

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA



**EFFECTO DE LA DOLOMITA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS
DEL SUELO, EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma Cacao L.*) BAJO
CONDICIONES DE ACIDEZ, EN RICARDO PALMA - NARANJILLO**

TESIS

Para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES – MENCIÓN
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

VIVIANA RUIZ PINEDO

PROMOCIÓN 2009 - II

“Unas cuna de profesionales con éxito”

Tingo María – Perú

2011



F04

R94

Ruiz Pinedo, Viviana

Efecto de la Dolomita en las Propiedades Físicas y Químicas del Suelo, en el Cultivo de Cacao (*Theobroma Cacao* L.) Bajo Condiciones de Acidez, en Ricardo Palma-Naranjillo. Tingo María, 2011

66 h.; 29 cuadros; 22 fgrs.; 34 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Conservación de Suelos y Agua) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

1. THEOBROMA CACAO L. 2. ACIDEZ-SUELO 3. PROPIEDADES FISICAS - SUELO
4. CRECIMIENTO 5. DOLOMITA 6. CULTIVO - CACAO 7. PERU.

DEDICATORIA

A mi padre celestial por su misericordia y bendiciones que me acompañó en todas las etapas de mi vida que gracias a su voluntad pude culminar mi carrera profesional con un propósito y diseño que papá Dios tiene para mí. Gracias a Dios, Jesucristo, y el Espíritu Santo por su presencia hoy y siempre.

A mis amados padres Julio Abel y Miriam por su apoyo y amor incondicional; que gracias a sus enseñanzas guiadas en el amor y temor a Dios pude salir adelante y cumplir un propósito más en mi vida.

A mis hermanos y familiares más cercanos Rocio, Nadia, Sergio, Livia, Maura, Elionor, Nestor Hugo, Rosario, Katty y Eldiberia por su cariño y apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Esta tesis ha requerido de esfuerzo y dedicación y no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todos aquellos que a continuación citare.

- A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a los profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyeron en mi formación profesional.
- Al Ing. Hugo Alfredo Huamani Yupanqui, Ing. Wilfredo Alva Valdiviezo asesores del presente trabajo, por su valiosa colaboración, paciencia, apoyo brindado y sobre todo por esa gran atención que me brindaron.
- A los miembros del jurado de tesis, Ing. Jaime Torres García, Ing. Roberto Obregon Peña e Ing. Nelino Florida Rofner por brindarme su apoyo, y colaboración.
- A la familia Anastacio Rios por su apoyo y cariño incondicional en todo momento.
- A la familia Lama Ysminio por brindarme su apoyo en esta investigación.
- A Mis amigos; Geraldine Huamancayo I., Carolina Silva A., Gabriela Alarcon P., Brendy Chanta D., Jenny León S., Fiorella Guere S., Nelly Aranda V., Hubert Rodrigues A. Por ayudarme y compartir gratos recuerdos de amistad y por estar siempre conmigo apoyándome durante este periodo académico.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Acidificación del suelo.....	3
2.2. El aluminio en las plantas	3
2.3. Encalado.....	4
2.3.1. Efectos del encalado en el suelo.....	5
2.4. Propiedades físicas del suelo encalado.....	6
2.4.1. Textura del suelo.....	6
2.4.2. Estructura del suelo	7
2.4.2.1. Agregados del suelo.....	7
2.4.4. Densidad aparente	8
2.4.5. Porosidad del suelo.....	8
2.5. Propiedades químicas del suelo	10
2.5.1. pH del suelo	10
2.5.1.1. Acidez cambiante del suelo.....	11
2.5.2. Materia orgánica del suelo	12
2.5.3. Nitrógeno del suelo	14
2.5.4. Fósforo del suelo.....	15
2.5.5. Potasio del suelo.....	17
2.5.6. Calcio y magnesio del suelo.....	18
2.5.7. Capacidad de intercambio catiónico CIC.....	18
2.6. Origen, características e Importancia del cultivo del cacao en el Perú	20

2.6.1. Taxonomía	21
2.6.2. Condiciones ambientales requerimientos agroclimáticos.	22
2.6.2.1. Suelo	22
2.6.2.1. Clima	22
2.6.2.1. Temperatura	22
2.7. Antecedentes de ensayos experimentales	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Lugar y fecha de ejecución	24
3.1.1. Ubicación Política.....	24
3.2. Características agroecológicas de la zona.....	24
3.2.1. Clima.....	24
3.2.2. Suelo	25
3.3. Materiales y equipos	25
3.3.1. Materiales y equipos de campo.....	25
3.3.2. Materiales y equipos de laboratorio.....	26
3.4. Componentes de estudio	26
3.4.1. Material vegetativo	26
3.4.2. Producto	26
3.5. Tratamiento en estudio	26
3.6. Historia de campo	27
3.7. Características del campo experimental	27
3.7.1. Dimensiones del campo experimental.....	27
3.7.2. Características de cada bloque.....	28
3.7.3. Características de cada parcela	28
3.8. Diseño experimental.....	28
3.9. Tratamiento en estudio	29

3.10. Modelo aditivo lineal	29
3.11. Ejecución del experimento	30
3.11.1. Fase de campo	30
3.11.1.1. Demarcación del terreno	30
3.11.1.2. Muestreo inicial del suelo	30
3.11.1.3. Medición inicial	30
3.11.1.4. Incorporación de la dolomita.....	31
1. Deshierbo	31
2. Registro de altura de las plantas de cacao.....	31
3. Registro de número de hojas de plantas de cacao	31
4. Muestreo final de suelos para el análisis físico y químico.....	31
3.12.2. Fase de laboratorio y métodos empleados	32
3.12.2.1. Textura	32
3.12.2.2. Densidad aparente	32
3.12.2.3. Porcentaje de la porosidad total	33
3.12.2.4. Análisis de agregados por el método seco.....	33
3.12.2.4. Análisis de agregados por el método mojado..	34
3.12.3. Fase de gabinete	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. Análisis de la textura del suelo.....	36
4.2. Evaluación de la densidad aparente y porosidad total.....	37
4.3. Evaluación de agregados tamizados en seco.....	40
4.4. Evaluación de agregados estables al agua	43
4.5. Evaluación de altura de planta.....	46
4.6. Evaluación de número de hojas.....	50

4.7. Evaluación de análisis del suelo	53
4.7.1. Análisis de pH	54
4.7.2. Análisis de materia orgánica	55
4.7.3. Análisis de fósforo	56
4.7.4. Análisis de potasio	57
4.7.5. Análisis de calcio y magnesio.....	58
4.7.6. Análisis de aluminio e hidrógeno.....	60
4.7.7. Análisis de bases cambiables y acidez cambiabile	61
V. CONCLUSIONES.....	64
VI. RECOMENDACIONES	65
VII. ASBTRACT	66
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
IX. ANEXO.....	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.....	9
2. Rangos de espacio poroso.....	10
3. Niveles de pH.....	11
4. Niveles de la materia orgánica.....	14
5. Niveles de contenido de nitrógeno.....	15
6. Niveles del fósforo.....	16
7. Niveles de contenido de potasio.....	17
8. Niveles de CIC para un pH menor de 5,5.....	20
9. Propiedades físicas (Análisis de textura).....	25
10. Propiedades químicas.....	25
11. Descripción de los tratamientos en estudio.....	27
12. Fuentes de variación.....	29
13. Métodos empleados.....	32
14. Análisis de textura de suelo.....	36
15. Análisis de varianza en densidad aparente y porosidad total con diferentes dosis de dolomita.....	37
16. Prueba de significación estadística (DUNCAN) en densidad aparente y porosidad total con diferentes dosis de dolomita.....	38
17. Análisis de varianza de agregados tamizados en seco.....	41

18.	Prueba de significación estadística de agregados tamizados en seco	41
19.	Análisis de varianza de agregados estables al agua	44
20.	Prueba de significación estadística (DUNCAN) de agregados estables al agua.....	45
21.	Análisis de varianza de altura de planta.....	47
22.	Prueba de significación estadística (DUNCAN) de promedios en altura de planta	48
23.	Análisis de varianza del número de hojas.....	50
24.	Prueba de significación de número de hojas.....	51
25.	Promedio de análisis de suelo	53
26.	Promedios de agregados tamizados en seco	74
27.	Promedios de agregados estables al agua	74
28.	Promedios de altura de planta de cacao.....	74
29.	Promedios de número de hojas de planta de cacao	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Promedio de densidad aparente	39
2. Promedio de porcentaje de porosidad total	39
3. Porcentaje de agregados tamizados en seco.....	42
4. Porcentaje de agregados estables al agua	45
5. Variación de altura de planta, en relación a la dosis de dolomita.....	48
6. Variación de número de hojas, en relación a la dosis de dolomita....	52
7. Promedios de pH del suelo	54
8. Promedios de materia orgánica del suelo	55
9. Promedios de fósforo en el suelo	56
10. Promedios de potasio en el suelo	57
11. Promedios de calcio y magnesio en el suelo.....	59
12. Promedios de aluminio e hidrógeno en el suelo.....	60
13. Promedio de porcentaje de bases cambiables.....	62
14. Promedio de porcentaje de acidez cambiables.....	62
15. Mapa de ubicación	76
16. Distribución de las parcelas.....	77
17. Número de plantas evaluadas por parcela	78
18. Muestreo inicial del campo experimental.....	78
19. Bloques en las parcelas	79
20. Aplicación de dolomita al boleo	79
21. Dolomita incorporado en el suelo	80
22. Procedimiento para agregados estables al agua	80

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el Fundo "Isminio" ubicado en el caserío de Ricardo Palma Km 53, distrito de Luyando, provincia de Leoncio Prado, Departamento Huánuco, Se estudió el efecto de la dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo en el cultivo de cacao bajo condiciones de acidez. Se empleo el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 5 tratamientos y 3 repeticiones. Los tratamientos estaban de acuerdo a la proporción; T0 = 0 t/ha, T1 = 0.356 t/ha, T2 = 0.713 t/ha, T3 = 1.189 t/ha, T4 = 1.545 t/ha. El efecto de la dolomita en las propiedades físicas; tuvo significación estadística entre tratamientos en densidad aparente, porcentaje de porosidad y análisis de agregados teniendo al tratamiento 4 (1.545 t/ha) con resultados positivos obtenidos en la investigación. Los resultados obtenidos en el análisis químico nos muestra valores favorables en pH pasó de un nivel extremadamente ácido a fuertemente ácido; en materia orgánica de un nivel bajo a alto; en fósforo de un nivel bajo a normal y potasio se mantuvo en un nivel bajo. El tratamiento 4 (1.545 t/ha) tuvo su mayor efecto en la disminución de aluminio e hidrógeno y por consiguiente un menor porcentaje de saturación de acidez cambiante. Los resultados obtenidos en altura de planta y número de hojas se mostraron efectos positivos en el tratamiento 4 (1.545 t/h).

I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito del Alto Huallaga, la gran mayoría de los suelos son de reacción ácida, poco fértiles; contribuyendo esto a la deficiencia de elementos tales como el fósforo, potasio, calcio y magnesio; que aliada a niveles tóxicos de aluminio, se constituyen en los principales factores limitantes de la producción agrícola; razón por la cual muchos agricultores se limitan a la instalación de cultivos rentables.

La mayoría de suelos extremadamente ácidos se encuentran pequeñas cantidades de magnesio (Mg^{2+}) en relación con el calcio (Ca^{2+}); en estas condiciones todos los cultivos son afectados. De allí se desprende que el encalado con dolomita en la mayoría de los suelos ácidos es decisivo para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo; cada vez va tomando mayor importancia, elevando el pH a fin de desplazar el aluminio cambiante retenido por los coloides del suelo y precipitarlo en formas poco solubles para evitar sus efectos negativos.

