

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LOS RECURSOS
NATURALES RENOVABLES



EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE DOLOMITA EN LA
NEUTRALIZACIÓN DEL ALUMINIO INTERCAMBIABLE EN UN
SUELO MUY ÁCIDO DE SUPTE SAN JORGE

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN:

CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

JULIO CESAR CASTRO FABIAN

PROMOCIÓN 2008 - II

Tingo María - Perú

2010

DEDICATORIA

A la memoria de mí adorada Madre
Guillermina Fabián Pantaleón,
símbolo de trabajo y entrega, quien
con su ejemplo de fe, sacrificio y
humildad, me brindó su apoyo para
lograr mis aspiraciones...Gracias
MAMÁ.

A mí querido Padre **Luís Castro Torres**, con
cariño y abnegación mi más profundo
agradecimiento. Es a ti a quién debo todo lo
que soy. Gracias por ser mi guía y ejemplo
durante todos los años de mi vida.

A la eterna memoria de mí querida y
recordada abuelita: **Isidora Pantaleón
Jacinto** (Q.E.P.D). Esto es para ti mamita.
Tú que siempre quisiste verme profesional.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han colaborado y ayudado en la culminación del presente trabajo, a ellos mi especial deferencia:

- A Dios, por iluminar mi camino a cada paso que emprendo en la vida, por demostrarme tantas veces su existencia y con ello darme las fuerzas para salir adelante ante cada tropiezo que doy.

- A mis padres, por su apoyo y guía en todo momento y siempre estaré eternamente agradecido hasta los últimos días de mi vida.

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables y profesores que contribuyeron en mi formación profesional.

- Al Ing. Agronomo, José Lévano Crisóstomo, patrocinador del presente trabajo, por su amplia colaboración en forma desinteresada para culminar con éxito la tesis, y por su acertada orientación profesional.

- A los miembros del jurado de tesis, Ing. M.Sc. Lucio Manrique de Lara Suarez, Ing. Jaime Torres García e Ing. M.Sc. Tania Elizabeth Guerrero Vejarano por su apoyo incondicional.
- Al Ing. Civil, Ricardo Martin Chávez Asencio, por su orientación en mi formación como estudiante y ayuda prestada en la presente tesis.
- Al Ing. Agronomo, Luis Mancilla Minaya por su colaboración y orientación sobre el tema del presente trabajo de tesis.
- Al Ing. Agronomo, Jordan Herrera Aranda, por su gran ayuda y apoyo en los datos estadísticos.
- Al Bachiller, Villie Villacrez Olano, por la colaboración brindada en los cálculos y análisis de suelo.
- A mis compañeros y amigos, Bach. Demetrio Lamas Isminio, Bach. Javier Nazar Cipriano, Bach. Jhonsthon Espejo Meza, Marco Antonio Ojanama y Técnico Manuel Linares, quienes me brindaron su apoyo en la realización del presente trabajo de tesis.

INDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Naturaleza de la acidez del suelo	3
2.2. Origen de la acidez del suelo	4
2.3. Acidez del suelo	6
2.4. Efecto del aluminio en la solución del suelo	7
2.5. Efectos tóxicos del aluminio en la nutrición mineral de las plantas.....	8
2.6. Toxicidad del aluminio	12
2.7. Tolerancia	13
2.8. Efecto de la acidez de los suelos.....	13
2.9. Encalados de los suelos.....	13
2.10. Antecedentes de ensayos experimentales	16
2.11. Reacciones de neutralización.....	17
2.12. Criterios para el encalado de los suelos	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Descripción del área de estudio.....	21
3.2. Materiales y equipos empleados	22
3.3. Componentes en estudio.....	23
3.4. Tratamientos en estudio	23

3.5.	Diseño experimental.....	24
3.6.	Ejecución del experimento.....	26
3.7.	Metodología de análisis de laboratorio	29
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1.	Efecto de la dolomita sobre algunas características química del suelo estudiado a los 60 y 120 días en condiciones de vivero	32
V.	CONCLUSIONES	44
VI.	RECOMENDACIONES	45
VII.	ABSTRACT	48
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
IX.	ANEXOS.....	54

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Datos climáticos de julio del 2009 a febrero del 2010, correspondiente al periodo experimental.....	20
2. Análisis físico - químico inicial del suelo en estudio.	21
3. Descripción de los tratamientos en estudio	24
4. Efecto de la dolomita sobre las variable químicas en estudio.....	32
6. Efecto de la dolomita con respecto al aluminio intercambiable inicial, a los 60 y 120 días.	33
7. Efecto de la dolomita con respecto al pH inicial, a los 60 y 120 días	35
8. Efecto de la dolomita con respecto al calcio inicial, a los 60 y 120 días	37
9. Efecto de la dolomita con respecto al magnesio inicial, a los 60 y 120 días.	38
10. Efecto de la dolomita con respecto al potasio inicial, a los 60 y 120 días	40
11. Efecto de la dolomita con respecto a la CIC _E inicial, a los 60 y 120 días.....	41
12. Efecto de la dolomita con respecto al pH inicial, pH final, saturación de aluminio a los 60 y 120 días.....	42

	8
13. Análisis físico - químico inicial del suelo a utilizar.....	55
14. Análisis físico - químico del suelo a los 60 días	56
15. Análisis físico - químico del suelo a los 120 días	56

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diseño de los tratamientos establecidos en el vivero.	24
2. Equipo utilizado en la extracción de muestras.....	26
3. Forma en que se realizó la toma de muestras.....	27
4. Variación del Al en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.....	34
5. Variación del pH en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.	35
6. Variación del Ca en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.	37
7. Variación del Mg en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.	39
8. Variación de la CIC _E en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.	41
9. Variaciones del pH y saturación de aluminio en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.	43
10. Vista panorámica del suelo utilizado en el experimento	63
11. Vista panorámica del suelo con presencia de coca	63
12. Muestra del suelo.....	64
13. Material encalante "dolomita" usado en el experimento	64
14. Molino para triturar terrones grandes del suelo	65
15. Tamizado del suelo	65
16. Determinación del pH del suelo	66
17. Determinación del aluminio intercambiable	66

	10
18. Suelo en proceso de incubación	67
19. Supervisión al término del experimento.....	67
20. Croquis del campo experimental y distribución de tratamientos	68
21. Lugar de ejecución del trabajo de investigación	69

RESUMEN

Con la finalidad de determinar y conocer qué cantidad de dosis crecientes de dolomita, serán suficientes para neutralizar total o parcialmente el aluminio intercambiable de un suelo muy ácido y evaluar la acción que ejerce sobre algunas características químicas del suelo: el pH, capacidad de intercambio cationico efectiva (CIC_E), y el porcentaje de saturación de aluminio, así como también de los principales macronutrientes, tales como el calcio, magnesio y potasio, se realizó un ensayo en etapa de vivero en el Asentamiento Humano 1° de Julio en la vivienda de la señora Guillermina Fabián Pantaleón, ubicado en la provincia de Leoncio Prado Tingo María, sobre un suelo con alto contenido de aluminio intercambiable y bajo contenido de calcio y magnesio. El suelo seleccionado para el presente estudio fue procedente del Centro Poblado de Supte San Jorge ubicado a 40 minutos de la ciudad de Tingo María. Cuyas características resaltantes eran que presentaban cultivo de *Erythroxylum coca* (coca), malezas como: *Pteridium sp* (macorilla), *Imperata brasiliensis* (cashaucsha) etc., estos suelos fueron muestreados a una profundidad de (0 - 20 cm).

Los suelos fueron llevados a vivero por un periodo de 120 días y mantenidos a capacidad de campo, con dosis crecientes de dolomita en cantidades equivalente a 1,1, 1,7, 2,3, 2,9 y 3,4 g/kg de suelo, suficientes para

neutralizar teóricamente el aluminio intercambiable del suelo. Los suelos fueron analizados al inicio, a los 60 días y al final del estudio (120 días). Al finalizar el período de (120 días), se midieron las variables en estudio como son el Al, pH, CICE, saturación de aluminio, así como también de los macronutrientes tales como Ca, Mg y K. Para este trabajo de investigación solo se usó un diseño analítico descriptivo de los resultados obtenidos

La aplicación de dosis de 2,9 y 3,4 gramos de dolomita por kilogramo de suelo, ocasionaron un aumento progresivo tanto en el pH como en el contenido de calcio, magnesio, potasio y CICE; además causó una disminución sustancial en el contenido de aluminio intercambiable (hasta niveles de 0,1 meq. /100 g), considerándose este nivel neutralizado el aluminio y en cuanto al porcentaje de saturación de aluminio este bajó hasta niveles de 2,7 y 1,1 % medio adecuado para cualquier tipo de cultivo que se quiera instalar.

I. INTRODUCCIÓN

Un factor limitante en los suelos ácidos de la selva del Perú es el alto contenido de aluminio y bajo pH, como resultado de estas características, los suelos presentan una baja producción y capacidad de intercambio catiónico, por lo que hace indispensable aplicar enmiendas o corrección del pH.

Hoy en día la toxicidad por aluminio representa un serio problema, ya que grandes zonas del planeta, la mayoría en zonas tropicales o subtropicales, presentan suelos muy ácidos dándose una gran disponibilidad de aluminio y un crecimiento lento de las plantas debido a que se reduce la absorción, transporte y utilización de los nutrientes.

Por lo que una de las alternativas para mejorar estos tipos de suelos sería mediante la aplicación de enmiendas, ya que en estos últimos años ha adquirido una gran importancia principalmente en el Alto Huallaga, al grado tal que casi todos los programas de desarrollo alternativo incluyen en sus paquetes tecnológicos reducir el exceso por aluminio, haciendo disponible los nutrientes del suelo, para la planta; como principal componente en el tratamiento del suelo.

El presente trabajo de investigación (tesis), tuvo como importancia directa conocer que cantidad de dosis crecientes de dolomita, serán suficientes para neutralizar el aluminio intercambiable de un suelo muy ácido y evaluar la acción que ejerce sobre el pH, Al, CICE y el porcentaje de saturación de aluminio, así como también de los macronutrientes Ca, Mg y K, para lo cual se adicionó diferentes dosis de dolomita.

Objetivo General

- Determinar el efecto de las diferentes dosis de dolomita, en la neutralización del aluminio intercambiable, en un suelo muy ácido de "Supte San Jorge"

Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de las diferentes dosis de dolomita, sobre algunas características químicas del suelo en estudio.
- Determinar los cambios químicos inducidos por la dolomita sobre el aluminio intercambiable, pH, CICE, el porcentaje de saturación de aluminio y de los principales macronutrientes Ca, Mg y K.
- Determinar cuál es la dosis más apropiada de dolomita, para neutralizar el aluminio intercambiable del suelo en estudio y realizar enmiendas en suelos con problemas de acidez.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Naturaleza de la acidez del suelo

Trabajos recientes probaron que el aluminio intercambiable era el catión dominante asociado a la acidez del suelo, en los suelos inorgánicos; mientras que en los suelos orgánicos se encuentra relacionado con la liberación de los iones de hidrógeno, por parte de los grupos funcionales de la materia orgánica, siendo una acidez del tipo no intercambiable. (JACKSON, 1967).

RIBEIRO, GUIMARAES y ALVAREZ (1999) mencionan que el aluminio intercambiable se precipita con un pH alrededor de 5,5 a 6,0; encontrándose poco o nada de aluminio intercambiable a pHs mayores. Además, de los valores reales de aluminio intercambiable, una medida útil de la acidez del suelo, es el porcentaje de saturación de aluminio en base a la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CIC_E). El aluminio intercambiable se retiene muy fuertemente con las cargas negativas de los sistemas de silicatos laminares y de silicatos laminares con revestimiento de óxidos.

PARSONS (2001) menciona que trabajos realizados en Carolina del Norte y Guayana mostraron que hay menos de 1 ppm de aluminio en la solución del suelo cuando la saturación del aluminio es menor del 60%. Sin

embargo, el aluminio en la solución del suelo sube marcadamente cuando la saturación del aluminio pasa del 60%.

COLEMAN y THOMAS (1967) mencionan que en suelos minerales ácidos se encuentran hidrógeno intercambiable en pequeñas cantidades, y los iones de hidrógeno producidos por la descomposición de la materia orgánica (grupos carboxil), son inestables en estos suelos porque reaccionan con arcillas de silicatos laminares, liberando aluminio intercambiable y ácido silíceo.

La medición de la acidez se efectúa en forma directa mediante la determinación de la concentración de los iones de hidrógeno presentes en la solución suelo; ello ocurre al producirse la hidrólisis del agua; en presencia del aluminio, se produce una liberación de iones hidrógenos que son los que determinan la reacción del suelo o pH.

2.2. Origen de la acidez del suelo

SADZAWKA y CAMPILLO (1999) mencionan que la acidez de los suelos esta expresada por el pH, lo cual es una cuantificación de los iones hidrógeno en la solución del suelo. Desde hace más de 45 años reportan que mediante la extracción de cationes cambiables de suelos ácidos con una sal neutra, el aluminio intercambiable (Al^{+3}), es el ion intercambiable predominante y no el hidrogeno (H^+). Por lo que la acidez del suelo se encuentra directamente relacionada con el contenido de aluminio y actualmente este concepto es el que predomina.

