

Según Valverde (2002), el hacer recomendaciones generales con respecto a la frecuencia de aplicación de cal, no es una buena alternativa; debido a que en esta práctica están involucrados muchos factores como:

Tipo de suelo, contenido de materia orgánica, fuente de cal, granulometría y humedad.

La mejor forma de determinar la necesidad de un reencalado es el análisis de suelo. Los requerimientos de cal para la mayoría de los suelos pueden predecirse aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{CaCO}_3 \text{ equivalente (TM/ha)} = 2.0 * (\text{meq. Al/100 g de suelo})$$

2.8. FORMA DE APLICACION DE LA CAL

Espinosa (1994), indica que no siempre es posible incorporar cal, como ocurre en cultivos ya establecidos en el campo. En pastos y cultivos perennes, la incorporación completa solamente se puede hacer al inicio del cultivo. Una vez que el cultivo esta establecido solamente es posible aplicar cal a la superficie, en el café, banano y palma africana, la aplicación superficial de cal debe hacerse

solamente en la banda o zona de fertilización; esto se hace debido a que la acidificación ocurre en la banda o corona de fertilización.

Espinosa y Molina (1999), señalan que la cal se mueve muy poco en el suelo, debido a que el ion CO_3^{2-} se disipa como CO_2 , después de las reacciones de hidrólisis. Por esta razón, los efectos benéficos de la cal ocurren solamente en la zona de aplicación. Para que la cal sea efectiva es necesario mezclar completamente el material en los primeros 15 a 20 cm de suelo, utilizando el arado, rastra o cualquier otro implemento. Como la cal se mueve muy poco en el suelo, debe realizarse un buen mezclado en el momento de la aplicación. Los discos son los elementos más adecuados para conseguir un mezclado eficiente, de esta manera se logra mezclar el material con la capa del suelo donde se concentran las raíces activas de la mayoría de los cultivos. Se ha demostrado que las aplicaciones de cal incorporadas son más eficientes, especialmente si el suelo es de textura media pesada.

Según Carballo (1993), una vez aplicada la cal para que esta reaccione, se debe esperar un tiempo prudencial de 1 a 2 meses, antes de añadir el fertilizante. El contacto directo de la cal con fertilizantes nitrogenados amoniacales en la superficie del suelo favorece la formación de carbonato de amonio, el cual a su vez se transforma en amoníaco que se pierde por volatilización. También el contacto con fertilizantes fosfatados causa pérdidas de fósforo debido a la formación de fosfatos de calcio insolubles.

La cal no se mueve en el suelo, la distribución del material en el campo, al momento de su aplicación, es otro aspecto muy importante que debe tomarse en cuenta. Si la cal se incorpora con arado, está debe distribuirse en forma uniforme en todo el terreno. Si la aplicación no es uniforme, solamente se controla la acidez en los lugares donde cae la cal y el cultivo al crecer presenta también un aspecto poco uniforme.

El INPOFOS (1997), indica que otro factor importante que determina la efectividad de la cal, es la forma de aplicación. Es esencial incorporar la cal, de modo que en la capa arable, se logre un contacto máximo del material de encalado con el suelo. 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. En suelos arenosos basta una sola aplicación e incorporación.

Las reacciones de neutralización de la cal ocurren en presencia de agua, por lo que se debe aplicar la cal en un suelo húmedo.

2.9. EFECTO RESIDUAL DE LA CAL

El efecto residual de la cal depende de la velocidad de reacción en el suelo, y que está influenciada por los siguientes factores:

2.9.1. Condiciones de suelo y clima

Espinosa y Molina (1999), manifiestan que mientras existan iones H^+ en la solución del suelo, las reacciones del ion carbonato CO_3^{-2} continúan hasta neutralizar el H^+ o precipitar el Al^{+3} . La aplicación de la cal en suelos neutros es inocua, precisamente por que no existe H^+ que es la fuerza que motiva las reacciones de la cal. En suelos con pendientes muy fuertes, la cal aplicada superficialmente puede perderse por escorrentía y erosión.

La alta temperatura y humedad 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.

2.9.2. Naturaleza química del material

Espinosa y Molina (1999), indican que las bases fuertes como óxidos e hidróxidos reaccionan rápidamente, pero su efecto residual no es muy prolongado debido a que los OH aportados se consumen inmediatamente; en cambio las bases débiles como los carbonatos, son de reacción más lenta y de mayor efecto residual.

2.9.3. Tamaño de la partícula

Molina (1998), indica que los materiales más finos reaccionan mucho más rápido que los gruesos y su efecto residual es menor. Los materiales muy finos pueden perderse fácilmente por acción del viento durante la aplicación, lo que hace difícil una aplicación uniforme.