El propósito de la investigación está enmarcado en el manejo de un suelo degradado; ya que en el trabajo se tomó una parcela de ex-cocal con presencia de macorilla (*Pteridium* sp) y rabo de zorro (*Andropogon* sp),

indicadores de suelos ácidos. Desde este punto de vista se logro contestar la interrogante que la dolomita tiene influencia en dosis de 1.545 t/ha en las propiedades físicas y químicas, en el crecimiento y número de hojas del cultivo de cacao en un suelo ácido, por lo cual tenemos los siguientes objetivos

Objetivos

- Evaluar el efecto de la dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo, en el cultivo de cacao bajo condiciones de suelo ácido, en el caserío de Ricardo Palma, distrito de Naranjillo.

- Evaluar las propiedades físicas (textura, densidad aparente, porcentaje de la porosidad total y análisis de los agregados) y químicas (pH, M.O, N, P, K y CICE) del suelo.

- Evaluar el crecimiento del cacao en altura de planta, y número de hojas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Acidificación del suelo

La acidez del suelo es uno de los principales problemas y un factor limitante en los suelos ácidos de la selva, es el alto contenido de aluminio y un bajo pH lo que causa el necrosamiento en las raíces de la planta, que se inicia en la parte apical de la raíz y con el tiempo se acerca a la base de la planta (ALVARADO, 2004).

Los suelos bajo condiciones naturales, presentan una mayor adsorción catiónica que aniónica, ya que las cargas negativas son mucho más abundantes que las positivas esto tiene gran importancia agronómica, puesto que el complejo adsorbente permite dejar en reserva los cationes esenciales para la nutrición vegetal: K^+ , NH_4^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} y diversos oligoelementos. Si este almacenamiento de reserva no tuviera lugar, las lluvias de invierno podrían originar suelos estériles (NAVARRO, 2003).

2.2. El aluminio en las plantas

El ión aluminio, es el catión predominante en los suelos ácidos y el principal responsable de la acidez del suelo, se recomienda que la cantidad de

cal (CaCO_3) debería ser añadida a los suelos ácidos en cantidades equivalentes para lograr la neutralización del Al intercambiable (PEREZ, 1986).

El aluminio obstaculiza la translocación de nutrientes a la parte aérea, los cuales se manifiestan como deficiencias nutricionales principalmente de P, Ca y Mg. Los altos niveles de saturación de aluminio en el suelo reducen el crecimiento de las raíces, inhibiendo su elongación y penetración en el suelo y consecuentemente, reduciendo la absorción de agua y nutrientes (ZAPATA, 2004).

El aluminio influye en el crecimiento longitudinal de la raíz principal, la que se reduce y favorece el crecimiento y proliferación de las raíces laterales, que con el tiempo, también acaban inhibidos en su crecimiento. En conjunto el sistema radicular presenta un color pardusco, con raíces cortas, engrosadas y muy ramificadas (ALAM *et al.*, 1979).

2.3. Encalado

El encalado influye en las propiedades físicas, mejorando y favoreciendo el movimiento del agua y aire del suelo; y las propiedades biológicas, mejorando el potencial biológico y acelerando la mineralización de la materia orgánica (SANCHEZ, 1981).

El encalado es una práctica muy común usada para mejorar la productividad en los suelos ácidos, reduciéndose el problema de la acidez,

neutralizando los iones hidrógenos liberados por la materia orgánica y el aluminio intercambiable. Conforme aumente el pH, proporciona elementos como el Ca^{2+} y Mg^{2+} , si ella es cálcica o dolomítica CARRILLO (1982.), citado por (COLEMAN *et al.*, 1967).

La práctica del encalado se utiliza básicamente para neutralizar el Al^{3+} , H^+ y Mn intercambiables y para suplir Ca^{2+} y Mg^{2+} al suelo. El encalado disminuye el porcentaje de saturación con Al^{3+} y aumenta la saturación con bases, lo que ocasiona un incremento del pH del suelo (KAMPRATH, 1970).

2.3.1. Efectos del encalado en el suelo

Aumenta la solubilidad y disponibilidad de la mayoría de los nutrimentos, Incrementa la actividad microbiológica acelerando la descomposición de la materia orgánica, que liberará nutrimentos a formas minerales fácilmente aprovechables.

Disminuye la solubilidad de elementos tóxicos tales como aluminio, manganeso, hierro que en altas concentraciones tienen efectos negativos en el desarrollo vegetal. (BEAR, 1969).

Aumenta la disponibilidad de obtención de nitrógeno al apresurar la descomposición de la materia orgánica y proporciona al suelo calcio y magnesio (si la cal es dolomítica) para la nutrición de la planta, éstos son elementos principales para el desarrollo de una planta (CEPEDA, 1991).

Mejora la condición física del suelo, pues reduce su densidad de masa, aumenta su capacidad de infiltración e incrementa la velocidad de filtración de agua.

Si se sigue un programa adecuado de encalado, hay disminución en la erosión del suelo. Resultado que se debe, fundamentalmente, a la mayor densidad y vigor de las plantas y a la mayor capacidad de infiltración de agua que reduce el escurrimiento e incrementa la cantidad de agua disponible para los cultivos. Las bacterias benéficas del suelo son estimuladas por suministros adecuados de dolomita.

2.4. Propiedades físicas del suelo encalado

El suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La adecuada relación entre estos componentes determina la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes para ellas. La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, estructura, consistencia, densidad, aireación, temperatura y color (BAVER, 1972).

2.4.1. Textura del suelo

La textura define la cantidad de arena, limo y arcilla que existe en el suelo fundamentalmente en su estructura. La textura es muy importante ya que de ella depende el comportamiento del aire y del agua en el suelo y por lo

tanto, condiciona los fenómenos de aireación, permeabilidad y de asfixia radicular. Por otra parte, la textura del suelo nos puede ayudar a determinar que las propiedades físicas son más difíciles de corregir que las propiedades químicas, de ahí su interés desde el punto de vista de la fertilidad de un suelo (BAZÁN *et al.*, 2000).

2.4.2. Estructura del suelo

Es la forma en que las partículas del suelo se reúnen para formar agregados. De acuerdo a esta característica se distinguen suelos de estructura esferoidal (agregados redondeados), laminar (agregados en láminas), prismática (en forma de prisma), blocosa (en bloques), y granular (en granos).

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. La circulación del agua en el suelo varía notablemente de acuerdo con la estructura. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

2.4.2.1. Agregados del suelo

Son partículas secundarias formadas a través de la combinación de partículas mineral con sustratos orgánicos e inorgánicos (USDA, 1999).

El complejo dinámico de agregación es el resultado de la interacción de muchos factores incluyendo el medio ambiente, factores de

gestión del suelo, influencia de las plantas y propiedades de la composición mineral, textura, concentración de carbono orgánico del suelo, proceso pedogenético, actividad microbial, intercambio de iones, reserva de nutrientes y humedad variable (KAY, 1998).

También son considerados como componentes de la estructura del suelo, por tanto, de la suma importancia en la manutención de la porosidad y aireación del suelo, crecimiento de las plantas (desarrollo radicular) y de la población microbiana, la infiltración, almacenaje del agua y en el control de los procesos erosivos. Los agregados son fundamentales ya que en función a su tamaño y composición será el diámetro del poro y por tanto se determina los procesos de transferencia; el agua y los nutrientes tienen que quedarse en el interior del suelo por un tiempo necesario para que se penetren a través de las raíces. Para que este proceso suceda es necesario que el agua ocupe los poros que quedan entre los agregados (OADES, 1980).

2.4.3. Densidad aparente

La densidad aparente es definida como la relación entre la masa del suelo seco y el volumen global, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las partículas. Es dependiente de las densidades de las partículas del suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica) y de su tipo de empaquetamiento. El suelo es una mezcla de partículas minerales, material orgánico, aire y agua; a diferencia de la textura y estructura que se refieren a la parte sólida, la densidad aparente es propiedad física que se relaciona con la

porosidad, compactación, aireación y distribución de los poros, y es afectada por la estructura del suelo, el contenido de materia orgánica (BAZÁN *et al.*, 2000).

Cuadro 1. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo

Textura del suelo	Densidad aparente ideal (g/cm^3)	Densidad aparente afectan el crecimiento radicular (g/cm^3)	Densidad aparente que restringen el crecimiento radicular (g/cm^3)
Arena, areno-franco	< 1.60	1.69	> 1.80
Franco-arenosa, franco	< 1.40	1.63	> 1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco, franco-arcillosa	< 1.40	1.60	> 1.75
Limosa, franco-limosa	< 1.30	1.60	> 1.75
Franco-limosa, francoarcillo-Limosa	< 1.40	1.55	> 1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35-45 % de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.58
Arcillosa (>45% de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.47

Fuente: (USDA, 1999)

2.4.4. Porosidad del suelo

El suelo está constituido por tres fases; sólida líquida y gaseosa. La fase líquida se denomina agua del suelo o solución del suelo; la gaseosa es el aire del suelo. Estas dos fases, líquida y gaseosa ocupan los poros del suelo es

decir el volumen no ocupado por la fase sólida. Al volumen total de poros del suelo, se llama porosidad total o simplemente porosidad.

Cuadro 2. Niveles de espacio poroso

Clase textural	Espacio poroso (%)
Arcilla	58
Franco arcilloso	55
Franco limoso	50
Franco	47
Franco arenoso	43
Arena	40

Fuente: (BAZÁN *et al.*, 2000)

2.5. Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas son estudiadas a fin de mejorar la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, evitar toxicidades de elementos y utilizar la población microbiana para mejorar la condición física del suelo (OSORIO, 2006).

2.5.1. pH del suelo

Cuando se habla del pH del suelo hace referencia a una de las cualidades más indicativas de sus propiedades. En la que un suelo puede ser ácido, neutro o alcalino determinara en gran parte la solubilidad de varios compuestos, la fuerza de unión de los iones en los sitios de intercambio y la actividad de los microorganismos, la disponibilidad de la mayoría de los

elementos esenciales para la planta depende del pH de la solución suelo, por lo que esta medida es un índice de las condiciones del mismo. El pH del suelo es una medida de la actividad de los iones H^+ en la solución del suelo. Los iones H^+ activos incluyen todas las fuentes como la disociación de los ácidos solubles y los disociados de las partículas del suelo (ARÉVALO, L. y SANCO, M. 2002.).

La escala del pH va desde valores de 0 a 14, pero en los suelos se han encontrado valores entre 3.5 y 10. Los suelos con pH inferiores a 4.5 presentan óxidos de hierro, aluminio y otros óxidos metálicos; en el Cuadro 3, se observan los niveles de pH en los suelos propuesto por (ZVALETA, 1992).

Cuadro 3. Niveles de pH

Descripción	Rango
Extremadamente ácido	Menor de 4.5
Fuertemente ácido	4.6 – 5.4
Moderadamente ácido	5.5 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Moderadamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	Mayor de 8.5

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS

2.5.1.1. Acidez cambiabile del suelo

La acidez en los suelos afecta las características químicas y biológicas, que reducen el crecimiento de las plantas, tales como la disminución en la disponibilidad de nutrimentos como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y P, y la

proliferación de elementos como el Al^{3+} y Mn que en cantidades altas pueden ser tóxicos para las plantas (MOLINA y ROJAS, 2005).

Un factor limitante en los suelos ácidos de la selva, es el alto contenido de aluminio y un bajo pH, por lo que hace indispensable realizar encalados o corrección del pH (OSORIO, 2006).