TISDALE (1970) indica que el origen del aluminio se debe a la meteorización de los componentes de las arcillas. Los minerales de arcilla tal como la caolinita (1:1) y la montmorillonita (2:1) pueden amortiguar el pH del suelo. El grupo de la caolinita integra la mayor parte de las arcillas cuya génesis tiene lugar en climas húmedos, y procede generalmente de rocas ácidas y la montmorillonita abunda en suelos de clima seco en fase avanzada de edafización, o en suelos húmedos cuando la roca originaria es más bien básica

HAVLIN *et al.* (1999) menciona que el incremento de la acidez de los suelos en la producción de los cultivos es causado por uso comercial de fertilizantes, especialmente fuentes de NH_4^+ que producen hidrogeno durante la nitrificación; remoción de cationes de intercambio por el hidrogeno lixiviación de los cationes que empiezan a ser reemplazados primero por el hidrogeno y consecuentemente por el aluminio intercambiable; y descomposición de los residuos orgánicos. La acidificación natural de los suelos se ve reforzada con el aumento de las precipitaciones ya que la lluvia tiene un pH de 5,7 o menos, dependiendo de los contaminantes como el SO_2 , NO_2 , y otros.

POSCHENRIEDER (1985) indica que a todo esto, hay que añadir que la creciente contaminación atmosférica provoca una acidificación de las poblaciones, disminuyendo el pH del suelo y aumentando la disponibilidad de aluminio. Esta alta concentración de protones en el agua de lluvia, aumenta a

su vez la lixiviación de los cationes básicos al incidir sobre el dosel de las hojas.

2.3. Acidez del suelo

FASSBENDER (1987) menciona que por muchos años existió la creencia de que el hidrogeno intercambiable era la principal causa de la acidez en los suelos, sin embargo COLEMAN y THOMAS (1967) demostraron que el aluminio intercambiable es el catión asociado con la acidez de los suelos. KAMPRATH (1970) en sus investigaciones, demostró que el aluminio es el catión predominante de los suelos minerales ácidos, si el pH es menor de 5 el desarrollo de los cultivos en éstos se va ver afectado por la excesiva cantidad de aluminio, hidrógeno, hierro y manganeso en forma soluble.

QUIROZ y GONZALES (1979) mencionan que los suelos ácidos presentan una baja capacidad de intercambio de cationes, bajo porcentaje de saturación de bases, alta concentración de aluminio intercambiable, baja disponibilidad de P, Ca, Mg y algunos micronutrientes, y ocasionan toxicidad en las plantas debida al aluminio intercambiable y al manganeso, características provocadas por las condiciones prevalecientes en los trópicos húmedos que producen una acidificación progresiva.

ZAVALA (2007) indica que la acidez de estos suelos limita el crecimiento de las plantas debido a una combinación de factores que influyen como la toxicidad de aluminio, manganeso e hidrógeno, y la deficiencia de nutrientes

esenciales, especialmente calcio, magnesio, fósforo y molibdeno. Pero, el factor limitante del crecimiento más importante en estos suelos ácidos, es la toxicidad del aluminio soluble e intercambiable.

FASSBENDER (1987) menciona que en suelos inorgánicos la acidez se encuentra relacionada con el porcentaje de saturación de aluminio, de la CIC_E , mientras que en los suelos orgánicos, se encuentra más relacionada con la presencia de aluminio en forma cambiante. Estos tipos de acidez son conocidos como acidez intercambiable, que se diferencia de la conocida como acidez titulable, porque esta última se halla relacionada con la presencia de materia orgánica y con óxidos hidratados de Fe y Al, compuestos que se caracterizan por liberar iones hidrógeno.

2.4. Efecto del aluminio en la solución del suelo

BUCKMAN y BRADY (1966) mencionan conforme disminuye el pH, aumenta la solubilidad de este elemento, a tal punto que puede resultar tóxico para las plantas. Del mismo modo, al aumentar el pH del suelo disminuye la cantidad del aluminio intercambiable soluble, por precipitación, cuyo fenómeno se verifica hasta cercanías a la neutralidad, punto en que prácticamente todo el aluminio se encuentra insoluble.

ALAM *et al.* (1979) afirma que la presencia de altas concentraciones de aluminio en la solución del suelo inhiben también la absorción de Ca y Mg por las plantas. Así mismo KAMPRATH *et al.* (1979) menciona que ocurre una

disminución en el contenido de aluminio intercambiable en la solución del suelo a medida que se incrementan las cantidades de material encalante. Afirmando que a niveles de 0,2 y 0,1 ppm de aluminio puede considerarse neutralizado el aluminio y sería un factor a tomar en consideración al estimar las implicaciones de la práctica del encalado en suelos ácidos.

2.5. Efectos tóxicos del aluminio en la nutrición mineral de las plantas.

FOY *et al.* (1978) indica que hoy en día la toxicidad por aluminio representa un serio problema, ya que grandes zonas del planeta, la mayoría en zonas subtropicales o tropicales, presentan suelos ácidos de manera natural, dándose una gran disponibilidad de aluminio y una disminución en la producción vegetal.

SALINAS (1981) Afirma que altos niveles de aluminio en el suelo reducen el crecimiento de raíces inhibiendo su elongación y penetración en el suelo y consecuentemente, reduciendo la absorción de agua y nutrientes, así como la incapacidad de las raíces de llegar a estos en el subsuelo

El elemento que se ve más afectado bajo condiciones de fuerte acidez de los suelos es el fósforo, al formar compuestos insolubles, principalmente con aluminio; y en menor escala con Fe, Mn y Zn. La atracción del fosforo por el aluminio se comprobó en maíz, porque precipito en los espacios intercelulares de las raíces.

LEON (1971) indica que es difícil concluir si el efecto tóxico del aluminio sobre el crecimiento de las plantas es directo o indirecto. Un investigador asocio los daños del aluminio intercambiable con efectos directos e indirectos en algunas funciones metabólicas, durante la división celular, observando que al incrementar el aluminio intercambiable, esta afecta a la figura mitótica, debido posiblemente a que algunos mecanismos asociados con la división celular eran muy sensibles. Este fenómeno podría considerarse como el efecto primario de la toxicidad del aluminio. Los otros efectos serían la consecuencia de esta disminución en la división celular.

FOY *et al.* (1978) menciona que los primeros síntomas de daños de aluminio intercambiable se observan en el sistema radicular. Las raíces quedan cortas, muy gruesas, poco ramificadas de color pardo y perdiendo turgidez. Las raíces principales dejan de crecer, se vuelven delgadas, sinuosas y distorsionadas. El crecimiento de las raíces laterales se inicia posteriormente para quedar truncada y las raíces quedan "abortadas" alterando la nutrición normal de las plantas.

FOY *et al.* (1978) menciona que la toxicidad en la parte aérea se manifiesta porque se forman hojas más pequeñas con entrenudos delgados y cortos. El follaje se vuelve muy oscuro y a veces se observa una coloración purpúrea en las hojas o en los tallos, lo cual indica deficiencia aparentemente de P, que es precipitado por el aluminio intercambiable. A veces se presentan

síntomas de deficiencia de Mg o Ca, ya que el aluminio impide el funcionamiento normal de estos cationes en las células.

FOY *et al.* (1978) menciona que la movilidad del aluminio intercambiable en la planta es muy lenta, y, generalmente precipita en forma compleja en las células radiculares, justamente con el P y otras veces es absorbido por macromoléculas. En el rendimiento de cebada, no se observaron efectos residuales significativos en las parcelas sin calcáreo, en tanto, el efecto residual medio en las parcelas con calcáreo fue superior en 200% al efecto residual medio de las parcelas sin calcáreo.

FOY y BROWN (1964) mencionan que aunque el aluminio es considerado como un elemento no esencial y tóxico, hace ya 90 años que se encontró que pequeñas concentraciones tienen efectos benéficos sobre las plantas, se ha visto que pequeñas concentraciones de aluminio tienen un efecto catalizador en la fotosíntesis, pero altas concentraciones floculan las proteínas de las plantas y causan pérdida de calcio y potasio de las células dañadas.

2.5.1. Absorción

WAGATSUMA *et al.* (1987) afirma que el aluminio no se encuentra disponible para la planta si el pH del medio no baja por debajo de 5, ya que a valores de pH neutros (6 a 8) es bastante insoluble. Es importante saber la especie de aluminio intercambiable que presenta la solución ya que no

solo el aluminio monomérico puede causar toxicidad, sino que parece demostrado que también pueden absorber formas poliméricas.

Los mecanismos de absorción del aluminio aún no son bien conocidos, las vías de entrada podrían ser:

- Por simple permeabilidad a través de la membrana celular en forma de compuestos neutros (HAUG, 1984).
- A través de estructuras micelares lipídicas, cuya formación es inducida por la presencia del metal en el medio, y que facilitan su entrada en forma de partículas cargadas (CULLIS *et al.*, 1979).
- Por medio de algún tipo de transportador unido a fosfolípidos propios de la membrana o algún otro agente quelante (GREEN *et al.*, 1980).

WAGATSUMA (1983) menciona que por medio de inhibidores metabólicos se ha demostrado que la absorción de aluminio a través de la raíz es un proceso que no requiere energía, pues estos inhibidores metabólicos parecen mostrar un efecto positivo sobre la captación del metal. Al disminuir la temperatura, disminuye la absorción del aluminio, pero este hecho se interpreta más como una disminución de los lugares de absorción que como consecuencia de la reducción de la actividad metabólica.

2.5.2. Translocación

WAGATSUMA (1984) indica que los mecanismos de translocación tampoco están muy claros, en algunas especies la concentración

de aluminio en la parte aérea aumenta al incrementarse la concentración a nivel radicular. Por el contrario, en otras, esta translocación parece que solo se produce cuando la concentración radicular sobrepasa un nivel umbral, lo que podría significar una saturación de los lugares de absorción del aluminio y/o la destrucción de la función de barrera que ejerce la membrana citoplasmática.

Kinzel (1982), citado por FEIZA (2001) indica que el crecimiento de transporte del aluminio en las plantas no se conoce exactamente. Pero dado que el aluminio puede formar complejos con los ácidos carboxílicos, se piensa que el aluminio podría transportarse como el hierro, en forma de citrato.

2.6. Toxicidad del aluminio

BERNIER (2000) menciona que en condiciones de acidez, iones como el aluminio intercambiable y magnesio intercambiable se encuentran en la solución del suelo. Estos elementos aunque están en bajas concentraciones son tóxicos para la mayoría de los cultivos. El término toxicidad en el caso del aluminio se refiere a varios aspectos que afectan el normal crecimiento y desarrollo de las plantas.

Estudios de ABRUÑA *et al.* (1970) en tabaco y papa, encontraron que concentraciones de aluminio en la solución del suelo superiores a una parte por millón (ppm) causan reducción en el rendimiento. Observaron que el efecto del desarrollo radical se restringe y las raíces se vuelven más gruesas, presentando puntos muertos.

Por otro lado JAKSON (1965) en investigaciones realizados encontró que concentraciones entre 0,1 y 0,2 ppm de aluminio en solución nutritiva favorecían el crecimiento de algunos cultivos del trópico.

2.7. Tolerancia

TAYLOR (1988) menciona que es importante saber cuáles son los mecanismos de tolerancia ya que aproximadamente el 40% de los terrenos cultivables presentan problemas de acidez y toxicidad por aluminio y se podría mejorar la productividad sin el gasto económico que supone el encalado del suelo.

2.8. Efecto de la acidez de los suelos

La acidez de los suelos afecta principalmente:

- La nutrición mineral de las plantas incrementando el aprovechamiento relativo de la mayoría de micronutrientes, y disminuyendo directa o indirectamente la disponibilidad de elementos mayores.
- Otras propiedades del suelo diferentes a la nutrición como son: viabilidad y actividad de microorganismos y en la CIC_E desbalanceando las proporciones de los cationes cambiabiles.

2.9. Encalados de los suelos

SANCHEZ (1980) menciona que el encalado es una práctica cultural agronómica que se realiza con el fin de neutralizar la acidez de los suelos y sus

efectos perjudiciales, proveer las condiciones químicas, físicas y biológicas adecuadas para un mejor crecimiento de las plantas. El encalado en forma aislada no es suficiente para proporcionar aumento en la producción, debe ir acompañando de la fertilización y del manejo de los suelos y aplicado correctamente para proporcionar resultados satisfactorios a corto y largo plazo.

BERNIER (2000) afirma que suelos con pH excesivamente ácidos presentan poca disponibilidad de nutrientes como fósforo, calcio, magnesio, potasio y molibdeno y aumentan la solubilización de zinc, cobre, hierro, manganeso y aluminio, que en función al manejo de suelo y fertilizantes aplicados pueden alcanzar niveles tóxicos para las plantas. La aplicación e incorporación del calcáreo deberán ser realizadas con antelación mínima de dos a tres meses, tiempo suficiente para que el correctivo a través del contacto con las partículas del suelo reaccione sobre la acidez del mismo.