2.9.4. Cultivo

Sánchez (1994), indica que cultivos de ciclo muy corto, como hortalizas y algunas ornamentales, es preferible el uso de materiales de rápida reacción y más finos, tales como los óxidos e hidróxidos de calcio. En cultivos perennes se pueden utilizar cales con un tamaño de partícula un poco más grueso, pero con efecto residual más prolongado.

2.9.5. Intensidad de cultivo

Espinosa (1987), indica que en los suelos intensamente cultivados y fertilizados con N, son susceptibles a acidificarse en mediano plazo, si no se toman medidas oportunas de corrección. Los fertilizantes nitrogenados amoniacales, dejan efecto residual ácido como consecuencia de la nitrificación del NH_4^+ por las bacterias del suelo. Además, los fertilizantes amoniacales presentan un índice de acidez fisiológico alto. La acidez fisiológica es un término relativo, que indica la cantidad de CaCO_3 que podría neutralizar el efecto de la acidez, causada por un fertilizante y se expresa en kg de $\text{CaCO}_3/100$ kg de fertilizante. Entre mas alto es el valor de la acidez fisiológica, mayor es el efecto residual ácido que podría dejar un fertilizante.

2.10. REQUERIMIENTOS DE CAL DE ACUERDO AL TIPO DE SUELO

Chávez (1993), manifiesta que en cultivos desarrollados originalmente en suelos calcáreos, como algodón, sorgo y alfalfa, son susceptibles aun a niveles bajos de saturación de Al^+ (porcentaje de Al de la CIC efectiva), mientras que otros cultivos como el arroz y las arvejas, muestran un gran rango de tolerancia a la variación

Cultivos como el café, piña, té, palma y muchos pastos y leguminosas tropicales pueden crecer en suelos con una alta saturación de Al. En cultivos con cierta tolerancia a la acidez, no es necesario precipitar todo el Al, pudiéndose utilizar cantidades aun menores de cal, que solamente reducirán la saturación de Al a los valores requeridos.

Espinosa (1994), señala que sin importar el tipo de suelo, el encalado debe basarse en un método confiable de determinación de los requerimientos de cal. Una

cantidad excesiva de cal en suelos de textura gruesa puede llevar a condiciones básicas extremas y a problemas serios como la deficiencia de Fe, Mn y otros micronutrientes. Sin embargo, la cantidad de cal que sería excesiva en suelos arenosos, quizá no sea suficiente para elevar el pH a los niveles deseados en suelos arcillosos o con alto contenido orgánico.

Zapata (1996), indica que la capacidad tampón en algunos Andisoles es menor y en consecuencia se debe aplicar menor cantidad de cal. En estos casos, se ha sugerido que la determinación de Al^{3+} con KCl 1N, no es eficiente porque su fuerza iónica extrae formas de Al, particularmente ligadas con la materia orgánica, que no pasan a ser parte del Al^{3+} activo, tóxico para las plantas. El encontrar un método de laboratorio, que pueda discriminar estas formas de Al en el suelo, podría ayudar a encontrar una forma más eficiente de determinar los requerimientos de cal en andisoles.

El INPOFOS (1997), manifiesta que el requerimiento de cal de un suelo, no solo se relaciona con el pH del suelo; sino también con su capacidad tampón, el tipo de arcilla y el contenido de materia orgánica del suelo; las que 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 se incrementa 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 tanto requieren menor cantidad de cal para cambiar el pH.

Molina (1998), manifiesta que el análisis de suelo, es una de las herramientas más útiles para el diagnóstico de la fertilidad de los suelos. Mediante este procedimiento es posible identificar la presencia de acidez, y a su vez generar una

recomendación para solventar el problema. Existen algunos criterios para diagnosticar problemas de acidez.

- pH menor a 5.5
- Acidez o Al intercambiable mayores a 0.5 cmol (+)/L.
- Suma de bases ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+}$) menor a 5 cmol (+)/L.
- Saturación de acidez mayor al 20%.

Alvarado et. al. (1998), manifiestan que el encalado mejora la respuesta a la aplicación de fertilizantes en suelos ácidos. Esto se debe fundamentalmente, a las mejores condiciones físicas y químicas que el suelo adquiere después de la aplicación de la cal, produciendo un mejor ambiente para el desarrollo radicular. Una mejor exploración del suelo, permite que la planta absorba los nutrientes de los fertilizantes aplicados al suelo, incrementando los rendimientos del cultivo y la eficiencia de los fertilizantes.

Trabajando con maíz, encontró una mejor respuesta en rendimiento a la aplicación de N, P y K en Ultisoles de Bolivia, después de la aplicación de dosis moderadas de cal, como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Efecto de la relación fertilizante/cal en el rendimiento de maíz var. Tuxpeño. Chapare, Bolivia.