Los suelos ácidos presentan una baja capacidad de intercambio de cationes, bajo porcentaje de saturación de bases, alta concentración de Al^{3+} intercambiable, baja disponibilidad de P, Ca^{2+} , Mg^{2+} y algunos micro nutrientes que ocasionan toxicidad en las plantas debida al Al^{3+} y al Mn, (QUIROS y GONZALES, 1979).

2.5.2. Materia orgánica del suelo

La materia orgánica contribuye al crecimiento vegetal mediante sus efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, presenta las siguientes funciones:

Biológica, ya que afecta profundamente las actividades de organismos de microflora y micro fauna.

Física y físico - química promueve una buena estructura del suelo, por lo tanto mejorando la labranza, aereación y retención de humedad e incrementando la capacidad amortiguadora y de intercambio de los suelos. La

CIC de la materia orgánica y de los silicatos laminares se incrementa conforme se incrementa el pH, pero la CIC de la materia orgánica del suelo se incrementa más rápido con el pH que la de los silicatos laminares.

Entre los procesos químicos de más importancia, son los siguientes:

El suministro de elementos nutritivos por la mineralización; en particular, la liberación de nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes disponible para las plantas (CEPEDA, 1991).

La materia orgánica del suelo amortigua el pH del suelo en los límites entre ligeramente ácido, neutro y alcalino; causado por la adición de enmiendas y/o fertilizantes, además sirve como depósito de elementos químicos para el desarrollo de las plantas (BOHN, 1993).

Contribuye a la productividad del suelo y actúa como depósito de nutrientes.

Reduce los efectos de compactación, contribuye a mejorar la estructura del suelo y aumenta la tasa de infiltración de agua y la tolerancia a los efectos nocivos de los herbicidas y otros biocidas, además es fuente de energía y nutrientes para los microorganismos del suelo (GOMERO, 1999).

Cuadro 4. Niveles de la materia orgánica

Nivel	Contenido (%)
Bajo o pobre	menos de 2
Medio	2 - 4
Alto o rico	mayor de 4

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS.

2.5.3. Nitrógeno del suelo

El nitrógeno es uno de los elementos principales para la vida. Es esencial para la vida de las plantas porque estimula el crecimiento por encima del suelo, y contribuye al brillante color verde característico de las plantas saludables. Aunque el nitrógeno molecular (N_2) compone el 78% de la atmósfera, ésta forma de nitrógeno no puede usarse por los animales ni por la mayoría de las plantas en la fabricación de aminoácidos y proteínas esenciales (GOMERO, 1999).

El nitrógeno se encuentra en distintas formas en el suelo, aunque es absorbido por las plantas y microorganismos como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+), puede encontrarse en muy diversos estados de oxidación y reducción. Entre las ganancias de nitrógeno en el suelo se pueden considerar las fijaciones (eléctricas, biológicas e industriales), los abonos de origen orgánico (estiércoles) y los residuos de cosecha, las pérdidas de nitrógeno más significativas son: la extracción por los cultivos, lixiviación, volatilización, desnitrificación y fijación de amonio (NAVARRO, 2003).

Un aspecto muy importante con respecto al comportamiento del nitrógeno en el suelo, es su relación con el pH, cuando del amonio pasa a nitrato (nitrificación), se liberan iones H^+ lo que genera acidez en el suelo, por esta razón, la mineralización de la materia orgánica y el suministro de fuentes de nitrógeno amoniacales, incrementa la acidez, si la planta no absorbe el amonio directamente (ZVALETA, 1992).

Cuadro 5. Niveles de contenido de nitrógeno

Nivel	Nitrógeno (%)
Bajo	menos de 0.1
Medio	0.1 – 0.2
Alto	Mayor de 0.2

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS.

2.5.4. Fósforo del suelo

El fósforo es un elemento esencial para la vida, las plantas lo necesitan para crecer y desarrollar su potencial genético. Lamentablemente el fósforo no es abundante en el suelo y generalmente no se encuentra en forma disponible para la planta (ARVILDO, 2009).

La disponibilidad de este elemento depende del tipo de suelo, según esté, una pequeña o gran parte del fósforo total puede estar "fijado" (no disponible) en los minerales del suelo. Esto significa que la planta no puede absorberlo. En la naturaleza, el fósforo forma parte de las rocas y los minerales

del suelo. Las fuentes de fósforo como nutrimento para las plantas son los fertilizantes minerales y los fertilizantes orgánicos. Las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de HPO_4^{-2} (ión fosfato monoácido) y H_2PO_4^- (ión fosfato diácido). Cualquier fertilizante ya sea de origen orgánico o mineral debe transformarse primero en esas formas químicas antes de ser utilizado por el cultivo (GOMERO, 1999).

El fósforo, luego del nitrógeno, es el macronutriente que en mayor medida limita el rendimiento de los cultivos. Interviene en numerosos procesos bioquímicos a nivel celular y se lo considera un nutriente esencial para las plantas. La única entrada de este elemento al sistema proviene del agregado de fertilizantes fosfatados, mientras que las salidas pueden por extracción en los granos cosechados, erosión, escurrimiento, lixiviación (de escasa importancia) (NAVARRO, 2003).

Cuadro 6. Niveles del fósforo

Nivel	Fósforo (ppm)
Muy bajo	menos de 5
Bajo	5.1 - 15
Normal	15.1 - 30
Alto	30.1 - 40

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

2.5.5. Potasio del suelo

El potasio es uno de los tres nutrientes minerales que necesitan las plantas en mayor cantidad. Las plantas absorben el potasio que se encuentra en la solución del suelo en forma del catión K^+ . La cantidad de K en la solución del suelo está en función de la liberación del potasio intercambiable, generalmente localizado alrededor de las partículas de arcilla. Los cultivos extraen grandes cantidades de potasio del suelo para su crecimiento y desarrollo y como es de esperarse, la falta de éste elemento, influye negativamente en el rendimiento y calidad del cultivo.

El abastecimiento de K en el suelo es limitado, aun los suelos que contienen arcillas ricas en este mineral no pueden suplirlo indefinidamente. Es un error creer que en suelos que por naturaleza son ricos en K, adicionar este elemento a los cultivos es innecesario. El potasio extraído por los cultivos debe de regresarse al suelo para no disminuir la fertilidad del mismo; cuando el agricultor saca de la parcela o campo la cosecha, se está llevando consigo el K fuera del sistema agrícola (GOMERO, 1999).

Cuadro 7. Niveles de contenido de potasio

NIVEL	Potasio (Kg/ha)
Muy bajo	menos de 300
Bajo	300 - 600
Normal	Más de 600

Fuente: Laboratorio de suelos de la UNAS.

2.5.6. Calcio y magnesio del suelo

En muchos suelos la principal fuente de calcio para las planta es el calcio intercambiable y el calcio de minerales fácilmente meteorizables (como carbonatos). Del mismo modo pasa con el magnesio, el Ca^{2+} y Mg^{2+} intercambiable son removidos por las plantas y es factible de lavarse. Algunos suelos también proveen al contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} intercambiable a partir del Ca^{2+} y Mg^{2+} que se encuentra en las interlamina de ciertas arcillas de tipo 2:1 (Ca^{2+} y Mg^{2+} lentamente disponible) (ARVILDO, 2009).

Los principales caminos de pérdidas y ganancias para mantener un nivel de suficiencia o disponibilidad es el lavado y posteriormente la erosión. Y son principalmente reemplazados por la adición de enmiendas cálcicas (GOMERO, 1999).

La función más importante del magnesio está en relación con la fotosíntesis, es un constituyente esencial de las clorofilas (GIL, 1995).

2.5.7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), amonio (NH_4^+), sodio (Na^+) e hidrógeno (H^+). Los primeros cuatro son nutrientes y se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas. El sodio y el hidrógeno tienen un pronunciado efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad. En

los suelos ácidos, una gran parte de los cationes son hidrógeno y aluminio en diversas formas (ARVILDO, 2009).

También contribuyen a la CIC las clases, cantidades y combinaciones de los minerales arcillosos y las cantidades de materia orgánica y su estado de descomposición. Los cationes no son retenidos con las mismas energías de enlace; los sitios de intercambio de la materia orgánica, solo enlazan en forma débil a los cationes. Las arcillas con gran capacidad de intercambio tienden a enlazar los cationes bivalentes como el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , con más energía que el K^+ .

Esta característica puede afectar la disponibilidad de los nutrientes. Los suelos con arcillas caoliníticas tienen una menor energía de enlace y, por lo tanto, para un nivel analítico determinado o un porcentaje de saturación de un elemento se mostrará una disponibilidad relativa mayor. Si la CIC está neutralizada principalmente por calcio, magnesio, potasio y sodio, se dice que está saturada de bases. Sin embargo, si los cultivos o el lixiviado han removido la mayor parte de los cationes básicos, el suelo está bajo en saturación de bases o alto en saturación ácida. Las cantidades totales de cationes ácidos relativas a la CIC son una medida de la saturación ácida. Desde un punto de vista práctico el valor de más utilidad es la CIC efectiva (CICe). Esta se obtiene sumando las bases y el aluminio e hidrogeno cambiante. Este valor refleja mejor las condiciones de intercambio catiónico en suelos ácidos. Los valores de referencia son los siguientes (GOMERO, 1999).

Cuadro 8. Niveles de CIC para un pH menor de 5.5

Nivel	CIC (meq /100 g de suelo)
Bajo	menor de 4
Medio	4 – 30
Alto	mayor de 30

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS.

2.6. Origen, características e importancia del cultivo del cacao en el Perú

El cacao (*Theobroma cacao L*), es una especie originaria de los bosques tropicales húmedos de América del Sur. Sus almendras constituyen el insumo básico para la industria del chocolate, cosmética, farmacéutica y otros derivados. La domesticación, cultivo y consumo del cacao fue hecho por los indígenas toltecas, aztecas y mayas más de un milenio antes del descubrimiento de América.

Hacia 1810, Venezuela se convierte en el país más importante del mundo en la producción de cacao. Alrededor de 1820, los portugueses introducen los primeros cultivos de cacao en África, donde rápidamente se extiende en Brasil se comienza igualmente a extender el cultivo, llegando a ser uno de los mayores productores a escala mundial. La importancia del cultivo del cacao radica en su estructura productiva que genera fuentes de trabajo e ingresos todo el año si es manejado adecuadamente (ICT, 2004).

El cacao se vuelve un cultivo rentable e importante en el Perú a partir de los años 1930. El árbol de cacao o cacaotero (*Theobroma cacao*), es

una planta tropical de unos tres metros, que deben estar a la sombra, por lo cual normalmente se encuentran bajo árboles más grandes. El fruto (la mazorca de cacao) puede alcanzar una longitud de 15 - 25 cm. Cada mazorca contiene entre 30 y 40 semillas, que una vez secas y fermentadas es el cacao en grano. Las semillas son de color marrón - rojizo en el exterior y están cubiertas de una pulpa blanca y dulce.

2.6.1. Taxonomía

El género *Theobroma* se encuentra en estado natural en los pisos inferiores de las selvas húmedas de América Tropical, entre los 180 de latitud norte y los 150 de latitud sur, a una altitud generalmente inferior a 1250 m.s.n.m. ICT (2004). *Theobroma cacao*, ha sido clasificado taxonómicamente de la siguiente manera:

- División: Fanerógama (Spermatophyta)
- Clase: Angiospermae
- Subclase: Dicotiledóneas
- Orden: Malvales
- Familia: STERCULIACEAE
- Género: *Theobroma*
- Especie: *Theobroma cacao* L.