KAMPATH *et al.* (1979) menciona que la disminución de la saturación de aluminio ocurre debido a la liberación de calcio de la cal que desplaza al aluminio intercambiable del complejo de cambio. Este aluminio intercambiable se hidroliza formando el precipitado $\text{Al}(\text{OH})_3$, y el hidrogeno reacciona con el CaCO_3 formando H_2CO_3 que se disocia en CO_2 y H_2O , neutralizándose así los efectos perjudiciales del aluminio, al menos mientras permanezca en esa forma.

Por otro lado COLEMAN y KAMPRATH (1958) mencionan que la práctica del encalado se utiliza básicamente para neutralizar el Al, H y Mn intercambiables y para suplir calcio y magnesio al suelo. El encalado disminuye el porcentaje de saturación con aluminio y aumenta la saturación con bases, lo que ocasiona un incremento del pH del suelo. Ha sido señalado que con pH entre 5,0 - 5,5 ya se ha neutralizado casi todo el aluminio intercambiable, y que la cal aplicada a suelos ácidos reacciona principalmente con el aluminio intercambiable y en altas dosis reduce la saturación del aluminio de la CIC efectiva a menos de 30%.

SERPA y GONZALEZ (1979) mencionan que la cubierta del intercambio catiónico varía notablemente con el encalado de la disolución de dolomita utilizado como material de enmienda lo cual resulta una liberación de calcio que paulatinamente desplaza al aluminio e hidrogeno del complejo de intercambio con el consiguiente aumento de las cargas negativas, lo que explica en parte, el aumento ocurrido en la capacidad de intercambio catiónico efectiva.

La práctica del encalado con dolomita, en la zona del Alto Huallaga, surge como una de las alternativas más efectivas para recuperar los suelos ácidos a corto plazo. Existen en la zona poca información sobre trabajos de encalados, sin embargo, investigaciones en Yurimaguas reportan que aplicaciones adecuadas de cal y fertilizantes producen cosechas continuas de maíz - arroz, soya - arroz, y que a la vez también, mejora las características del suelo.

2.10. Antecedentes de ensayos experimentales

ALVARADO (2004) menciona que cuando la especie a cultivar es poco tolerante a la acidez del suelo, sugiere que el uso de enmiendas; sea a través de la adición de cenizas o cal. La investigación llevado acabo en Tingo María por ACOSTA (1984) muestra que el uso de la dolomita aumenta el pH y disminuye el aluminio intercambiable en el suelo, por lo tanto BENITES (1984) sugiere como una de las alternativas más efectivas para recuperar los suelos ácidos a corto plazo en el Alto Huallaga.

CORREA (1986) hizo una investigación para observar el tiempo de reacción del material encalante con un suelo de la Selva en Rio Negro (Antioquia), usando niveles desde 0 hasta 60 t de cal/ha. donde encontró que los pH obtenidos a los 120 días de incubación fueron mayores que los observados a los 60 días para subir el pH inicial de 4,75 hasta 6,5 y 7,0 y afirma que se requirieron unas 60 t de cal/ha.

SERPA y GONZALEZ (1979) quienes trabajaron en cuatro suelos ácidos de Costa Rica y encontraron que al comparar los valores de pH correspondientes al tratamiento sin encalado con los obtenidos en el tratamiento donde se aplicó encalado para neutralizar teóricamente el aluminio intercambiable, se apreciaron incrementos que fluctuaban entre 0,6 y 1,1 unidades de pH.

2.11. Reacciones de neutralización

Los suelos presentan algunas semejanzas con los ácidos débiles, la principal se basa en el hecho de que una pequeña fracción de la acidez total se manifiesta como la acidez activa (pH), y la mayor parte se manifiesta como la acidez potencial (hidrogeno no disociado o cambiabile).

FASSBENDER (1987) Los suelos al igual que los ácidos débiles presentan un gran poder de tampón lo cual impide que los cambios del pH sean tan bruscos cuando aplicamos pequeñas cantidades de ácidos o bases. En este punto es necesario resaltar que los suelos difieren en las necesidades de enmiendas para provocar similares cambios en el pH. Los suelos también difieren en su poder tampón que es influenciado directamente por la capacidad de intercambio cationico, la cual a su vez depende del contenido de materia orgánica y del tipo de arcilla. Considerando los conceptos vertidos, para determinar un adecuado nivel de encalado es importante considerar la capacidad de cambio y la saturación aluminico de los suelos.

2.12. Criterios para el encalado de los suelos

ESPINOSA y MOLINA (1999) mencionan que se han desarrollado numerosos métodos para determinar el requerimiento del encalado, anteriormente el encalado de suelos de los trópicos húmedos, no producían resultados favorables y fue debido a que los suelos se encalaban para obtener pH de 7,0 que inducían a disminución de rendimientos debido a deficiencias de micronutrientes y disponibilidad reducida de fósforo.

JACKSON (1967) menciona que el criterio más utilizado en nuestro medio es el de KAMPRATH que consiste en la neutralización de la acidez cambiante representada por aluminio que utiliza ciertos factores establecidas por dicho científico, tales como 1x, 1,5x, 2x, etc., donde x, representa la cantidad de meq de aluminio por 100 gramos de suelo para desplazar al aluminio cambiante. En estos criterios se debe tener en cuenta que un meq. de CaCO_3 neutraliza a un meq. de aluminio, y que el aluminio intercambiable se precipita a un pH 5,5, por lo que no necesita ser encalados hasta pH neutros.

SOLORZANO (1976) menciona que el requerimiento de cal de un suelo ácido puede ser definido como la cantidad de carbonato de calcio (CaCO_3), necesario para obtener el óptimo rendimiento de los cultivos. Este óptimo se alcanza, según algunos investigadores, cuando se eleva el pH del suelo a valores cercanos a 6,5 - 6,8; mientras que otros investigadores, principalmente en suelos de la zona tropical e intertropical, consideran suficiente neutralizar el aluminio intercambiable hasta un nivel no tóxico para las plantas, lo cual sucede en pH alrededor de 5,5.

DE ROZO (1971) menciona que numerosos experimentos presentan evidencias de que la deficiencia de calcio y magnesio es parcialmente responsable de un pobre crecimiento de las especies vegetales en la mayoría de los suelos ácidos con concentraciones elevadas en aluminio intercambiable.

2.12.1. Efecto del encalado y sus beneficios

El encalado es el uso de correctivos aplicados al suelo para neutralizar la acidez y aumentar significativamente la producción, sus efectos están directamente relacionados con la forma de aplicación, la cantidad, oportunidad, fuente empleada, etc. Entre los efectos benéficos del encalado, podemos resumir lo siguientes puntos:

- Eleva el pH.
- Alimenta con Ca y Mg como nutrientes.
- Disminuye y elimina los efectos tóxicos de Al, Mn y Fe.
- Aumenta la actividad microbiana y la liberación de nutrientes.
- Mejora las propiedades físicas de los suelos, mejorando la aireación, circulación de agua, favoreciendo el desenvolvimiento de las raíces.
- Comprobadamente es más económico para el agricultor desenvolver la productividad de un área plantada.

2.12.2. Peligros del sobreencalado

ESPINOSA y MOLINA (1999) mencionan que finalmente, la aplicación de dosis excesivas de enmienda constituye una práctica peligrosa que puede ser nociva para la producción de los cultivos, además de encarecer innecesariamente los costos de producción del cultivo. No debe olvidarse que el objetivo básico del encalado es eliminar solo aquella acidez tóxica provocada por el aluminio activo y no pretender neutralizar toda la acidez natural.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizó en condiciones de vivero en el "AA.HH 1° de Julio" en la vivienda de la señora Guillermina Fabián Pantaleón; políticamente se encuentra ubicado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, cuyas coordenadas UTM son: 0390818E; 8971965N y una elevación de 675 m.s.n.m.

3.1.2. Condiciones climáticas del área en estudio

Cuadro 1. Datos climáticos de julio del 2009 a febrero del 2010, correspondiente al periodo experimental.

Meses	Temperatura (°C)			HR (%)	PP (mm/mes)
	Mínima	Máxima	Media		
Julio	20.20	30.25	25.23	82.60	140.00
Agosto	20.24	30.39	25.32	84.90	150.00
Setiembre	20.38	30.83	25.61	80.50	177.60
Octubre	20.83	30.98	25.91	81.90	181.80
Noviembre	20.98	29.89	25.44	85.90	406.90
Diciembre	20.87	28.81	24.84	84.70	501.92
Enero	20.58	28.13	24.36	88.21	608.42
Febrero	20.40	29.66	25.26	85.16	532.38

Fuente: Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones, Tingo María (2010).

3.1.3. Características del suelo a utilizar

Se utilizaron muestras superficiales (0 - 20 cm) de profundidad de un suelo muy ácido, con presencia *Erythroxylum coca* (coca), *Imperata* sp (macorilla), *Imperata brasiliensis* (cashaucsha) etc., plantas indicadoras del estado nutricional del suelo, en este caso es un suelo con alto contenido de aluminio intercambiable.

3.1.4. Análisis físico químico inicial del suelo en estudio.

El suelo seleccionado para la presente investigación, fue procedente del centro poblado Supte San Jorge (distrito de Rupa Rupa), el cual fue sometido previamente a un análisis físico y químico, cuyos resultados aparecen en el Cuadro 2, en general se observa que el suelo es franco, con alto contenido de aluminio intercambiable de 2,20 meq. /100 g de suelo y un porcentaje de saturación de aluminio de 52,4%. El pH del mismo se califica como "muy ácido", el contenido de materia orgánica es de 1,5%. Asimismo se puede notar que los contenidos de calcio, magnesio y potasio son bajos, siendo estos no suficientes en el suelo.

Cuadro 2. Análisis físico - químico inicial del suelo en estudio.

Textura	pH (1:1)	MO (%)	P ppm	K ₂ O kg/Ha	Cambiables								% Ac. camb	% Sat. Al
					CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CIC _E		
					me/100g									
Fo.	4,4	1,5	509	112	-	1,20	0,40	0,2	-	2,20	0,40	4,20	61,9	52,4

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo de la UNAS - Tingo María (2010).

3.2. Materiales y equipos empleados

3.2.1. Material encalante

El material encalante utilizado para este trabajo de investigación fue la dolomita con (29,4% CaO y 24,76 % MgO).

3.2.2. Materiales de campo

Los materiales de campo utilizados fueron: 120 Kilos de suelo, Wincha de 5 m, Bambú, Estacas, Malla raschel, Alambre, Martillo, Alicata, Bolsa de polietileno (6*10 pulg.).

3.2.3. Herramientas

Las herramientas empleadas fueron: Machete, Pala recta, Azadón, Carretilla.

3.2.4. Equipo de campo

Los equipos de campo que se utilizaron fueron: Cámara fotográfica digital, GPS marca Garmin Modelo 12XL, Eclímetro, Tubo muestreador de suelo, Sacabocado.

3.2.5. Equipo de laboratorio

Los equipos de laboratorio utilizados fueron: Molino, Balanza analítica, Potenciómetro.

3.3. Componentes en estudio

a. Factor A:

Dolomita (D)

b. Factor B: dosis de dolomita.

0,0 g / Kg de suelo (*Testigo*)

1,1 g / Kg. de suelo

1,7 g / Kg. de suelo

2,3 g / Kg. de suelo

2,9 g / Kg. de suelo

3,4 g / Kg. de suelo

3.4. Tratamientos en estudio

Se tuvo cinco tratamientos y un testigo con tres repeticiones, a los cuales se les aplicó diferentes dosis de dolomita para neutralizar teóricamente el aluminio intercambiable del suelo en estudio, y evaluar la acción que ejerce sobre el pH, CIC_E y la saturación de aluminio, así como también de los principales macronutrientes tales como Ca, Mg y K. Para esta investigación se utilizó el criterio de la neutralización de la acidez cambiante mediante el método de incubación representada por el aluminio intercambiable, utilizando los siguientes factores: (0x, 1x, 1,5x, 2x, 2,5x, 3x), donde x, representa la cantidad de meq de aluminio cambiante por 100 gramos de suelo necesario para desplazar el aluminio intercambiable mencionado por (KAMPRATH, 1970).