Fertilizante (Kg/ha)	Rendimiento de grano en TM/ha	
	CaCO ₃ TM/ha	
	0	1
N		
0	1.2	1.3
75	1.0	1.8
150	1.7	1.9
P₂O₅		
0	0.7	1.8
100	1.2	2.5
150	1.3	2.3
K₂O		
0	1.0	1.6
75	1.3	2.2
150	1.5	2.5

Fuente: Alvarado et. al. (1998)

Espinosa y Molina (1999), manifiestan que existen cultivos tolerantes al aluminio (Al), que pueden crecer y producir satisfactoriamente, a moderadas tasas de saturación de Al, en la fase de intercambio. Sin embargo, la tolerancia a la acidez, es muy variable entre cultivos y aun dentro de una misma especie existen diferencias notables entre variedades.

Lazcano (1999), indica que el efecto de la fertilización balanceada se expresa mejor cuando la acidez ha sido eliminada como factor limitante. En este caso, la efectividad de estas prácticas que presenta datos de fertilización y encalado de suelos ácidos de la localidad de Frailesca, Estado de Chiapas, México (cuadro3).

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de cal y fertilización balanceada en el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de maíz. Chiapas, México.

Fertilización	Cal	Rendimiento	Costo	Punto de equilibrio	Ingreso	
					bruto	Neto
N - P ₂ O ₅ - K ₂ O ₅	Kg/ha		US\$/ha	TM/ha	US\$/ha	
0-0-0	0	2900	270	1999	393	122
0-0-0	1000	2750	355	2600	373	177
180-69-60	0	3700	394	2930	501	103
180-69-60	1000	5050	498	3670	678	179
266-92-202-11-22	1000	6085	608	4480	813	205

Fuente: Lazcano, (1999).

La sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (2001), expresa que los suelos andisoles (suelos derivados de ceniza volcánica), tienen una alta capacidad tampón (resistencia al cambio del pH) y una moderada CIC. Todos estos factores, hacen que la determinación de los requerimientos de cal en estos suelos, sea más complicada. Cuando se encalan andisoles ácidos la interacción de la cal con las arcillas muy reactivas, producto de la meteorización de la ceniza volcánica (alófana, imogolita, complejos humus - Al), crean cargas negativas (incrementa la CIC), pero no logra incrementar el pH y precipitar el Al. La cantidad de cal necesaria para precipitar el Al varía en los andisoles dependiendo de factores como altitud, clima, intensidad y estado de meteorización de la ceniza y únicamente se puede determinar con exactitud, mediante ensayos de campo en los sitios específicos.

En el cuadro 4 observamos distintos niveles de cal pero los rendimientos en papa son muy similares, no existen diferencias significativas lo cual nos indica que papa es tolerante a la acidez, en los otros cultivos de haba, cebada, y avena si hay respuesta al encalado, además se a logrado incrementar el pH del suelo bajar la

toxicidad del aluminio, mayor aporte de calcio y magnesio y mejorar la CIC capacidad de intercambio cationico.

Cuadro 4. Efecto de la aplicación de cal en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de varios cultivos en un andisol de Ecuador. EESC.

t/ha		C moles (+) kg.					Rendimiento en t/ha			
Cal	pH	Ca	Mg	K	Al	CIC	Haba*	Cebada	Avena	Papa
0	5.0	2.54	0.36	0.31	2.1	6.0	13.9	2.2	3.6	25.7
1.5	5.1	2.58	0.36	0.29	1.5	6.2	12.8	3.0	4.4	---
3.0	5.2	3.30	0.44	0.29	1.6	6.6	17.1	2.9	4.3	26.4
4.5	5.2	4.67	0.48	0.31	1.5	7.2	18.9	3.7	4.4	---
6.0	5.3	4.69	0.45	0.24	0.6	7.2	19.2	3.9	4.7	26.1
9.0	5.4	4.60	0.46	0.28	0.4	7.4	21.5	3.9	5.2	---
12.0	5.4	5.59	0.55	0.30	0.2	8.4	21.6	4.1	4.8	26.8
15.0	5.8	8.60	0.80	0.30	0.1	10.7	21.0	4.3	4.7	26.0

* Haba en vaina. Fuente: Sociedad Colombiana Ciencia del Suelo, (2001).

La Cámara Argentina de Empresarios Mineros (2002), dice que existe una gran diversidad de suelos en los trópicos y por esta razón no se pueden hacer recomendaciones generales de manejo, particularmente en control de acidez. Para determinar los requerimientos de cal a ser aplicados es necesario tener presente los siguientes criterios:

- Determinar el pH de la capa arable y el subsuelo.
- Considerar el cultivo a establecer y su rango óptimo de pH, calcio y magnesio.
- Determinar el contenido de materia orgánica y textura del suelo.
- Determinar en el laboratorio los requerimientos de cal a aplicarse.