2.6.2. Condiciones ambientales y requerimientos agroclimáticos

2.6.2.1. Suelo

Al cacao se lo cultiva hasta los 1200 m.s.n.m y los suelos recomendados para la siembra deben ser en lo posible planos o ligeramente inclinados, porque en términos generales estos tipos de suelos son fértiles y la erosión es mínima.

Los suelos más apropiados para el cultivo de cacao son los aluviales, profundos y fértiles; también se adaptan a suelos de textura Arcillo - Arenoso, Arena - Arcilloso con pH de 4.5 que son muy ácidos hasta muy alcalino con pH 8.5 siendo el óptimo entre 6.0 y 6.5, (ICT, 2004).

En general los suelos requeridos deben ser de buena fertilidad, sueltos y profundos, materia orgánica abundante y el pH óptimo entre 6 y 7 bien drenados (MONTE, 1976).

2.6.2.2. Clima

El cacao necesita para su desarrollo, una considerable cantidad de agua que oscila entre los 1800 – 2500 mm de lluvia bien distribuidas durante el año.

2.6.2.3. Temperatura

El cacao necesita una temperatura moderada entre los 24 y 26 °C, con una humedad relativa de 70 a 80%.

2.7. Antecedentes de ensayos experimentales

La investigación llevada a cabo en Tingo María por ACOSTA (1984) muestra, que el uso de la dolomita aumenta el pH y disminuye el Al^{3+} 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.

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 Al^{3+} intercambiable, se apreciaron incrementos que fluctuaban entre 0.6 y 1.1 unidades de pH. El encalado y la acidificación de los suelos agrícolas son medidas de producción, que permite aumentar la producción de cultivos y controlar la fertilidad, por ello las investigación realizadas por CENTURIÓN (1987) en la estación experimental de Tingo María; indican que los suelos de la llanura Amazónica necesitan encalado y mejoramientos orgánicos para el aumento de su productividad, y regular funciones químicas y biológicas, el encalado debe ser dirigido a modificar los posibles efectos tóxicos de aluminio intercambiable a pH bajos y al suministro de Ca^{2+} y Mg^{2+} .

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y fecha de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en el Fundo “Isminio” ubicado en el caserío de Ricardo Palma Km 53 – Luyando, localizada en una colina media; se ejecutó desde junio 2010 hasta diciembre del 2010. Se encuentra dentro de las coordenadas UTM (Este 392366; Norte 8985900 y a 657 m.s.n.m).

3.1.1. Ubicación Política

- Departamento : Huánuco
- Provincia : Leoncio Prado
- Distrito : Luyando
- Caserío : Ricardo Palma

3.2. Características agroecológicas de la zona

3.2.1. Clima

HOLDRIDGE (1962) sustenta que Tingo María se encuentra ubicado en la formación de Bosque Muy Húmedo Premontano - Tropical (bmh-

PT) con temperatura media mensual de 25 °C con precipitación media anual de 3300 mm.

3.2.2. Suelo

Se tomó una muestra del área experimental y se determinaron las propiedades físicas (textura) y propiedades químicas (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H^+ y CICE). Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, los resultados y análisis se muestran en los Cuadros 9 y 10.

Cuadro 9. Propiedades físicas (Análisis de textura)

% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
31	43	26	Franco

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS.

Cuadro 10. Propiedades químicas

pH	% M.O	% N	P	K ₂ O	Ca	Mg	Al	H	CICE	% Bas. Cam.	% Ac. Cam.
4.0	3.1	0.14	11.5	169.7	2.0	0.3	3.3	1.20	6.8	33.82	66.18

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales y equipos de campo

- Wincha
- Machete
- Rafia

- Pala recta
- Estacas
- Letreros
- Bolsas de plástico
- Cilindros metálicos
- GPS
- Cámara fotográfica
- Cuaderno de apuntes

3.3.2. Materiales y equipos de laboratorio

- Tamices con diferentes medidas de diámetro (4.75; 2; 1.18; 0.50; 0.25 mm).
- Placas de vidrio
- Balanza analítica
- Estufa

3.4. Componentes en estudio

3.4.1. Material vegetativo

- Plantones de cacao, variedad CCN - 51.

3.4.2. Producto

- Dolomita (CaO: 34.78% y MgO: 24.58%)

3.5. Tratamiento en estudio

El Cuadro 11 muestra las proporciones de dolomita utilizada por planta en los tratamientos y superficie en donde se aplicó.

Cuadro 11. Descripción de los tratamientos en estudio.

Tratamiento	Material vegetativo	Dolomita	
T 0	<i>Theobroma cacao</i> L.(Cacao)	0 g/planta	= 0 t/ha
T 1	<i>Theobroma cacao</i> L.(Cacao)	300 g/planta	= 0.356 t/ha
T 2	<i>Theobroma cacao</i> L.(Cacao)	600 g/planta	= 0.713 t/ha
T 3	<i>Theobroma cacao</i> L.(Cacao)	1000 g/planta	= 1.189 t/ha
T 4	<i>Theobroma cacao</i> L.(Cacao)	1300 g/planta	= 1.545 t/ha

3.6. Historia del campo

El área donde se realizó el presente trabajo de investigación fue en el fundo Isminio. En el año 2007 los propietarios compraron este terreno la información que ellos tienen es que era un ex cocal y los propietarios actuales solo encontraron presencia de plantas herbáceas como son macorilla y rabo de zorro.

En abril del 2009 se plantó mucuna y kudzu; posteriormente en el mes de Julio del 2009 se plantó plátano y guaba y en el mes de enero del 2010 se aplicó dosis de dolomita de 100 g/hoyo; para luego sembrar plantones de cacao. La incorporación de las diferentes dosis de dolomita en el experimento fue el 26 de mayo del 2010, culminando las últimas evaluaciones de campo el día 26 de noviembre del mismo año.

3.7. Características del campo experimental

3.7.1. Dimensiones del campo experimental

- Largo del campo : 81.2 m
- Ancho del campo : 6.4 m
- Separación entre parcelas : 2.9 m
- Separación entre bloques : 2.9 m
- Área total del campo experimento : 3 767.68 m²

3.7.2. Características de cada bloque

- Número de bloque : 3 bloques
- Largo de bloque : 81.2 m
- Ancho de bloques : 1.6 m
- Área de bloques : 941.92 m²
- Calle entre bloques : 2.9 m

3.7.3. Características de cada parcela

- Número total de parcelas : 15 parcelas
- Número de parcelas por bloque : 5 parcelas
- Largo de cada parcela : 11.6 m
- Ancho de cada parcela : 11.6 m
- N° de plantas por parcela : 23 plantas
- N° de plantas por parcela neta : 11 plantas
- Área total de cada parcela : 134.56 m²

3.8. Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 5 tratamientos y 3 repeticiones. Las características evaluadas de cada uno de los componentes en estudio se sometieron al análisis de varianza (ANVA) y la significación estadística se determinó por la prueba de Duncan.

Cuadro 12. Fuentes de variación

Fuente de variabilidad	GL
Bloques	2
Tratamientos	4
Error experimental	8
Total	14

3.9. Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = U + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ij} : Es el valor observado en el j – ésimo bloque con el i – ésimo efecto de tratamientos.

U : Efecto de la media general.

α_i : Efecto del i – ésimo efecto de tratamientos.

β_j : Efecto del j – ésimo efecto de bloques o repeticiones.

ε_{ij} : Efecto del error aleatorio asociado a dicha observación.

Para:

$i = 1, 2, 3, 4, 5$ tratamientos.

$j = 1, 2, 3$ bloques o repeticiones.

3.10. Ejecución del experimento

3.10.1. Fase de campo

Esta fase comprende la ubicación y demarcación del terreno, muestreo de suelo inicial, incorporación de la dolomita, medición de las plantas de cacao, deshierbo y toma de muestras de suelo al final de la evaluación.

3.10.1.1. Demarcación del terreno

Ejecutado la limpieza, se procedió a delimitar los bloques con sus respectivos tratamientos, para esta labor se utilizó wincha de 30 m, machete, estacas de madera, rafia, pintura esmalte y pincel.

3.10.1.2. Muestreo inicial del suelo

Se tomarón muestras de suelo del campo experimental en forma de zig – zag para dicha labor se utilizó una pala recta, luego se uniformizó las muestras y se tomó 1 kg para el análisis mecánico y químico que fueron analizados en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de la Facultad de Agronomía.

3.10.1.3. Medición inicial

Se tomó medidas de altura y conteo de hojas de las plantas de cacao de cuatro meses de edad antes de aplicar las respectivas dosis de dolomita; para recopilar datos de medidas iniciales.

3.10.1.4. Incorporación de la dolomita

La dolomita que se incorporó fue por el método de boleado, aplicando alrededor de cada planta de cacao.

1. Deshierbo

El plateado de malezas se realizó mensualmente; para que no compitan con la planta de cacao e interfiera en el desarrollo normal del cultivo.

2. Registro de altura de las plantas de cacao

Se registró medidas de altura desde el suelo hasta el ápice de la planta utilizando una wincha de tres metros; la evaluación fue una vez por mes y se inició el 26 de junio y culminó el 26 de noviembre del 2010, registrando un total de seis evaluaciones después de aplicar las diferentes dosis de dolomita

3. Registro de número de hojas de plantas de cacao

Se registró el número de hojas existentes por cada planta; el conteo se realizó una vez por mes recopilando un total de seis evaluaciones.

4. Muestreo final de suelos para el análisis físico y químico

Se tomó muestras de todas las parcelas existentes por cada bloque.

- Análisis químico (pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, CIC.eftiva).
- Análisis físico (Textura, densidad aparente, porcentaje de la porosidad total, análisis de los agregados método seco y mojado).

3.10.2. Fase de laboratorio y métodos empleados

Cuadro 13. Métodos empleados

Análisis químico	Método empleado
pH	Método del potenciómetro,
Materia orgánica (%)	Método de Walkley y Black.
Nitrógeno total (%)	Porcentaje de M.O. \times 0.045
Fósforo (ppm)	Método de Olsen modificado
Potasio (ppm)	Método de ácido sulfúrico 6N
Capacidad de intercambio catiónico	Método de acetato de amonio
CIC.Efectiva	Desplazamiento con KCL 1N

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS.

3.10.2.1. Textura

Se determinó el método del hidrómetro.

3.10.2.2. Densidad aparente

Con el martillo y bloque de madera se introdujo los cilindros metálicos completamente en el suelo.

Se extrajo y se enrazó con una navaja el cilindro introducido con la muestra de suelo.

Se traslado las muestras con los cilindros con sus respectivas tapas para evitar pérdidas del material.

Colocamos la muestra de suelo en estufa a 105 °C por 24 horas.

Pesamos la muestra de suelo seco en la balanza analítica y registramos los pesos obtenidos.

$$d_a = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volumen del suelo}} \quad (1)$$

3.10.2.3. Porcentaje de la porosidad total

El cálculo se obtuvo a partir de la siguiente relación

$$P = \left(1 - \frac{d_a}{d_r}\right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

P = La porosidad total

d_a = Densidad aparente

d_r = Densidad real (2.65 g/cm³)

3.10.2.4. Análisis de agregados por el método seco

Este análisis se determinó por el método de Sauninov según Kaurichev, que comprende lo siguiente:

Se tomó muestra de suelo de 0.5 kg secado al aire y no desmenuzado, se peso 100 g de suelo y se tamizó a través de una columna de malla con aperturas de (4.75; 2; 1.18; 0.50; 0.25 mm).

Al separar las mallas se golpeó ligeramente con la mano con la finalidad de separar los agregados atascados.