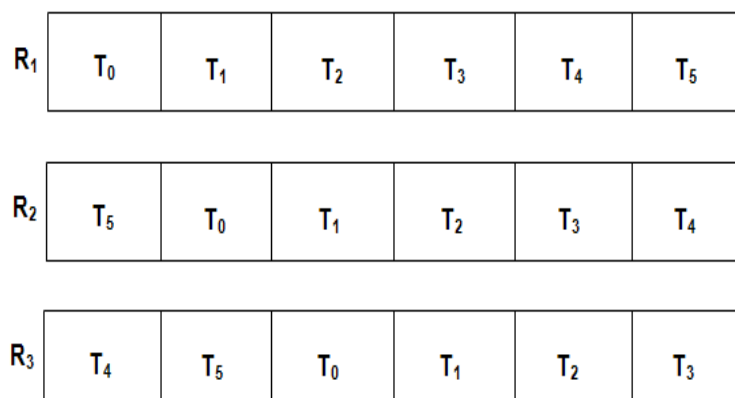
Cuadro 3. Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamiento	Descripción	Cantidad de dolomita (g/kg. de suelo)	Cantidad de dolomita (t/ha)
T ₀	Testigo absoluto	0,0 g. / Kg. de suelo.	0,0 t/ha
T ₁	Dolomita	1,1 g. / Kg. de suelo.	2,7 t/ha
T ₂	Dolomita	1,7 g. / Kg. de suelo.	4,1 t/ha
T ₃	Dolomita	2,3 g. / Kg. de suelo.	5,5 t/ha
T ₄	Dolomita	2,9 g. / Kg. de suelo.	6,8 t/ha
T ₅	Dolomita	3,4g. / Kg. de suelo.	8,2 t/ha

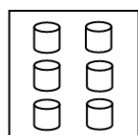
Fuente: elaboración propia (2010).

3.5. Diseño experimental

La distribución de los tratamientos estuvo sujeta al diseño, solo se realizó un análisis descriptivo de los resultados obtenidos.



Donde:



: Tratamiento de los suelos en estudio.

Figura 1. Diseño de los tratamientos establecidos en el vivero.

3.5.1. Características del campo experimental

Bloques

Número de bloques	: 3
Longitud de bloques	: 2,8 m.
Ancho de bloques	: 0,50 m.
Distancia entre bloques	: 0,40 m.
Área de cada bloque	: 1,40 m ² .

Parcelas

Número de parcelas/bloques	: 6
Número total de parcelas	: 18
Separación entre bolsas	: 10 cm.
Número de bolsas/parcela	: 6
Número de bolsas/bloque	: 36
Número total de bolsas	: 108

Dimensiones del vivero

Largo	: 3,80 m.
Ancho	: 2,20 m.
Área	: 8,36 m ²

3.6. Ejecución del experimento

Para instalar el experimento en sí, se han tenido que preparar materiales y las actividades siguientes:

3.6.1. Muestreo del suelo

- Para esta actividad, lo primero que se hizo antes de empezar a tomar las muestras, fue dibujar un croquis representativo del área a muestrear.
- Para este muestreo el equipo que se utilizó fue el tubo muestreador, lo cual permitió obtener aproximadamente el mismo volumen de suelo para cada sub muestra tomada a la misma profundidad.

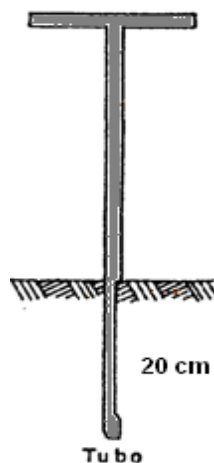


Figura 2. Equipo utilizado en la extracción de muestras.

- Se procedió a tomar las muestras del área correspondientes, esta muestra se tomo en forma de zig - zag.

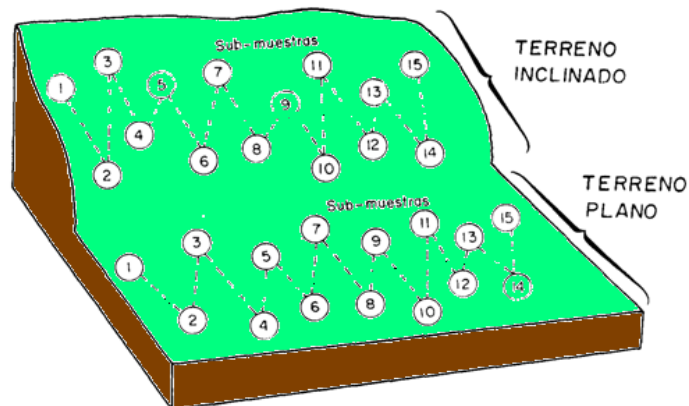


Figura 3. Forma en que se realizó la toma de muestras.

- Se obtuvieron 120 kilos de muestra, lo cual fueron depositados en costales para luego ser llevados al vivero para su respectivo proceso de secado.
- Luego el suelo seco fue llevado al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde se demolió los agregados más grandes (terrones y piedras), seguidamente se tamizó en un tamiz de 2 mm de diámetro, y se tomó una submuestra representativa para la determinación del análisis de suelo (físico - químico), y el resto del suelo fue utilizado en el experimento.

3.6.2. Aplicación del material calcáreo

En base a los resultados del análisis de suelo, se calcularon las diferentes dosis de dolomita para cada tratamiento y estas fueron a razón de; 1,1, 1,7, 2,3, 2,9 y 3,4 g/kg. de suelo.

3.6.3. Llenado de las bolsas

En esta parte se procedió al llenado de las bolsas de polietileno (6*10 pulg.), con un 1Kg de suelo; posteriormente se agregaron las diferentes dosis de dolomita en los cinco tratamientos y a sus tres respectivas repeticiones.

3.6.4. Ensayo en vivero

Una vez puesto, los suelos en las bolsas de polietileno se procedió a llevarlos a vivero, donde se dejó reposar por un periodo de 120 días manteniéndolos humedecidos a capacidad de campo.

3.6.5. Análisis del suelo

El análisis físico químico de los suelos en estudio se realizó en tres etapas; antes de realizar el experimento, a los 60 y 120 días que estuvieron en vivero.

En estas muestras se analizó y determinó las variables de acuerdo al objetivo del proyecto, como son el contenido de Al, pH, CICE, Ca, Mg, K y el porcentaje de saturación de aluminio. Además se determinó cual es

la dosis más apropiada que neutralizó total o parcialmente el aluminio intercambiable del suelo en estudio.

3.7. Metodología de análisis de laboratorio

3.7.1. pH

Para el análisis de pH se pesó 10 g de suelo y llevado a un vaso de precipitación, luego se añadió 25 ml de agua destilada y se agito por 15 minutos. Se calibró el potenciómetro con la solución buffer de 7,0 a 4,0 a temperatura ambiente.

Se limpio el electrodo de vidrio (sensible a los cambios de pH), con agua destilada, se seco y sumergió en la muestra, evitando golpearse. Luego se tomo la lectura cuando el agua del potenciómetro se estabilizo.

3.7.2. Determinación de potasio

Para el análisis de potasio se peso 2,5 g de suelo y adiciono 25 ml de ácido sulfúrico a 6N, mezclando y agitando por 15 minutos, luego se filtró con papel filtro número 40 para hacer la disolución.

De esta disolución, en un tubo de prueba, se echo 1 ml y 9 ml H₂O, de este tubo se extrajo 1 ml a otro tubo para sacar 1/10, luego se llevó al espectrofotómetro para hacer el respectivo análisis.

3.7.3. Capacidad de intercambio catiónico efectiva (pH < 5.5)

Procedimiento:

Para determinar la capacidad de intercambio catiónico se pesó 5 gramos de suelo y colocado en recipientes de agitación, luego se añadió 50 ml de cloruro de potasio KCL 1N, se agitó por 15 minutos y luego filtro.

a) Determinación de las bases cambiables Ca + Mg (método del Versenato)

Del extracto de suelo obtenido se tomó 10 ml a la vez se añadió 10 ml de solución tampón complejo pH 10 y se dejó reposar por espacio de 10 minutos.

Luego se agregó de 2 a 3 gotas de indicador ericromo negro y se tituló con EDTA 0,01N hasta el viraje de rojo vino a azul intenso y se anotó el gasto.

b) Determinación de calcio

De lo obtenido del extracto de suelo, se tomó 10 ml y se adicionó 2 ml de Hidróxido de sodio 6 N, luego se añadió una pizca de purpurado de amonio (indicador) y se tituló con EDTA 0.01 N hasta el viraje de rosado a lila y se anotó el gasto.

c) Determinación de la acidez cambiabile Al + H (Método de Yuan)

De lo obtenido del extracto de suelos, se tomo 10 ml y agrego 3 gotas de fenolftaleina luego se titulo con hidróxido de sodio 0,01 N hasta virar ha rosado pálido y se anoto el gasto.

d) Determinación de aluminio

Al mismo extracto que se utilizo para determinar la acidez cambiabile, se le agrego gotas de HCl 0,01 N para decolorar el filtrado anterior, luego se agrego 10ml de fluoruro de sodio 4%, se retitulo con HCl 0.01 N hasta que se vuelva incoloro y se anoto el gasto.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de la dolomita sobre algunas características química del suelo estudiado a los 60 y 120 días en condiciones de vivero.

En el Cuadro 4, se observa los resultados analíticos de los suelos obtenidos a los 60 y 120 días en condiciones de vivero. En general el efecto de la dolomita, actuó positivamente sobre las características químicas del suelo; ocasionando una disminución del aluminio intercambiable y de la misma manera se incrementaron el valor del pH, CIC_E, Ca y Mg; y esta tendencia se mantuvo aun con la mayor cantidad de dolomita aplicada.

Cuadro 4. Efecto de la dolomita sobre las variables químicas en estudio.

Trat.	Dosis de dolomita	pH	Al	H	Ca	Mg	K	CIC _E	Sat. Al (%)	Acid. Camb. (%)
Efecto de la dolomita a los 60 días										
T ₀	0,0 g/kg. suelo	4,4	2,2	0,4	1,2	0,4	0,2	4,2	52,4	61,9
T ₁	1,1 g/kg. suelo	4,5	2,0	0,4	1,8	0,3	0,1	4,5	44,4	53,3
T ₂	1,7 g/kg. suelo	4,6	1,8	0,3	2,5	0,3	0,1	4,9	36,7	42,9
T ₃	2,3 g/kg. suelo	4,6	1,5	0,3	2,8	0,3	0,1	4,9	30,6	36,7
T ₄	2,9 g/kg. suelo	4,8	1,2	0,3	3,2	0,3	0,1	5,0	24,0	30,0
T ₅	3,4 g/kg. suelo	4,9	1,0	0,2	3,6	0,3	0,1	5,1	19,6	23,5
Efecto de la dolomita a los 120 días										
T ₀	0,0 g/kg. suelo	4,4	2,2	0,4	1,2	0,4	0,2	4,2	52,4	61,9
T ₁	1,1 g/kg. suelo	4,7	1,7	0,3	2,6	0,3	0,1	4,9	34,7	40,8
T ₂	1,7 g/kg. suelo	4,9	0,8	0,3	3,8	0,4	0,1	5,3	15,1	20,8
T ₃	2,3 g/kg. suelo	5,0	0,5	0,2	4,5	0,9	0,1	6,1	8,2	11,5
T ₄	2,9 g/kg. suelo	5,3	0,2	0,1	5,8	1,2	0,1	7,3	2,7	4,1
T ₅	3,4 g/kg. suelo	5,5	0,1	0,1	7,2	2,0	0,1	9,4	1,1	2,1

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo de la UNAS - Tingo María (2010).

Cuadro 5. Efecto de la dolomita con respecto al aluminio intercambiable inicial, a los 60 y 120 días.

Trat.	Dosis de dolomita (g/kg de suelo)	aluminio Inicial	aluminio a los 60 días	aluminio a los 120 días
T ₀	0,0	2,2	2,2	2,2
T ₁	1,1	-	2,0	1,7
T ₂	1,7	-	1,8	0,8
T ₃	2,3	-	1,5	0,5
T ₄	2,9	-	1,2	0,2
T ₅	3,4	-	1,0	0,1

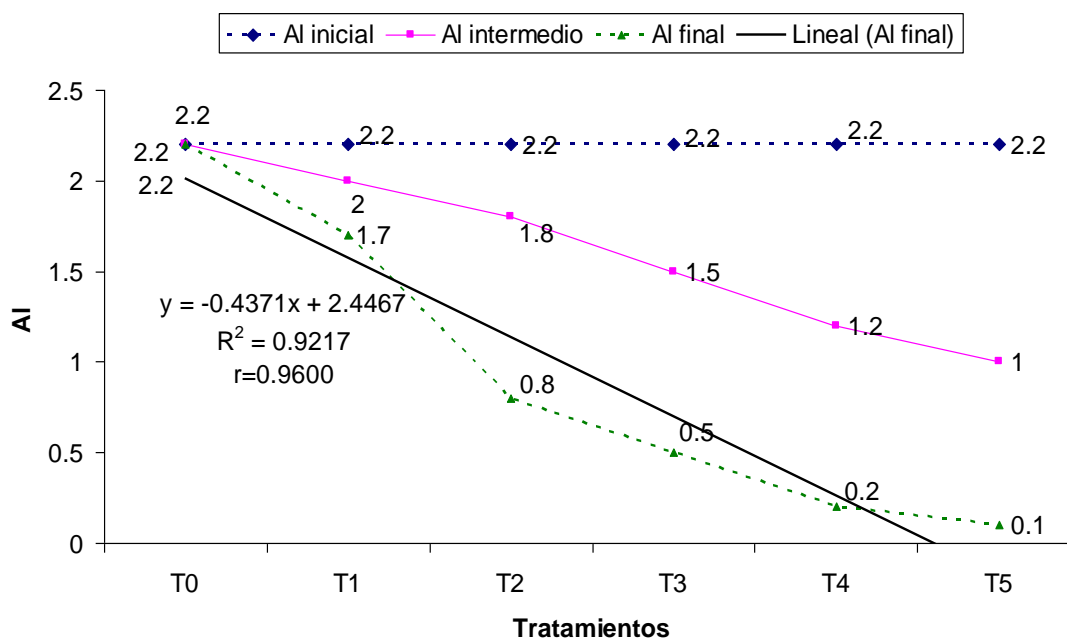


Figura 4. Variación del aluminio en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.