Los agregados de las mallas se recogieron en bolsas plásticas las cuales fueron pesadas en una balanza analítica calculándose su valor en porcentaje de la masa de suelo secado al aire.

3.10.2.5. Análisis de agregados por el método mojado

Este análisis se determinó por el método de Sauninov según Kaurichev, que comprende lo siguiente:

De las fracciones tamizadas se tomaron porciones de suelo hasta obtener 50 g que fueron pesados en una balanza analítica. Se preparó un conjunto de tamices del mismo diámetro que se utilizó para el análisis en seco (4.75; 2; 1.18; 0.50; 0.25 mm). Estos se colocaron en una malla y se introdujo en un balde con agua hasta la altura por encima del borde del tamiz de 5 - 6 cm.

El suelo humectado se dejó reposar por 10 minutos y a continuación se hizo pequeños movimientos del tamiz dentro del balde de agua con el fin de destruir todos los agregados no resistentes al agua.

Luego se sacó los tamices del agua dejando reposar unos 5 minutos para luego ser extraídos los agregados a las placas de vidrio; posteriormente son secados en la estufa por un periodo de 6 horas a una temperatura de 105 °C.

Finalmente los agregados después de estar en estufa, se pesó en una balanza analítica, registrándose el valor.

3.10.3. Fase de gabinete

En esta fase se realizó el procesamiento, análisis e interpretación de los datos obtenidos en campo y en laboratorio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de la textura del suelo

En el Cuadro 14 nos muestra el análisis de textura al inicio y final del experimento, donde se observa que no hubo cambios en relación a la textura en ninguno de los tratamientos, pero numéricamente si hubo variación en el porcentaje de arena, limo y arcilla.

Cuadro 14. Análisis de textura de suelo

Campo	Análisis mecánico			Textura
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
Muestreo inicial	31	43	26	Franco
T0	34	42	26	Franco
T1	36	40	24	Franco
T2	42	35	23	Franco
T3	46	34	22	Franco
T4	48	31	22	Franco

Según el triángulo textural los resultados se enmarca en la misma clase textural. El suelo franco contiene una mezcla de arena, limo y arcilla en tales proporciones que presenta las propiedades de las tres fracciones de modo equilibrado (GOMERO, 1999).

El suelo ideal es el que tiene el espacio de poros dividido por igual entre poros grandes y pequeños. Tal suelo tiene en grado suficiente buenas propiedades de aeración y retención de agua (BAZÁN *et al.*, 2000).

4.2. Evaluación de la densidad aparente y porosidad total

Según el análisis de varianza, (Cuadro 15) para densidad aparente y porcentaje de porosidad total, nos indica que estadísticamente no existe diferencia entre bloques. Existe diferencia estadística entre tratamientos, indicándonos que la contribución de dolomita en diferentes dosis influyen en la densidad aparente y porosidad total.

Cuadro 15. Análisis de varianza en densidad aparente y porosidad total con diferentes dosis de dolomita

FV	GL	CM. (Densidad aparente)		CM (Porosidad total)	
Bloque	2	0,0006	NS	0,8801	NS
Tratamiento	4	0,0053	*	7,4345	*
Error	8	0,0028		4,0131	
Total	14				

NS No existe diferencia significativa

* Significación estadística al 5% de probabilidad

El coeficiente de variación (CV) fue de 4.08% en densidad aparente y 4.50% para la porosidad total; ambos se encuentra en un rango excelente lo que significa que los errores del experimento fueron minimizados.

En el Cuadro 16 se muestra la prueba de Duncan para densidad aparente y porosidad total; para los tratamientos (T0, T1, T2, T3, T4) se observa que presentaron diferencia estadística; los resultados muestran que el T4 (1.545 t/ha) tiene mayor densidad aparente y menor porcentaje de poros (Figura 1 y 2); es decir a medida que se aumentó la dosis de dolomita se incrementó el porcentaje de arena (Cuadro14) por consiguiente aumentó la densidad aparente y disminuyó el porcentaje de poros.

Cuadro 16. Prueba de significación estadística (DUNCAN) en densidad aparente y porosidad total con diferentes dosis de dolomita

Tratamientos	Promedio en densidad aparente (g/cm ³)	Promedio de porosidad total (%)
T4 (1,545 t/ha)	1.50 a	43.40 b
T3 (1,189 t/ha)	1.48 a	44.15 b
T2 (0,713 t/ha)	1.47 ab	44.53 ab
T1 (0,356 t/ha)	1.44 b	45.66 a
T0 (Testigo)	1.41 b	46.79 a

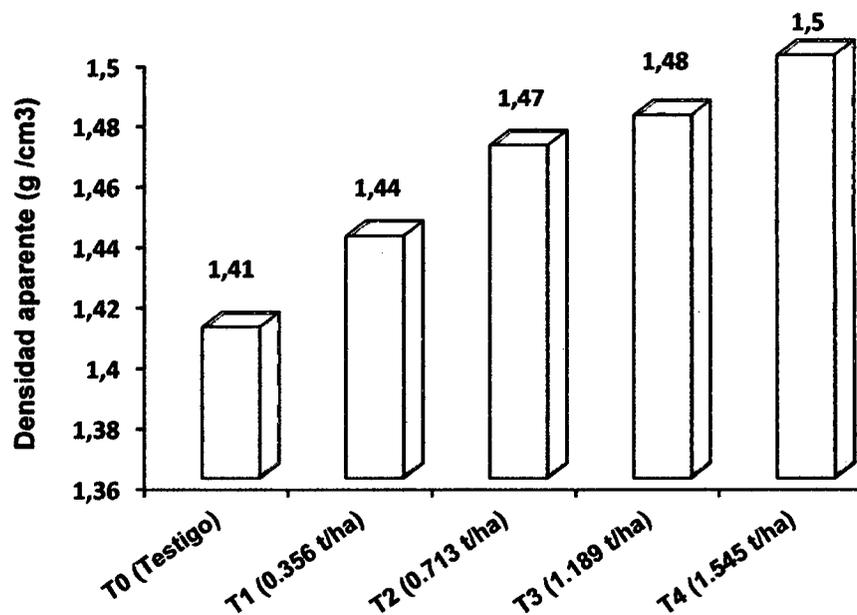


Figura 1. Promedio de densidad aparente

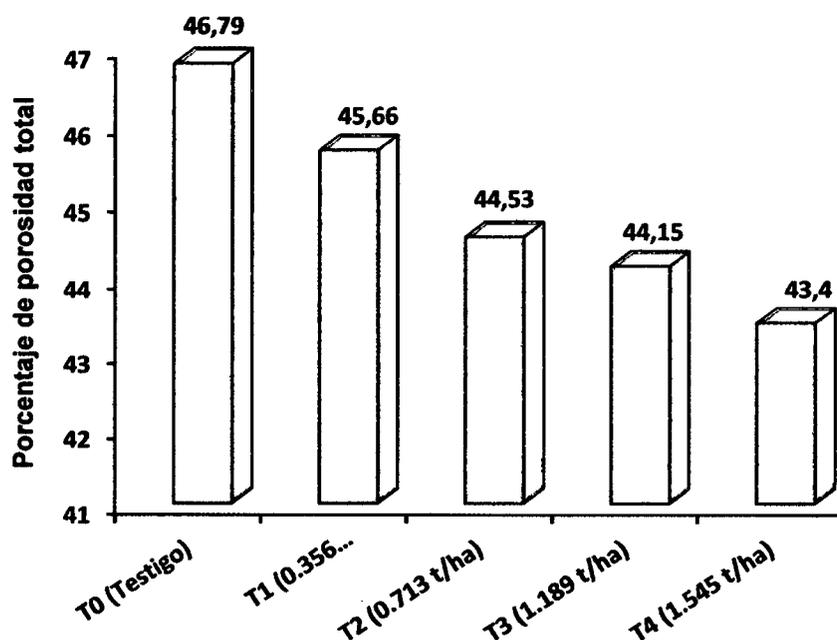


Figura 2. Promedio de porcentaje de porosidad total

La porosidad total no es tan interesante como la distribución de tamaño de los poros, en especial la de los poros mayores que son los que

contribuyen a la aireación y al movimiento del agua en el suelo para una adecuada disponibilidad de nutrientes (ORELLANA, 1994).

Según USDA (1999) sustenta que la densidad aparente para un suelo franco que puede afectar el crecimiento radicular es de 1.63g/cm^3 y la mayor densidad aparente lo encontramos en el T4 (1.50g/cm^3) esto sustenta que el valor obtenido se encuentra dentro de un rango aceptable.

4.3. Evaluación de agregados tamizados en seco

Según el análisis de varianza, (Cuadro 17) los agregados tamizados en seco, nos indica lo siguiente:

Estadísticamente no existe diferencia entre bloques en los tamices de (4.75; 2; 1.18; 0.50; 0.25 mm).

Existe significancia estadística entre tratamientos, indicándonos que la contribución de dolomita en diferentes dosis tiene niveles significativos en la evaluación de agregados tamizados en seco.

El coeficiente de variación en los tamices de 4.75; 0.50; 0.25 mm se encuentran en rangos de resultados variables (31.61%, 27.62%, 50.99%); sin embargo los tamices de 2 y 1.18 mm (18.58%, 17.90%) lo que significa que los errores del experimento fueron minimizados.

Cuadro 17. Análisis de varianza de agregados tamizados en seco

FV	GL	4.75 (mm)	2 (mm)	1.18 (mm)	0.50 (mm)	0.25 (mm)
		CM	CM	CM	CM	CM
Bloque	2	15.49 NS	93.34 NS	0.25 NS	9.47 NS	60.39 NS
Tratamiento	4	68.65 *	30.95 *	5.14 *	8.07 *	5.01 *
Error	8	105.89	28.17	6.92	15.32	36.2
Total	14					

NS: No existe diferencia significativa

* : Significación estadística al 5% de probabilidad

En el Cuadro 18 se muestra la prueba de Duncan para el T4 y T0 se observa que presentaron diferencia estadística.

Cuadro 18. Prueba de significación estadística de agregados tamizados en seco

Porcentaje de agregados tamizados en seco						
Trat./Tamices	4.75 (mm)	2 (mm)	1.18 (mm)	0.50 (mm)	0.25 (mm)	
T4 (1.545 t/ha)	39.97 a	35.09 a	20.77 a	18.3 a	17.12 a	
T3 (1.189 t/ha)	38.15 ab	34.3 ab	20.11 a	13.5 ab	11.33 ab	
T2 (0.713 t/ha)	33.9 b	24.87 b	12.57 b	11.33 b	10.04 b	
T1 (0.356 t/ha)	30.03 b	24.67 b	12.13 b	12.67 b	10.90 b	
T0 (Testigo)	29.09 b	22.40 b	11.73 b	11.17 b	9.10 b	

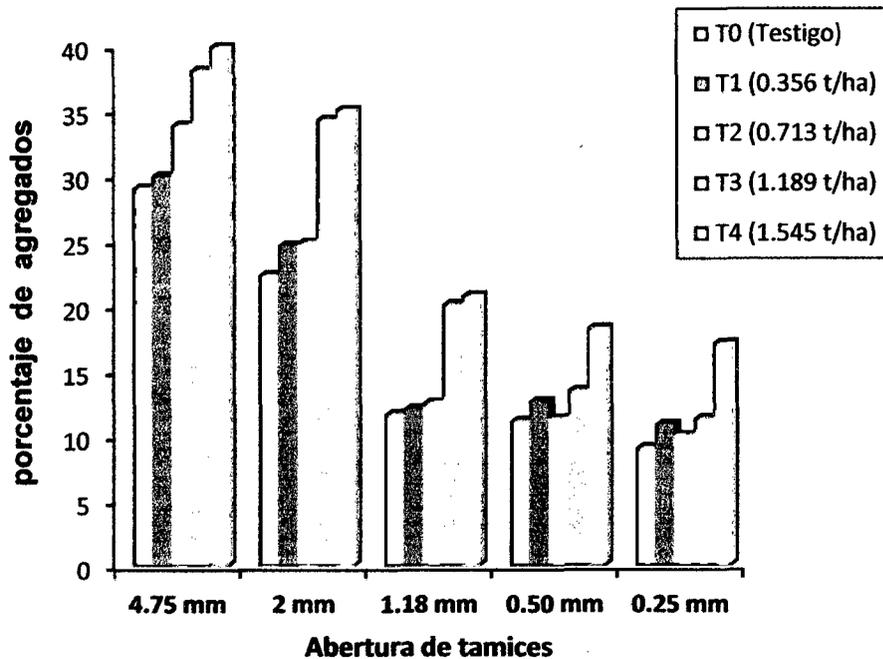


Figura 3. Porcentaje de agregados tamizados en seco

La agregación del suelo puede variar a lo largo de determinados períodos de tiempo, tales como una estación o un año. Los agregados pueden formarse, desintegrarse y re-agregarse periódicamente (HILLEL, 1982).

Numéricamente en la Figura 3 el tamiz de mayor porcentaje de agregados fue el de 4.75 mm; teniendo al T4 superior en promedio y mostró diferencia estadística en comparación con el tratamiento testigo donde no se aplicó ninguna dosis de dolomita. El encalado de suelos ácidos tiene efectos positivos en la estructura del suelo debido a la acción floculante de la cal. La acción floculante y cementante de los óxidos e hidróxidos de Fe y Al son formados como producto de la adición de la cal.

Se considera que la acción floculante y cementante de los hidróxidos de Al formados después del encalado mejora apreciablemente la agregación de los suelos ácidos con alto contenido de Al intercambiable (ROY, 1987).

Por otro lado, las aplicaciones de cal, mejoran la estabilidad de los agregados al incrementar el rendimiento de los cultivos, lo que a su vez incrementa la cantidad de residuos que retornan al suelo mejorando el contenido de materia orgánica ya que los residuos vegetales proporcionan alimento a los microorganismos del suelo que son uno de los principales factores agregantes del suelo.

Por lo general, cuanto mayor sea el porcentaje de agregados, mejor es la capacidad del suelo de transmitir agua y aire, y de promover el crecimiento y desarrollo de las raíces; y menor será la erodabilidad del suelo (OADES, 1980; DEXTER, 1992).

4.4. Evaluación de agregados estables al agua

Según el análisis de varianza, Cuadro 19 los agregados estables al agua, nos indica lo siguiente:

Estadísticamente no existe diferencia entre bloques en los tamices de 0.50 y 0.25 mm; pero si en los tamices de 4.75; 2 y 1.18mm.

Existe significancia estadística entre tratamientos en los tamices de 4.75; 2; 1.18 mm indicándonos que la contribución de dolomita en diferentes dosis tienen niveles significativos en la evaluación de agregados estables al agua.

Estadísticamente no existe diferencia entre tratamientos en los tamices de 0.50 y 0.25 mm. El coeficiente de variación se encuentra en rangos de resultados variables.

Cuadro 19. Análisis de varianza de agregados estables al agua

FV	GL	4.75 (mm)	2 (mm)	1.18 (mm)	0.50 (mm)	0.25 (mm)
		CM	CM	CM	CM	CM
Bloque	2	163.22 *	134.01 *	13.65 *	293.11 NS	8.52 NS
Tratamiento	4	201.95 *	72.82 *	16.87 *	126.83 NS	49.35 NS
Error	8	75.17	30.8	26.4	74.23	24.08
Total	14					

NS : No existe diferencia significativa

* : Significación estadística al 5% de probabilidad

En el Cuadro 20 se muestra la prueba de Duncan; en los tamices de 4.75; 2 y 1.18 mm el T4 y T0 difieren estadísticamente y numéricamente si lo comparamos con el tratamiento testigo.

El tratamientos testigo (T0) es el que presenta menor promedio ya que no se incorporó ninguna dosis de dolomita; esto significa que al agregar el

material encalante a un suelo, mejora sus propiedades físicas, facilitando la disponibilidad de los nutrientes y un adecuado desarrollo para las plantas.

Cuadro 20. Prueba de significación estadística (DUNCAN) de agregados estables al agua

Porcentaje de agregados estables al agua					
Trat./Tamices	4.75 (mm)	2 (mm)	1.18 (mm)	0.50 (mm)	0.25 (mm)
T4 (1.545 t/ha)	36.53 a	25.7 a	29.5 a	18.92 a	18.93 a
T3 (1.189 t/ha)	30.31 a	20.8 ab	24.2 a	18.09 a	18.08 a
T2 (0.713 t/ha)	19.7 b	20.36 ab	16.01 b	16.7 a	12.27 a
T1 (0.356 t/ha)	18.9 b	14.7 b	14.3 bc	17.85 a	15.82 a
T0 (Testigo)	18.54 b	13.6 b	10.81 c	16.20 a	18.93 a

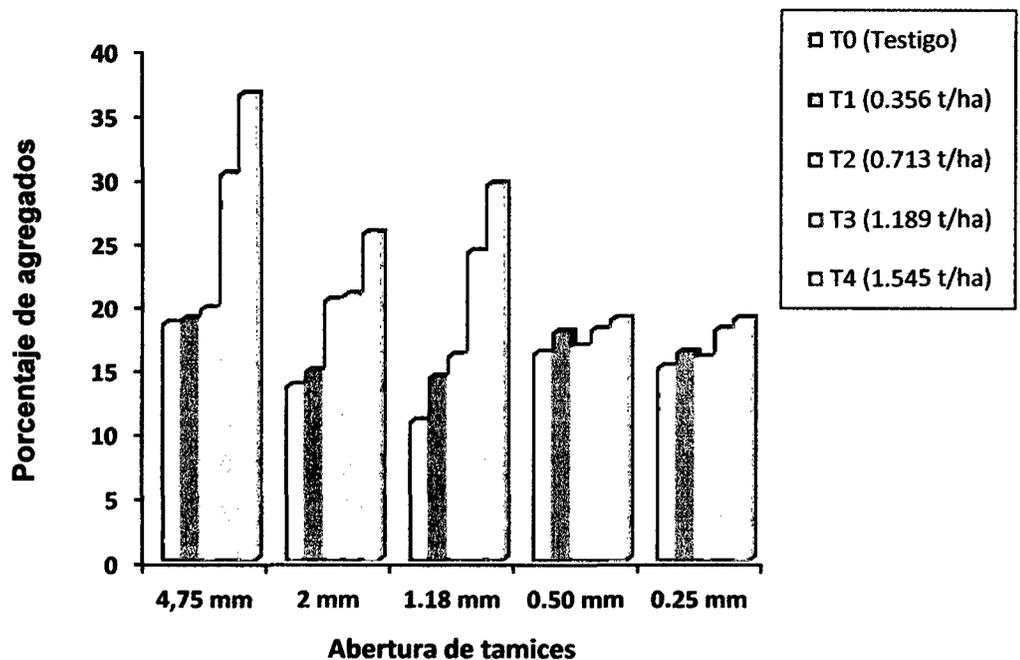


Figura 4. Porcentaje de agregados estables al agua

En los tamices de 0.50 y 0.25 mm no presentan diferencia estadística en ningún tratamiento pero si difieren numéricamente el tratamiento testigo con el tratamiento 4(Figura 4).

El encalado de suelos mejora la condición física del suelo en relación con la disponibilidad del agua; incrementando mayor capacidad de infiltración que reduce el escurrimiento e incrementa la cantidad de agua disponible para los cultivos. Para que todo este proceso suceda es necesario que el agua ocupe los poros que quedan entre los agregados por un tiempo necesario para que se penetren a través de las raíces; en este proceso los agregados son fundamentales ya que en función a su tamaño y composición será el diámetro del poro y el agua quedara más o menos retenida y por tanto se determina los procesos de transferencia (ORELLANA, 1994). Hay que tener en cuenta que con inundaciones duraderas la estructura del suelo se deteriora o llega destruirse completamente.

Por eso se considera que el follaje de las plantas y sus residuos cubren el suelo y lo protegen de los cambios bruscos de temperatura y humedad, y de los efectos de las gotas de lluvia.

4.5. Evaluación de altura de planta

Según el análisis de varianza Cuadro 21, de altura de planta nos indica lo siguiente:

Estadísticamente no existe diferencia entre bloques en el mes inicial (mayo) antes de aplicar la dolomita y en el mes de junio un mes después de incorporar el material encalante. Si existe diferencia estadística entre bloques en los meses de julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre.

Existe diferencia significativa y altamente significativa entre tratamientos en el mes inicial (mayo) y en los meses de junio, julio, agosto, setiembre, octubre y noviembre.

El coeficiente de variación se encuentra en rangos de resultados variables.

Cuadro 21. Análisis de varianza de altura de planta

FV	GL	inicio	Jun.	Jul.	Agos.	Set.	Oct.	Nov.
		CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM
Bloque	2	2651.52 NS	558.302 NS	558.302 *	578.846 *	662.98 *	555.8 *	582.93 *
Tratamiento	4	7915.16 *	2776.72 *	2776.72 **	3524.2 **	4348.53 **	5084.15 **	5419.52 **
Error	158	5044.51	218.958	218.958	223.57	226.18	227.34	231.86
Total	41994.7							

* Significación estadística al 5% de probabilidad

** Significación estadística al 1% de probabilidad

NS No existe diferencia significativa

En el Cuadro 22 se muestra la prueba de Duncan; en el mes inicial (mayo) antes de aplicar dolomita hay diferencia estadística entre tratamientos teniendo al T3 numéricamente mayor en promedio.

En los meses de junio a noviembre después de incorporar el material encalante; en T0 (testigo) y T4 (1.545 t/ha), existe diferencias estadísticas y numéricamente el T4 es mayor en promedio y el que mejor resultado mostró en altura de planta frente a los demás tratamientos.