En el Cuadro 5 y Figura 4, se observa que las cantidades de dolomita aplicadas al suelo no fueron suficientes para neutralizar todo el aluminio

intercambiable, esto debido a que el contenido de aluminio posiblemente se encuentre formando complejos con la materia orgánica y a medida que esta se descompone, va liberando aluminio que puede pasar a una forma intercambiable; por otro lado se observa que el aluminio intercambiable tuvo una disminución apreciable de 2,2 a 0,2 y 0,1 meq. /100g con dosis de dolomita de 2,9 y 3,4 g/kg de suelo, lo cual puede considerarse como un nivel óptimo a ser alcanzado al encalar los suelos, estos resultados concuerdan con los reseñados por KAMPRATH *et al.* (1979) quienes indicaron que ocurre una disminución en el contenido de Al intercambiable a medida que se incrementan las cantidades de material encalante (cal, dolomita). Afirmando que a niveles de 0,2 y 0,1 puede considerarse neutralizado el aluminio y sería un factor a tomar en consideración al estimar las implicaciones de la práctica del encalado JAKSON (1965) encontró que concentraciones entre 0,1 y 0,2 ppm de aluminio en solución nutritiva favorecían el crecimiento de algunos cultivos del trópico por otro lado SALINAS (1981) afirma que altos niveles de aluminio en el suelo reducen el crecimiento de raíces inhibiendo su elongación y penetración en el suelo y consecuentemente, reduciendo la absorción de agua y nutrientes, así como la capacidad de las raíces de llegar a estos en el subsuelo FOY (1971) menciona aunque el aluminio es considerado como un elemento no esencial y tóxico, hace ya 90 años que se encontró que pequeñas concentraciones tienen efectos benéficos sobre las plantas, se ha visto que pequeñas concentraciones de aluminio tienen un efecto catalizador en la fotosíntesis, pero altas concentraciones floculan las proteínas de las plantas y causan pérdida de calcio y potasio de las células dañadas.

Cuadro 6. Efecto de la dolomita con respecto al pH inicial, a los 60 y 120 días.

Trat.	Dosis de dolomita (g/kg. de suelo)	pH Inicial	pH a los 60 días	pH a los 120 días
T ₀	0,0	4,4	4,4	4,4
T ₁	1,1	-	4,5	4,7
T ₂	1,7	-	4,6	4,9
T ₃	2,3	-	4,6	5,0
T ₄	2,9	-	4,8	5,3
T ₅	3,4	-	4,9	5,5

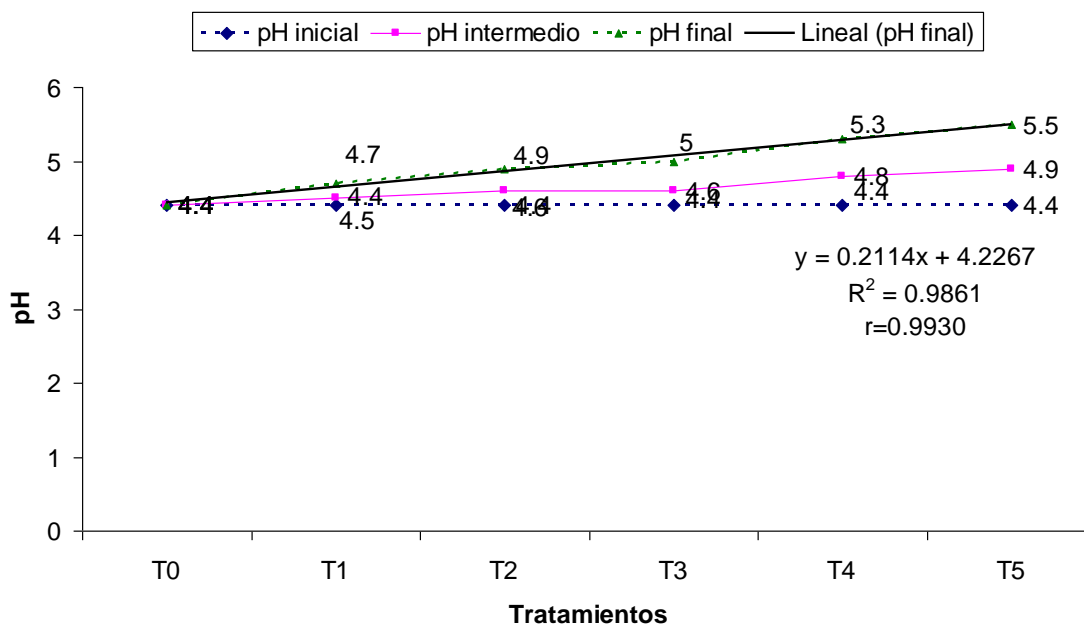


Figura 5. Variación del pH en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.

En el Cuadro 6 y Figura 5, se observa la acción que ejerce la dolomita en cuanto al pH del suelo, en cada uno de los tratamientos a los 60 y 120 días; se aprecia que al aplicar mayor cantidad de dosis de dolomita el pH del suelo

tiende a elevarse de 4,4 a 5,5, a los cuatro meses de incubación; estas con dosis crecientes de 1,1 a 3,4 g/kg de suelo, también se observa que los pH obtenidos a los 120 días de incubación fueron mayores que los observados a los 60 días. Para subir el pH inicial de 4,4 hasta 5,3 y 5,5 se requirió de 6,4 a 8,2 t de dolomita/ha. Estos resultados están en concordancia con los encontrados por SERPA y GONZALEZ (1979) quienes trabajaron en cuatro suelos ácidos de Costa Rica y encontraron que al comparar los valores de pH correspondientes al tratamiento sin encalado con los obtenidos en el tratamiento donde se aplicó encalado para neutralizar teóricamente el aluminio intercambiable, se apreciaron incrementos que fluctuaban entre 0,6 y 1,1 unidades de pH según ACOSTA (1984) el pH del suelo sube porque los iones H^+ provenientes de la hidrólisis de aluminio intercambiable reaccionan con el $CaCO_3$ originando un ácido débil que forma CO_2 y H_2O , disminuyendo el efecto directo de H^+ sobre el pH así mismo, CORREA (1986) hizo una investigación para observar el tiempo de reacción del material encalante con un suelo de la Selva en Rio Negro (Antioquia), usando niveles desde 0 hasta 60 t de cal/ha. donde encontró que los pH obtenidos a los 120 días de incubación fueron mayores que los observados a los 60 días para subir el pH inicial de 4,75 hasta 6,5 y 7,0 y afirma que se requirieron unas 60 t de cal/ha. Por otra parte los suelos con pH excesivamente ácidos, la aplicación e incorporación del material calcáreo deberán ser realizados con anticipación de dos a tres meses, tiempo suficiente para que el correctivo a través del contacto con las partículas del suelo reaccione sobre la acidez del mismo, como lo afirma (BERNIER, 2000).

Cuadro 7. Efecto de la dolomita con respecto al calcio inicial, a los 60 y 120 días.

Trat.	Dosis de dolomita (g/kg. de suelo)	calcio Inicial	calcio a los 60 días	calcio a los 120 días
T ₀	0,0	1,2	1,2	1,2
T ₁	1,1	-	1,8	2,6
T ₂	1,7	-	2,5	3,8
T ₃	2,3	-	2,8	4,5
T ₄	2,9	-	3,2	5,8
T ₅	3,4	-	3,6	7,2

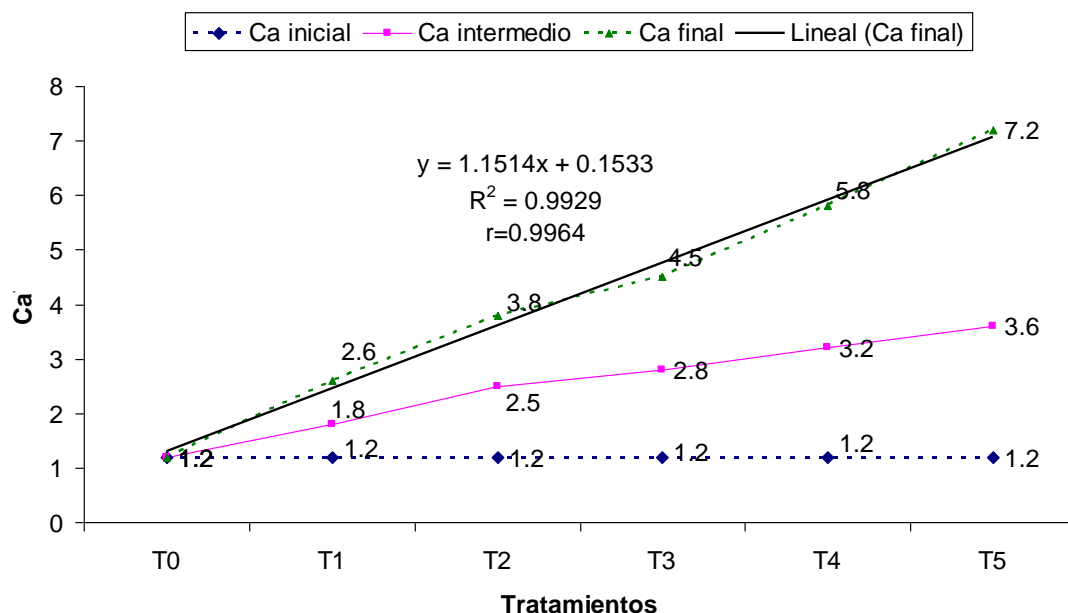


Figura 6. Variación del Ca en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.

En el Cuadro 7, se observa que la dolomita incrementa los niveles de calcio en todos los tratamientos a los 60 y 120 días, pero esta actúa en forma lenta ya que tarda en reaccionar con el suelo debido a que presenta una menor velocidad de reacción y tamaño FASSBENDER (1987) menciona que este

aumento ocurre a consecuencia del desplazamiento de cationes como el aluminio intercambiable del complejo de intercambio, por efecto de la aplicación de dolomita DE ROZO (1971) menciona que numerosos experimentos presentan evidencias de que la deficiencia de calcio y magnesio es parcialmente responsable de un pobre crecimiento de las especies vegetales en la mayoría de los suelos ácidos con concentraciones elevadas en aluminio intercambiable.

Así mismo en la Figura 6, se observa que la línea de regresión simple es ascendente con un coeficiente de determinación positivo ($R^2=0,9929$); es decir, que al aumentar en una unidad la variable de dolomita (g/kg de suelo), aumentará el contenido de Ca en 1,1514 meq. /100 de suelo, lo que indica que las variaciones en el contenido se debe a la aplicación de la dolomita. Así mismo el coeficiente de Correlación (r) positivo igual a 0,9964.

Cuadro 8. Efecto de la dolomita con respecto al magnesio inicial, a los 60 y 120 días.

Trat.	Dosis de dolomita (g/kg. de suelo)	magnesio Inicial	magnesio a los 60 días	magnesio a los 120 días
T ₀	0,0	0,4	0,4	0,4
T ₁	1,1	-	0,3	0,3
T ₂	1,7	-	0,3	0,4
T ₃	2,3	-	0,3	0,9
T ₄	2,9	-	0,3	1,2
T ₅	3,4	-	0,3	2,0

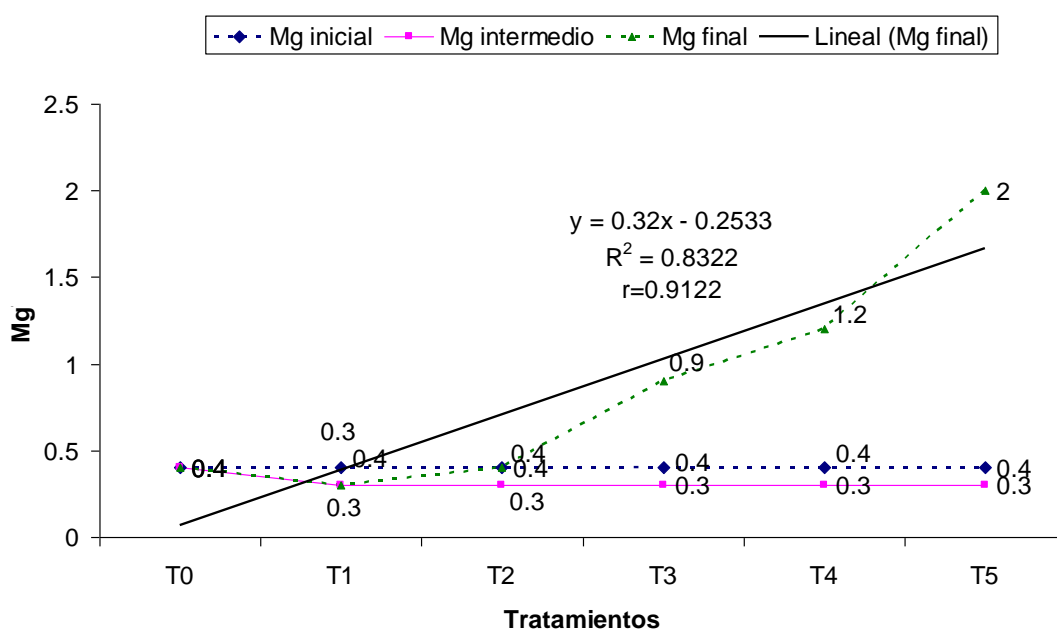


Figura 7. Variación del Mg en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.