Cuadro 22. Prueba de significación estadística (DUNCAN) de promedios en altura de planta

Promedios de altura de planta							
Trat. /meses	Inicio	Jun.	Jul.	Agos.	Set.	Oct.	Nov.
T4 (1.545 t/ha)	42.20 a	47.19 a	54.96 a	60.96 a	68.39 a	73.21 a	77.39 a
T3 (1.189 t/ha)	43.32 a	45.20 ab	48.78 b	52.94 b	56.61 b	60.95 b	65.63 b
T2 (0.713 t/ha)	42.39 ab	45.08 ab	48.19 b	51.27 b	54.46 b	58.67 b	62.72 b
T1 (0.356 t/ha)	35.94 b	37.31 b	40.10 bc	42.81 bc	43.37 c	46.30 c	49.09 c
T0 (Testigo)	33.34 b	35.7 b	37.62 c	38.78 c	40.20 c	43.05 c	47.98 c

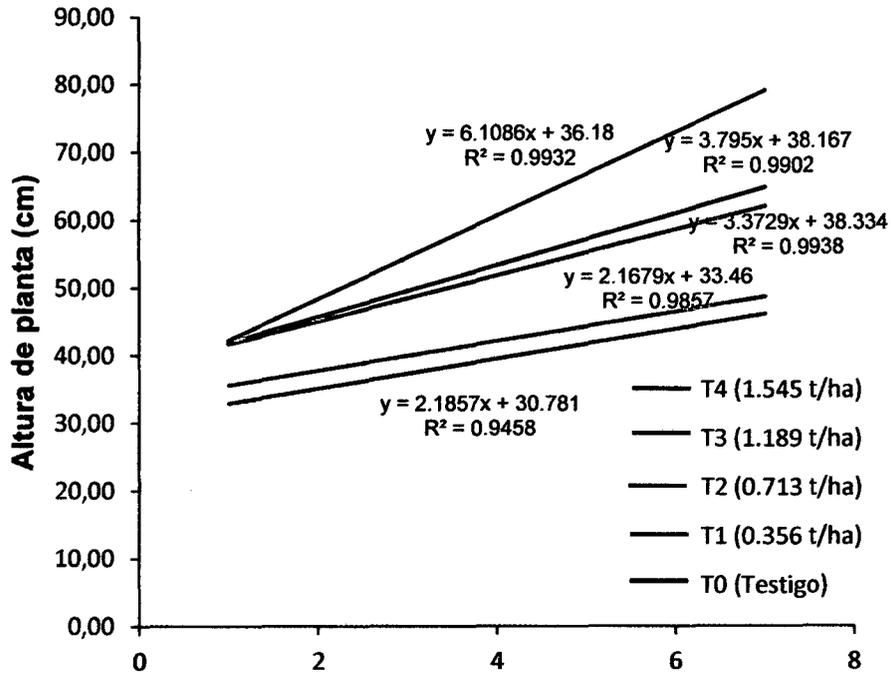


Figura 5. Variación de altura de planta, en relación a la dosis de dolomita

El mayor efecto benéfico del encalado de suelos ácidos es la reducción en la solubilidad del Al^{3+} y Mn^{3+} . Estos dos elementos, aún cuando están presentes en bajas concentraciones, son tóxicos para la mayoría de cultivos. El exceso de Al interfiere la división celular en las raíces de las plantas y esta es la razón por la cual el sistema radicular de las plantas que crecen en suelos ácidos es atrofiado y pobremente desarrollado.

La presencia de altas concentraciones de Al en la solución del suelo inhiben también la absorción de Ca^{2+} y Mg^{2+} por las plantas. Cuando se añade material encalante al suelo, el incremento en pH induce la precipitación del Al^{3+} y Mn^{3+} como compuestos insolubles removiéndolos de esta forma de la solución del suelo y contribuyendo a un adecuado crecimiento para los cultivos.

Los resultados obtenidos en tratamiento testigo; demuestra que el aluminio obstaculiza la translocación de nutrientes a la parte aérea, los cuales se manifiestan como deficiencias nutricionales principalmente de P, Ca y Mg (GIL, 1995).

En la Figura 5 podemos observar el gráfico, que la ecuación lineal en las diferentes dosis aplicadas es ascendente; es decir conforme se aumentó la dosis de dolomita mayor es el incremento en altura de planta teniendo al T4 con una mayor pendiente y mejor resultado; el coeficiente de determinación es positivo ($R^2 = 0.993$) si comparamos con los demás tratamientos las ecuaciones lineales indican que las dosis de dolomita en T3, T2, T1 tuvieron menores efectos en altura de planta.

4.6. Evaluación de número de hojas

Según el análisis de varianza, Cuadro 23 del número de hojas, nos indica lo siguiente:

Cuadro 23. Análisis de varianza del número de hojas

FV	GL	inicio	Jun.	Jul.	Agos.	Set.	Oct.	Nov.
		CM						
Bloque	2	63.3 *	67.11 *	49.33 *	39.08 *	47.9 *	44.81 *	42.19 *
Tratamiento	4	241.11 **	268.81 **	282.89 **	227.31 **	238.27 **	238.57 **	231.25 **
Error	158	15.18	17.08	17.56	17.58	15.54	15.28	15.09
Total	41994.7							

* Significación estadística al 5% de probabilidad

** Significación estadística al 1% de probabilidad

Existe significación estadística entre bloques. Existe diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos indicándonos que la contribución de dolomita en diferentes dosis tiene niveles significativos en la evaluación del número de hojas.

El coeficiente de variación se encuentra en rangos de resultados variables.

En el Cuadro 24 se observa que en el mes inicio (mayo) antes de aplicar dolomita el T3 es el que presenta mayor promedio seguido del T2, estadísticamente T0, T1 y T2 son iguales; lo mismo se puede decir que T3 y T4 no presentan diferencia estadística. Después de aplicar el material encalante en los meses de junio a noviembre el T4 es el que presentó diferencia estadística y mayor promedio frente a los demás tratamientos. El tratamiento testigo es el que presentó menor valor en promedio en comparación con el tratamiento 4 (1.545 t/ha) donde se aplicó la mayor dosis de dolomita y esto demuestra que el encalado ayuda en la disponibilidad de nutrientes que son esenciales como el calcio y magnesio que desempeñan funciones en el desarrollo de las plantas.

Cuadro 24. Prueba de significación de número de hojas

Trat./Meses	Promedios de número de hojas								
	Inicio	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre		
T4 (1.545 t/ha)	8.30 b	15.94 a	16.67 a	16.78 a	17.48 a	17.55 a	18.2 a		
T3 (1.189 t/ha)	9.39 b	12.48 ab	13.55 ab	13.80 ab	14.45 ab	14.73 ab	15.1 ab		
T2 (0.713 t/ha)	11.94 a	12.45 b	12.76 b	12.97 b	13.18 b	14.6 b	17.82 b		
T1 (0.356 t/ha)	12.30 a	10.52 b	11.18 b	11.97 b	12.21 b	12.30 b	12.36 bc		
T0 (Testigo)	11.72 a	8.48 b	9.06 b	9.52 b	10.27 b	10.33 b	10.55 c		

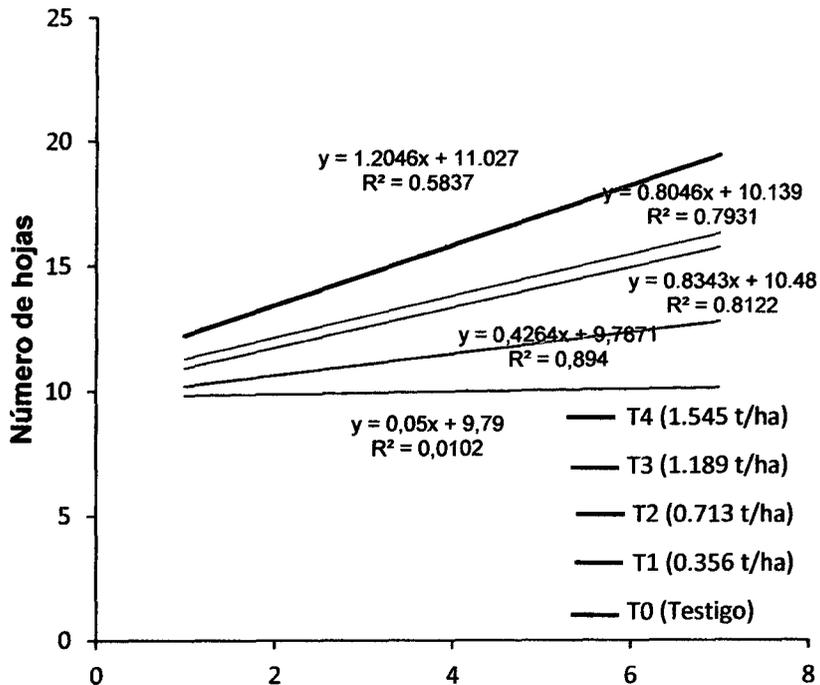


Figura 6. Variación de número de hojas, en relación a la dosis de dolomita

El magnesio es un componente de la clorofila la sustancia responsable de la fotosíntesis; la falta de este elemento reduce la tasa de fotosíntesis. Sin embargo, solamente alrededor de 10% del contenido de Mg de las plantas está asociado con la clorofila ya que también desempeña otras funciones (NAVARRO, 2003).

El calcio es acumulado por las plantas, especialmente en las hojas donde se deposita irreversiblemente, es un elemento esencial para el crecimiento de meristemas y particularmente para el crecimiento y funcionamiento apropiado de los ápices radicales, citado por (GIL, 1995).

La deficiencia de calcio está generalmente asociada a efectos de acidez del suelo. El calcio se absorbe como el catión divalente Ca^{2+} y es casi inmóvil y es por esto que las deficiencias se observan primeramente en los tejidos jóvenes, las deficiencias de calcio parecen tener dos efectos en la planta: causan una atrofia del sistema radical y le dan una apariencia característica a la hoja. Las hojas se muestran cloróticas, enrolladas y rizadas (CEPEDA, 1991).

En la Figura 6 se observa que la ecuación lineal en las diferentes dosis aplicadas es ascendente; es decir conforme se aumentó la dosis de dolomita mayor es el incremento en número de hojas teniendo al T4 con una mayor pendiente y mejor resultado; el coeficiente de determinación es positivo ($R^2 = 0.583$) si comparamos con los demás tratamientos las ecuaciones lineales indican que las dosis de dolomita tuvieron menores efectos en número de hojas.

4.7. Evaluación de análisis de suelos

Cuadro 25. Promedio de análisis de suelo

Número de Muestra	pH	M.O	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES Cmol (+) / kg				CIce	%	%	%
Campo	1:1	%	%	ppm	kg/ha	Ca	Mg	Al	H		Bas.Camb.	Ac.Camb	Sat. Al
Muestreo inicial	4.0	3.1	0.14	11.5	169.7	2	0.3	3.3	1.2	6.8	33.82	66.18	48.53
T0	4.27	3.57	0.16	11.9	182.7	2.3	0.47	2.97	1.43	7.17	38.63	61.37	41.42
T1	4.45	4.0	0.18	13.0	192.18	3.00	0.57	2.77	1.1	7.44	47.98	52.02	37.23
T2	4.63	4.7	0.21	14.3	235.23	3.5	0.8	2.57	0.8	7.67	56.06	43.94	33.51
T3	4.78	4.93	0.22	16.2	281.00	3.9	1.13	2.00	0.47	7.5	67.07	32.93	26.67
T4	4.91	5.1	0.23	17.4	327.4	4.2	1.23	1.7	0.3	7.43	73.08	26.92	22.88

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS.

4.7.1. Análisis de pH

En el Cuadro 25 y Figura 7 se observa que los datos obtenidos en pH tiene un aumento en forma ascendente cuando mayor es la dosis de dolomita; mayor es el pH, en este caso la dosis con mejor resultado corresponde tratamiento 4 (1.545 t/ha) con un pH de 4.91 que se encuentra en un nivel de fuertemente ácido.