En el Cuadro 8 y Figura 7, se observa que las dosis de dolomita a los 60 días, presentaron una influencia negativa sobre los niveles de magnesio disminuyendo de 0,4 a 0,3 meq. /100 g una posible explicación es que pueden estar formando compuestos fosfato de magnesio amónico ($\text{MgNH}_4^+ \text{H}_2\text{PO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$).

FASSBENDER (1987) menciona también que esto podría ser explicado por el desplazamiento del catión magnesio del complejo de intercambio y la posterior precipitación del mismo como hidróxido de magnesio. Por otro lado a los 120 días el comportamiento del magnesio intercambiable tendió a aumentar de 0,3 a 2 me/100 g.

Cuadro 9. Efecto de la dolomita con respecto al potasio inicial, a los 60 y 120 días.

Trat.	Dosis de dolomita (g/kg. de suelo)	potasio Inicial	potasio a los 60 días	potasio a los 120 días
T ₀	0,0	0,2	0,2	0,2
T ₁	1,1	-	0,1	0,1
T ₂	1,7	-	0,1	0,1
T ₃	2,3	-	0,1	0,1
T ₄	2,9	-	0,1	0,1
T ₅	3,4	-	0,1	0,1

En el Cuadro 9, se observa que la dolomita tiene una influencia negativa en cuanto al potasio, al incrementarse los niveles de dolomita disminuyen los niveles de potasio de 0,2 a 0,1 meq. /100 g FASSBENDER (1987) menciona que esto es debido a que la dolomita posee calcio y magnesio que compiten por lugares de cambio con el potasio, lo que disminuye su disponibilidad. Esta influencia se ve reforzada por la acción que ejerce el pH, ya que cuando baja el pH se produce una disminución de potasio extractable.

Cuadro 10. Efecto de la dolomita con respecto a la CIC_E inicial, a los 60 y 120 días.

Trat.	Dosis de dolomita (g/kg. de suelo)	CIC_E Inicial	CIC_E a los 60 días	CIC_E a los 120 días
T ₀	0,0	4,2	4,2	4,2
T ₁	1,1	-	4,5	4,9
T ₂	1,7	-	4,9	5,3
T ₃	2,3	-	4,9	6,1
T ₄	2,9	-	5,0	7,3
T ₅	3,4	-	5,1	9,4

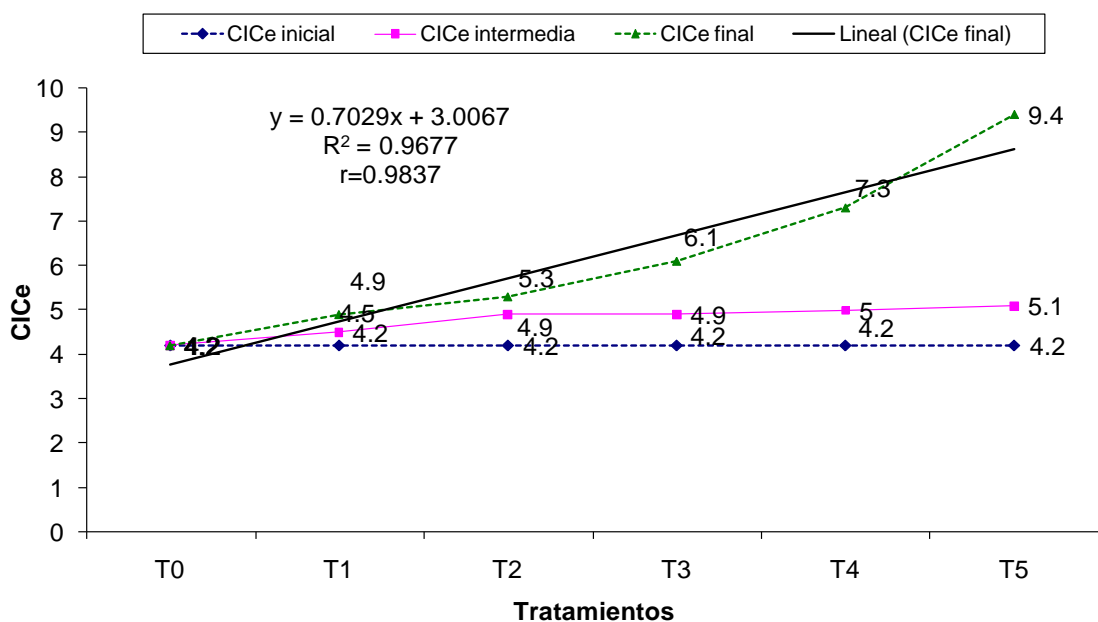


Figura 8. Variación de la CIC_E en el suelo, en relación a la dosis de dolomita.

En el Cuadro 10 y Figura 8, se observa la variación en los valores de la CIC_E a los 60 y 120 días; también se observa que el tratamiento sin aplicación de dolomita se mantiene en 4,2 meq/100 g de CIC_E . Al aplicarle dolomita para

neutralizar el aluminio intercambiable, la CIC_E a los 120 días se incrementa a valores de 4,9, 5,3, 6,1, 7,3 y 9,4 meq. /100 g respectivamente. Esto significa que la CIC_E se incrementó en forma progresiva a medida que se aumentaron las dosis de dolomita, similares resultados fueron reportados por SERPA y GONZALEZ (1979) quienes mencionan que la cubierta del intercambio catiónico varía notablemente con el encalado de la disolución de dolomita utilizado como material de enmienda resulta una liberación de calcio que paulatinamente desplaza al aluminio intercambiable e hidrogeno del complejo de intercambio con el consiguiente aumento de las cargas negativas, lo que explica en parte, el aumento ocurrido en la capacidad de intercambio catiónico efectiva SANCHEZ (1980) menciona que este incremento es explicado por la formación de cargas electronegativas dependientes del pH, al neutralizar el suelo.

Cuadro 11. Efecto de la dolomita con respecto al pH inicial, pH final, saturación de aluminio a los 60 y 120 días.

Trat.	pH Inicial	pH a los 60 días	% Sat. de aluminio a los 60 días	% Sat. de aluminio a los 120 días
T ₀	4,4	4,4	52,4	52,4
T ₁	-	4,7	44,4	34,7
T ₂	-	4,9	36,7	15,1
T ₃	-	5,0	30,6	8,2
T ₄	-	5,3	24,0	2,7
T ₅	-	5,5	19,6	1,1

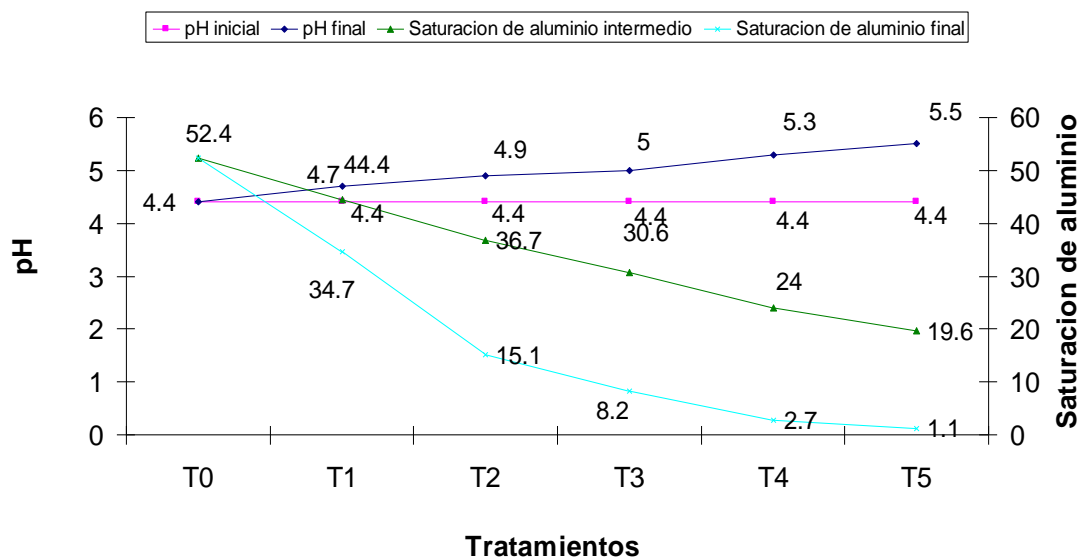


Figura 9. Variación del pH y saturación del aluminio en el suelo, en relación a las dosis de dolomita.

En el Cuadro 11 y Figura 9, se observan las variaciones del pH y el porcentaje de saturación de aluminio a los 60 y 120 días, COLEMAN, N. T., KAMPRATH (1958) mencionan que el encalado disminuye el porcentaje de saturación de aluminio y aumenta la saturación con bases, lo que ocasiona un incremento del pH del suelo. Ha sido señalado que con pH entre 5,0 y 5,5, ya se ha neutralizado casi todo el aluminio intercambiable y que la cal aplicada a suelos ácidos reacciona principalmente con el aluminio intercambiable y en altos dosis reduce la saturación del aluminio de la CIC_E a menos de 30% KAMPRATH *et al.* (1979) mencionan que la disminución de la saturación de aluminio ocurre debido a la liberación de calcio de la cal que desplaza al aluminio intercambiable del complejo de cambio. Este aluminio se hidroliza formando el precipitado $Al(OH)_3$, y el H reacciona con el $CaCO_3$ formando H_2CO_3 que se disocia en CO_2 y H_2O , neutralizándose así los efectos perjudiciales del aluminio, al menos mientras permanezca en esa forma.

V. CONCLUSIÓN

1. La dosis correspondiente a 2,9 y 3,4 redujeron fuertemente la concentración de aluminio a valores de 0,2 y 0,1 meq. /100 g respectivamente.
2. Los valores de pH se incrementaron de 4,4 a 5,5 a medida que se aumentaron las cantidades de dolomita, de igual manera el calcio de (1,2 a 7,2 meq. /100 g), magnesio de (0,4 a 2,0 meq. /100 g), CIC_E de (4,2 a 9,4 meq. /100 g) y al mismo tiempo se disminuyó la saturación de aluminio de (52,4 a 1,1 %), en cada uno de los tratamientos estudiados.
3. La disminución del porcentaje de saturación de aluminio del suelo alcanzada en el presente trabajo bajo las dosis de 1,7, 2,3, 2,9 y 3,9 g/kg de suelo se mostró de manera marcada (desde 52,4% hasta 1,1%).
4. De las cantidades de dolomita aplicada, la dosis de 3,4 g de dolomita/kg de suelo fue mas efectiva en neutralizar el aluminio intercambiable a valores de 0,1 meq /100 g.

VI. RECOMENDACIÓN

1. Emplear 4, 5 y 6 t/ha de dolomita, para la corrección de la acidez de los suelos.
2. Seguir realizando trabajos de investigación que determinen el efecto residual de las aplicaciones de dolomita como correctores o mejoradores del pH en suelos ácidos. Así mismo, con la utilización de suelos con menores cantidades de acidez.
3. Realizar trabajos en campo definitivo utilizando cultivos indicadores con niveles de dolomita de 4, 5 y 6 toneladas por hectárea.
4. Tener en cuenta al momento de encalar los suelos con dolomita; estos deberán ser realizadas con anticipación entre 60 a 120 días.

ABSTRACT

In order to determine and to know what amount increasing doses of dolomita, they will be sufficient to neutralize interchangeable aluminum of a very acid ground and to evaluate the action that eg: exerts on some chemical characteristics of the ground the pH, effective cationico exchange capacity (CIC_E), and the percentage of aluminum saturation, as well as of macronutrients Ca, mg and K, was realised a test in stage of breeding ground in the Slums 1° of Julio in the house of Mrs. Guillermina Fabian Pantaleón, located in the province of Leoncio Prado Tingo Maria, on a with high interchangeable aluminum content and low content of Ca and mg. The ground selected for the present study was coming from the Center Populated with Supte San Jorge located to 40 minutes of the city of Tingo Maria. Whose characteristics were that they presented/displayed culture of *Erythroxylum cocaine* (cocaine), *Pteridium sp* (macorilla), *Imperata brasiliensis* (cashaucsha) etc., and contained interchangeable aluminum stop these were sampled to a depth of (0 - 20 cm).

The grounds were incubated by a period of four months to field capacity, with increasing doses of dolomita in amounts equivalent to 1,1, 1,7, 2,3, 2,9 and 3,4 g/kg of ground, sufficient theoretically to neutralize interchangeable aluminum of the ground. The grounds were analyzed at the beginning, both months and at the end of the study (4 months). When finalizing

the period of incubation (four months), the variables in study were moderate as they are a, aluminum pH, CICE, saturation, as well as of the macronutrients such as Ca, Mg and K. For this work of investigation only use a descriptive analytical design of the obtained results.

The application of dose of 2,9 and 3,4 grams of dolomita by kilogram of ground, as much caused a progressive increase in the pH as in the content of calcium, magnesium, potassium and CICE; in addition it caused a substantial diminution in the interchangeable aluminum content (until 0,1 levels of meq/100 g), considering east neutralized level the aluminum and as far as the percentage of aluminum saturation this it lowered until levels of 2,7 and 1,1% level and means adapted for any type of culture that is wanted to install.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALAM, S., ADAMS, W. 1979. Effects of aluminium on nutrient composition and yield of oat. *Journal of Plant Nutrition*. 1: 365 - 375 p.

- ALVARADO, A. L., FALLAS, J. 2004. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona Grandis* I.F.) en suelos ácidos de Costa Rica. [En línea]: ACCESSMYLIBRARY, [\(<http://www.accessmylibrary.com/.../summary02865063246ITM>\), 20 Jun. 2009\).](http://www.accessmylibrary.com/.../summary02865063246ITM)

- ARCE, B., *et al.* 2001. Árboles melíferos nativos de Mesoamérica. Heredia, C.R. Herbario Juvenal Valerio Rodríguez. 208 p.

- BERNIER, R. 2000. Acidez de suelo curso de capacitación para operadores del programa de recuperación de suelos degradados, INDAP, Decima Región, Serie Actas N° 2. Instituto de investigaciones Agropecuarias: 47 - 55 p.

- BRAGACHINI, M., *et al.* 2002. Siembra de maíz, eficiencia de plantación y su efecto sobre la producción de grano. Visita Febrero del 2007.

- BUCKMAN, H., BRADY, J. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Unión Tipográfica. Edit. Hispano - Americana. México, 386 - 387 p.

- COLEMAN, N.T., THOMAS, G.W. 1967. The basic chemistry of soil acidity. Agron. Monogr. 12: 1 - 41.

- COLEMAN, N.T., KAMPRATH, E.J., WEED, S. B. 1958. Liming. Advances in Agronomy (G. B.) 10:475 - 522.

- CULLIS, P., KRUIFT, B. 1979. Lipid polymorphism and functional role of lipids in biological membranes. Bioch. Biophys. Acta. 559; 339 - 420 p.

- DE ROZO, E. 1971. Encalamiento en suelos de zonas cálidas y húmedas de Colombia. In: Acidez y encalamiento en el trópico. S. C. C. S. 3(1):190 -205.

- ESPINOZA, J., MOLINA, E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Primera edición. Instituto de la potasa y el fosforo. INPOFOS. Quito, Ecuador. 42 p.

- FAO. 1991. Árboles útiles de la Amazonía Peruana. Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. ICRAF - Perú, 50 p.

- FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA, 422 p.

- FOY, C., CHANEL, R., WRITE, M. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. Annual Review Plant Physiology, Bethesda, v.29: 511 - 566 p.

- FOY, C.D., BROWN, J.C. 1964. Toxic factors in acid soils: 2. Differential aluminum tolerance of plant species. Soil Science Society of American Proceedings (EE.UU.) 28(1):2732.

- HAUG, A. 1984. Molecular aspects of aluminium toxicity; CRC Critical reviews in plant science. 1(4): 345 - 373.

- HAVLIN, J., BEATON, J., TISDALE, L., NELSON, L., 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction nutrient management. 6ta edicion. 499 p.
- JACKSON, W.A. 1967. Physiological effects of soil acidity in soil acidity end agronomy, 12 (r. w. Pearson F. Adams, Eds). Madison Amer. Soc. Agro, 43 - 124 p.
- KRAMPRATH, E. 1970. Exchangeable Al as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34:252-254.
- KAMPRATH, E.J. 1967. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. International Soil Testing. Bol. Téc. No. 4.
- LEON, A. 1971. Neutralización de la acidez del suelo. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. 3(1): 11-17.
- MCLEAN, E.O. 1965. Aluminum In: methods of soil analysis. Part 2, chemical and microbiological properties. Agro. Madiso. p: 978 - 998.
- MOJICA, S.F. 1981. Fertilidad de suelo; Diagnostico y control. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, p. 234.

- MUSILLI, O., y IGUE, K. 1976. Manual Agropecuario para o parana. Londrina IAPAR, pp. 114 - 151.
- PARSONS, M.D. 2001. Maíz. Manuales para educación agropecuaria. 2^{da} Edic. Edit. Trillas. México.
- POSCHENRIEDER, CH., BARCELÓ, J. 1985. La muerte de los bosques. Circular Farmac. 286; 71 - 80 p.
- QUIROS, S., GONZALEZ, M. 1979. Neutralización del aluminio intercambiable y aprovechamiento del fósforo en tres suelos de Costa Rica. Agronomía Costarricense (C. R.) 3(2):137149.
- RUIZ, V.A. 1992. Evaluación del bioestimulante Agrispon y fertilización nitrogenada en dos variedades de arroz Oriza sativa en Tingo Maria., tesis ing. Agr. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria, Perú. 117 p.
- RIBEIRO, A., GUIMARAES, G., ALVAREZ, H. 1999. Recomendado para o uso de corretivos e fertilizantes en Minas Gerais. Vicosá, MG, CFSEMG/UFV, 1999. 359 p.
- SADZAWKA, R.A., y CAMPILLO, R. 1999. Acidificación de los suelos y los procesos involucrados: 93 - 103 p.

- SOLORZANO, P. 1976. Importancia de la neutralización del aluminio intercambiable del suelo como guía para la selección de las dosis de caliza a aplicar en suelos ácidos. Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo (4., 1976, Maturín, Ven.). Maturín, Ven., Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. 15 p.

- VILLACORTA, H. 1973. Suelos Tropicales, La Molina UNAM.

- WAGATSUMA, T. 1983. Effect of non metabolic conditions on the uptake of Al by plant roots. Soil Sci. Plant Nutri. 29(3): 323 - 330.

- WAGATSUMA, T. 1984. Characteristic of upward translocation of aluminum in plants. Soil Sci. Plant Nutr. 30(3): 345 - 348.

- WAGATSUMA, T., KANEKO, K. 1987. High toxicity of hydroxi-aluminium polymer ions to plant roots. Soil Sci. Plant Nutrition. 33,57 - 67 p.

- ZAVALETA, G.A. 1992. "Edafología en relación con la producción". 1era Edición - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONCYTEC. Editorial A & B. Ediciones e impresoras - Lima Perú.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis físico - químico:

Cuadro 13. Análisis físico - químico inicial del suelo a utilizar.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo Maria

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

Av. Universitaria s/n Telef. (064) 562342 Anexo 283 Fax (064) 561156 Apto. 156



ANALISIS DE SUELOS

Distrito : Rupa Rupa

Prov.: Leoncio Prado

Dep.: Huánuco

Procedencia: Supte San Jorge.

Solicitante: "Tesista" Julio Cesar Castro Fabián.

Número de Muestra		ANALISIS MECANICO				pH	CO ₃ Ca	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES meq/100 g									
Laborat.	Campo	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura	1:1	%	%	%	ppm	kg/ha	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CIC _E	%	%
																				Ac.Camb	Sat. Al
M1-2010	M1	47,0	33,0	19,0	Fo.	4,4	-	1,5	0,09	5,09	112	-	1,20	0,40	0,20	-	2,20	0,40	4,20	61,9	52,4

Cuadro 14. Análisis físico - químico del suelo a los 60 días.

Número de Muestra		ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES me/100 g							%	%
Laborat.	Campo	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						1:1	%	%	Ppm	kg/ha	Ca	Mg		
M1-2010	M1	44	30	26	Fo	4,5	1,5	0,09	5,73	125	1,8	0,3	0,1		2,0	0,4	4,5	53,3	44,4
M2-2010	M2	46	34	20	Fo	4,6	1,5	0,10	6,46	169	2,5	0,3	0,1		1,8	0,3	4,9	42,9	36,7
M3-2010	M3	46	34	20	Fo	4,6	1,6	0,13	8,27	175	2,8	0,3	0,1		1,5	0,3	4,9	36,7	30,6
M4-2010	M4	48	26	26	Fo	4,8	1,6	0,12	6,71	198	3,2	0,3	0,1		1,2	0,3	5,0	30,0	24,0
M5-2010	M5	48	34	18	Fo	4,9	1,8	0,15	7,47	246	3,6	0,3	0,1		1,0	0,2	5,1	23,5	19,6

Cuadro 15. Análisis físico - químico del suelo a los 120 días.

Número de Muestra		ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES me/100 g							%	%
Laborat.	Campo	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						1:1	%	%	ppm	kg/ha	Ca	Mg		
M1-2010	M1	46	34	20	Fo	4,7	1,6	0,09	5,73	129	2,6	0,3	0,1		1,7	0,3	4,9	40,8	34,7
M2-2010	M2	42	40	18	Fo	4,9	1,7	0,11	6,52	190	3,8	0,4	0,1		0,8	0,3	5,3	20,8	15,1
M3-2010	M3	48	40	12	Fo	5,0	2,1	0,15	9,21	185	4,5	0,9	0,1		0,5	0,2	6,1	11,5	8,2
M4-2010	M4	48	26	26	Fo	5,3	2,0	0,11	6,72	190	5,8	1,2	0,1		0,2	0,1	7,3	4,1	2,7
M5-2010	M5	46	34	20	Fo	5,5	2,1	2,0	9,48	250	7,2	2,0	0,1		0,1	0,1	9,4	2,1	1,1

Anexo 2. Cálculo de aplicación de dolomita

Factor = 0x = 0	1 meq. Ca _____	1 meq. Al
1x = 2.6	Si = Al + H = 2,20 + 0,40	
1,5x = 3.9	= 2,60 meq (Al +H/100g. suelo)	
2x = 5.2		
2,5x = 6.5	Peso capa arable = 100*100*1.2*0.2 = 2400	
3x = 7.8		

Factor = 1x = 1(2,6) = 2,6 meq (Al +H/100g. suelo)

1 meqCaCO ₃ _____	50 mg	
2,60 meq _____	x	
x = 130mg CaCO ₃ /100g. suelo		

Cálculo de cantidad de enmienda

130 kg CaCO ₃ _____	100 t. suelo	
x _____	2400 t. suelo	
x = 3120 kg CaCO ₃ / ha.		

3120 kg CaCO ₃ / ha. _____	114%	
x _____	100 %	
x = 2736.8 kg CaCO ₃ / ha. (2,7 t. CaCO ₃ / ha.)		

2736.8 kg CaCO ₃ _____	2400000 kg suelo	
x _____	1 kg.	
x = 0.00114 kg CaCO ₃ x 1000 g		
x = 1,14 g CaCO ₃ / kg. Suelo		

Factor = 1,5x

1 meq. Ca ————— 1 meq. Al

$$Si = Al + H = 2,20 + 0,40$$

$$= 2,60 \text{ meq (Al +H/100g. suelo)}$$

$$\text{Peso capa arable} = 100 \cdot 100 \cdot 1,2 \cdot 0,2 = 2400$$

Factor = 1,5x = 1,5 (2,6) = 3,9 meq (Al +H/100g. suelo)

1 meqCaCO₃ ————— 50 mg

3,90 meq ————— x

$$x = 195 \text{ mg CaCO}_3 / 100 \text{ g. suelo}$$

Calculo de cantidad de enmienda

195 kg CaCO₃ ————— 100 t. suelo

x ————— 2400 t. suelo

$$x = 4680 \text{ kg CaCO}_3 / \text{ ha.}$$

4680 kg CaCO₃/ ha. ————— 114%

x ————— 100 %

$$x = 4105,3 \text{ kg CaCO}_3 / \text{ ha. (4,1 t. CaCO}_3 / \text{ ha.)}$$

4105,3 kg CaCO₃ ————— 2400000 kg suelo

x ————— 1 kg.

$$x = 0,0017 \text{ kg CaCO}_3 \times 1000 \text{ g}$$

$$x = 1,7 \text{ g CaCO}_3 / \text{ kg. Suelo}$$

Factor = 2x

1meq. Ca ————— 1meq. Al

$$Si = Al + H = 2,20 + 0,40$$

$$= 2,60 \text{ meq (Al +H/100g. suelo)}$$

$$\text{Peso capa arable} = 100 \cdot 100 \cdot 1,2 \cdot 0,2 = 2400$$

Factor = 2x = 2 (2,6) = 5,2 meq (Al +H/100g. suelo)

1 meqCaCO₃ ————— 50 mg

5,2 meq ————— x

$$x = 260 \text{ mg CaCO}_3/100\text{g. suelo}$$

Calculo de cantidad de enmienda

260 kg CaCO₃ ————— 100 t. suelo

x ————— 2400 t. suelo

$$x = 6240 \text{ kg CaCO}_3/ \text{ha.}$$

6240 kg CaCO₃/ ha. ————— 114%

x ————— 100 %

$$x = 5473,7 \text{ kg CaCO}_3/ \text{ha. (5,5 t. CaCO}_3/ \text{ha.)}$$

5473,7 kg CaCO₃ ————— 2400000 kg suelo

x ————— 1 kg.

$$x = 0,00228 \text{ kg CaCO}_3 \times 1000 \text{ g}$$

$$x = 2,3 \text{ g CaCO}_3/ \text{kg. suelo}$$

$$\text{Factor} = 2,5x$$

$$1 \text{ meq. Ca} \text{ ————— } 1 \text{ meq. Al}$$

$$\text{Si} = \text{Al} + \text{H} = 2,20 + 0,40$$

$$= 2,60 \text{ meq (Al + H/100g. suelo)}$$

$$\text{Peso capa arable} = 100 * 100 * 1,2 * 0,2 = 2400$$

$$\text{Factor} = 2,5x = 2,5 (2,6) = 6,5 \text{ meq (Al + H/100g. suelo)}$$

$$1 \text{ meq CaCO}_3 \text{ ————— } 50 \text{ mg}$$

$$6,5 \text{ meq} \text{ ————— } x$$

$$x = 325 \text{ mg CaCO}_3 / 100 \text{ g. suelo}$$

Calculo de cantidad de enmienda

$$325 \text{ kg CaCO}_3 \text{ ————— } 100 \text{ t. suelo}$$

$$x \text{ ————— } 2400 \text{ t.}$$

$$x = 7800 \text{ kg CaCO}_3 / \text{ha.}$$

$$7800 \text{ kg CaCO}_3 / \text{ha.} \text{ ————— } 114\%$$

$$x \text{ ————— } 100\%$$

$$x = 6842,1 \text{ kg CaCO}_3 / \text{ha. (6,4 t. CaCO}_3 / \text{ha.)}$$

$$6842,1 \text{ kg CaCO}_3 \text{ ————— } 2400000 \text{ kg suelo}$$

$$x \text{ ————— } 1 \text{ kg.}$$

$$x = 0,00285 \text{ kg CaCO}_3 \times 1000 \text{ g}$$

$$x = 2,9 \text{ g CaCO}_3 / \text{kg. suelo}$$

Factor = 3x

1meq. Ca ————— 1meq. Al

$$Si = Al + H = 2,20 + 0,40$$

$$= 2,60 \text{ meq (Al +H/100g. suelo)}$$

$$\text{Peso capa arable} = 100 \cdot 100 \cdot 1,2 \cdot 0,2 = 2400$$

Factor = 3x = 3 (2,6) = 7,8 meq (Al +H/100g. suelo)

1 meqCaCO₃ ————— 50 mg

7,8 meq ————— x

$$x = 390 \text{ mg CaCO}_3/100\text{g. suelo}$$

Calculo de cantidad de enmienda

390 kg CaCO₃ ————— 100 t. suelo

x ————— 2400 t. suelo

$$x = 9360 \text{ kg CaCO}_3/ \text{ha.}$$

9360 kg CaCO₃/ ha. ————— 114%

x ————— 100 %

$$x = 8210,5 \text{ kg CaCO}_3/ \text{ha. (8,2 t. CaCO}_3/ \text{ha.)}$$

8210,5 kg CaCO₃ ————— 2400000 kg suelo

x ————— 1 kg.

$$x = 0,00342 \text{ kg CaCO}_3 \times 1000 \text{ g}$$

$$x = 3,4 \text{ g CaCO}_3/ \text{kg. Suelo}$$

Anexo 3: Métodos de los análisis físicos y químicos.

ANÁLISIS FÍSICO		
Análisis	Expresiones	Método
Textura	%	Hidrómetro de Bouyoucos

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la UNAS (2010).

ANÁLISIS QUÍMICO				
ANÁLISIS	DESCRIPCIÓN Y/O NIVELES	CONTENIDO	EXPRESIONES	MÉTODO
Materia orgánica	Bajo o pobre	menos de 2	%	Walkley y Black
	Medio	2 - 4		
	Alto o rico	mayor de 4		
Fosforo disponible	Muy bajo	menos de 5	ppm	Olsen modificado
	Bajo	5,1 - 15		
	Normal	15,1 - 30		
	Alto	30,1 - 40		
Potasio disponible	Muy bajo	menos de 300	Kg/Ha	Acido sulfúrico 6N
	Bajo	300 - 600		
	Normal	mas de 600		
CIC _E (pH < 5.5)	Bajo	menor de 4	meq/100g de suelo	Bases cambiables y Acidez cambiabile
	Medio	4 - 30		
	Alto	mayor de 30		
CIC. total (pH > 5.5)	Bajo	menos de 12	meq/100g de suelo	Acetato
	Medio	12 - 20		
	Alto	mayor de 20		
Reacción química	Extremadamente acido		pH	Potenciómetro
	Muy Fuertemente acido			
	Moderadamente acido			
	Ligeramente acido			
	Neutro			
	Ligeramente alcalino			
	Medianamente alcalino			
	Muy Fuertemente alcalino			
	Extremadamente alcalino			

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la UNAS (2008).

Anexo 4: panel fotográfico



Figura 10. Vista panorámica del suelo utilizado en el experimento



Figura 11. Vista panorámica del suelo con presencia de coca



Figura 12. Muestra del suelo



Figura 13. Material encalante "dolomita" usado en el experimento



Figura 14. Molino para triturar terrones grandes del suelo



Figura 15. Tamizado del suelo



Figura 16. Determinación del pH del suelo



Figura 17. Determinación del aluminio intercambiable

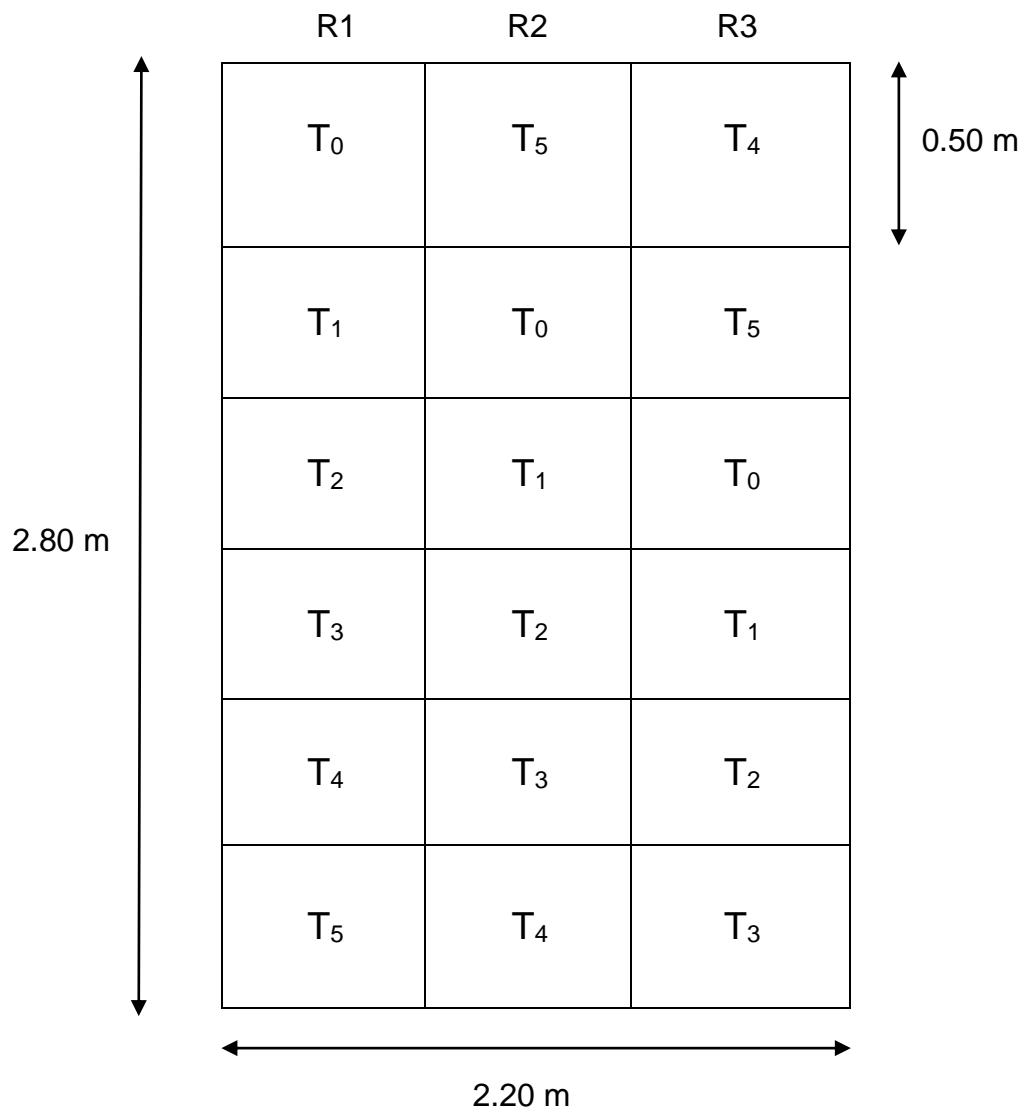


Figura 18. Suelo en proceso de incubación

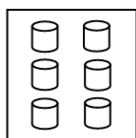


Figura 19. Supervisión al término del experimento

Figura 20. Croquis del campo experimental y la distribución de tratamientos.

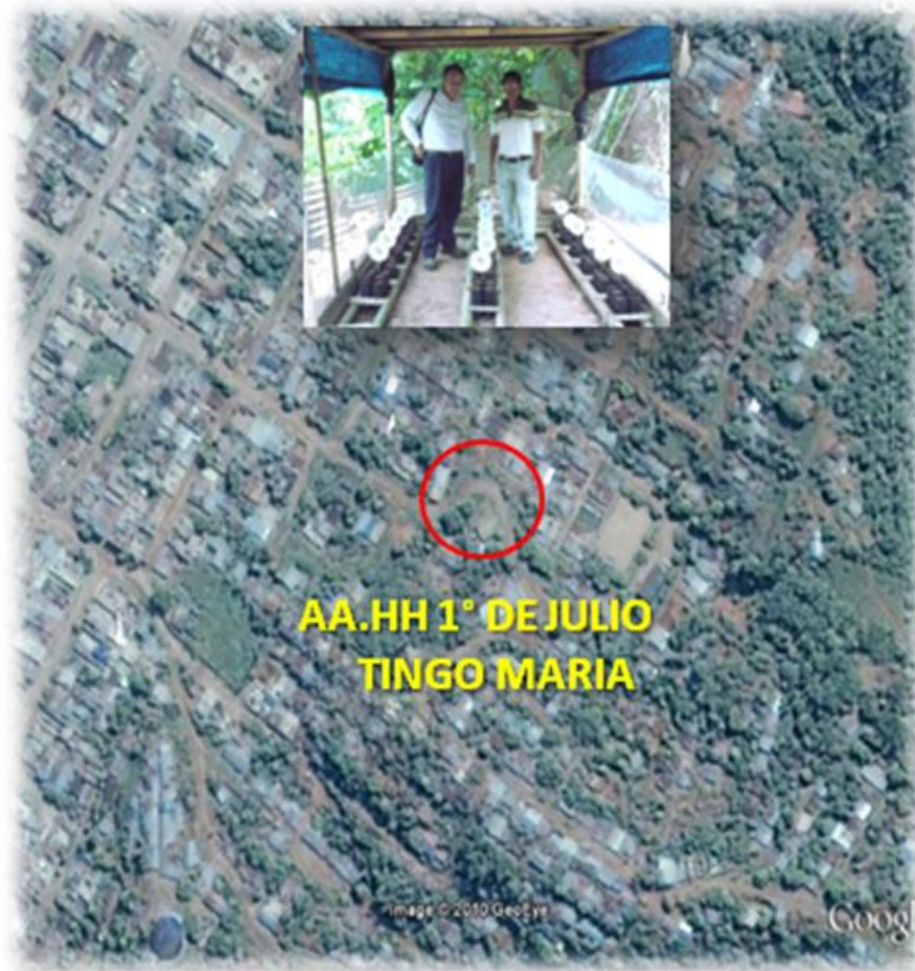


Donde:



: Tratamiento de los suelos en estudio.

Figura 21. Lugar de ejecución del trabajo de investigación



LOCALIZACIÓN