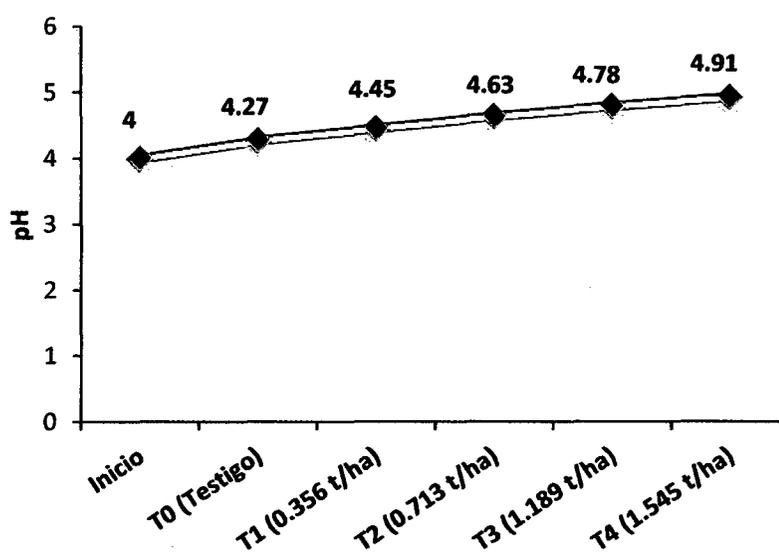


Figura 7. Promedios de pH del suelo

Estos resultados están en concordancia con los encontrados por SERPA y GONZALES (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. CEPEDA (1991) sustenta que el encalado sube el pH del suelo; esto ocurre

debido a que el calcio reemplaza dos iones de H^+ en el complejo de intercambio catiónico. Los iones H^+ se combinan con los iones hidroxilos para formar agua. En esta forma el pH aumenta debido a que la concentración de los iones H^+ que son la fuente de acidez del suelo disminuye. Por ello varios autores mencionan que tanto cal o dolomita son las dos alternativas para reducir o neutralizar la acidez del suelo y esto hace que, sugiere el uso de enmiendas; sea a través de la adición de cenizas o cal. (ALVARADO, 2004).

4.7.2. Análisis de materia orgánica

Se observa en el Cuadro 25 y Figura 8; al inicio la materia orgánica es de 3.1 y se encuentra en un nivel medio, sin embargo en las mayores dosis incorporadas como son T2 (4.7%), T3 (4.93%), T4 (5.1%) se encuentran en un nivel alto de materia orgánica.

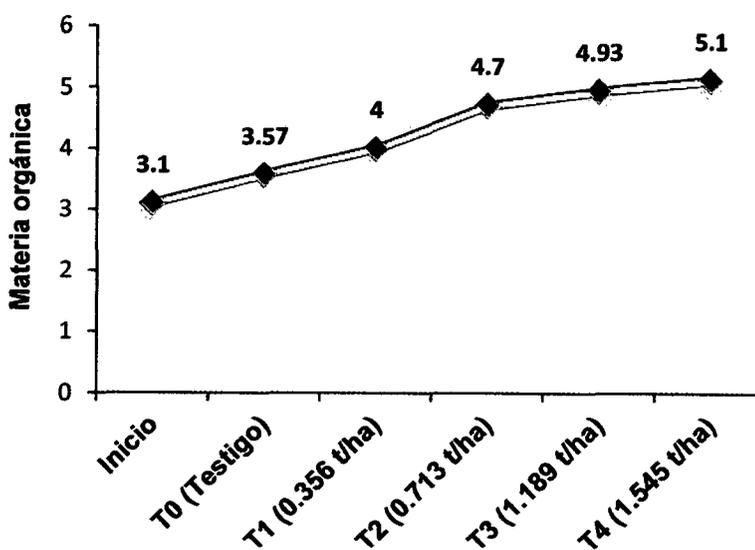


Figura 8. Promedios de materia orgánica del suelo

La aplicación de material encalante con la incorporación de restos orgánicos provocó un incremento en la actividad y población microbiana que sirve como fuente de energía y carbono de toda la microflora presente en los suelos, contribuyendo a un incremento de materia orgánica.

4.7.3. Análisis de fósforo

En la Figura 9 se observa que los valores obtenidos al inicio y en T0, T1 y T2 indican que los niveles de fósforo se encuentran bajos; y en los tratamientos 3 y 4 se encuentran en niveles normales.

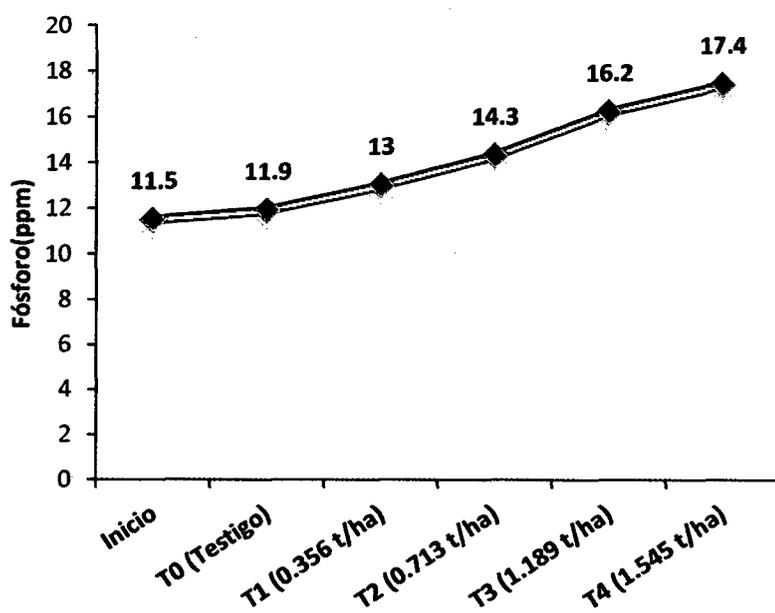


Figura 9. Promedios de fósforo en el suelo

Los resultados positivos encontrados es respaldado por (CEPEDA, 1991), quien afirma que la aplicación de un material encalante hace más disponible al fósforo, esto sucede principalmente, porque en los suelos ácidos el fósforo es fijado por el hierro y el aluminio soluble, ésta reduce la solubilidad de ambos ya que pueden precipitarse como hidróxidos de hierro $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y aluminio $\text{Al}(\text{OH})_3$ lo que ocasiona que se incrementa la disponibilidad del fósforo para las plantas en el suelo en las formas asimilables que son el ortofosfato primario (H_2PO_4^-) y ortofosfato secundario.

4.7.4. Análisis de potasio

En la Figura 10 se observa que al inicio y en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 se encuentran en niveles bajos de potasio (Cuadro 7 y Figura 10); sin embargo el tratamiento 4 obtuvo mayor potasio en el suelo aún así se encuentra en un nivel bajo .

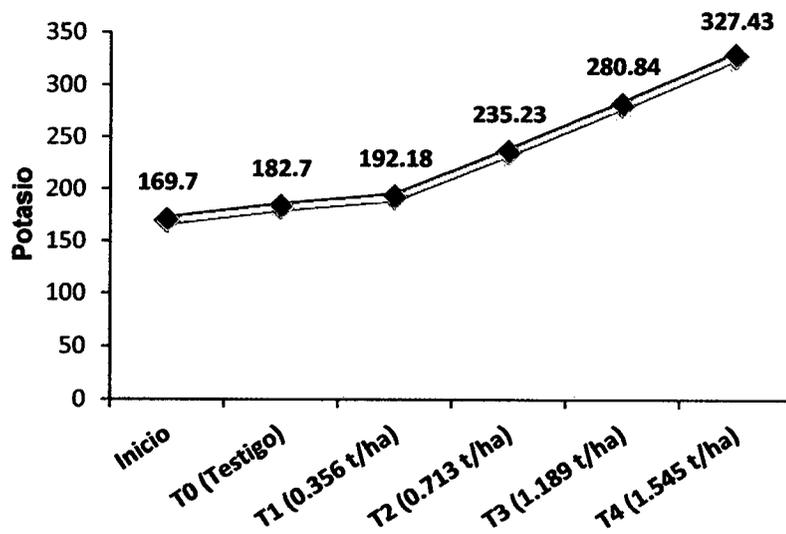


Figura 10. Promedios de potasio en el suelo

Los materiales encalantes por sus efectos en el pH, provoca la solubilidad de algunos nutrientes como el P y la insolubilidad de elementos tóxicos como el aluminio y el hierro, pero en el caso del potasio lo hace más eficaz en la nutrición de la planta, cuando ésta es abundante en los suelos las plantas absorben más potasio del que necesitan. El incremento que se observa en los niveles del potasio se debe a la abundante incorporación de los restos vegetales como son la macorilla y rabo de zorro; al adicionar estos residuos vegetales al suelo hay un incremento de materia orgánica del suelo y ésta es una sustancia muy compleja, de naturaleza variable y de origen diverso y contienen minerales como calcio, fósforo, azufre, hierro, magnesio y potasio y al incorporar dolomita a un suelo provoca un incremento en la actividad microbiana favoreciendo a la disponibilidad del Potasio (CEPEDA, 1991).

4.7.5. Análisis de calcio y magnesio

En la Figura 11 se observa que tanto para calcio y magnesio la curva va en forma ascendente conforme se aumentó la dosis de dolomita; es decir que en el tratamiento 4(1.545 t/ha) se obtuvo mejores resultados en ambos elementos; este aumento ocurre a consecuencia del desplazamiento de cationes como el aluminio intercambiable del complejo de intercambio por efecto de la aplicación de dolomita.

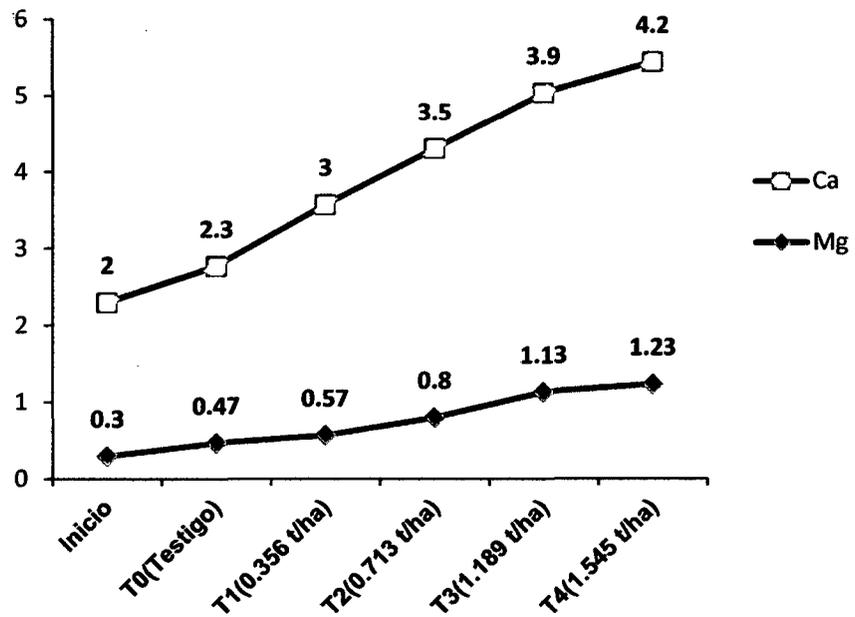


Figura 11. Promedios de calcio y magnesio en el suelo

Por lo general, la deficiencia de magnesio se presenta en suelos con problemas de acidez y bajo contenido de calcio. Por esta razón la práctica de encalado de suelos es una alternativa eficaz en suelos ácidos ya que además de corregir la acidez del suelo, también suple calcio y magnesio al cultivo. Por ser una enmienda que reacciona lentamente en el suelo, la dolomita mantiene un efecto residual prolongado, al contrario de los fertilizantes que son más solubles y susceptibles de perderse por lixiviación (ZAPATA, 2004).

ALVARADO (2004) 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 suelos ácidos con concentraciones elevadas en aluminio intercambiable.

El magnesio es un elemento importante en la nutrición de las plantas ya que forma parte de la molécula de la clorofila, además este nutriente participa en la fotosíntesis como activador de la respiración (GIL, 1995).

4.7.6. Análisis de aluminio e hidrógeno

Se observa en la Figura 12 que el contenido de aluminio tuvo una disminución apreciable de 3.3 a 1.7 meq. /100 g con dosis de dolomita de 1.545 t/ha lo cual se puede considerar que a este nivel de dosis se encontró mejores resultados.

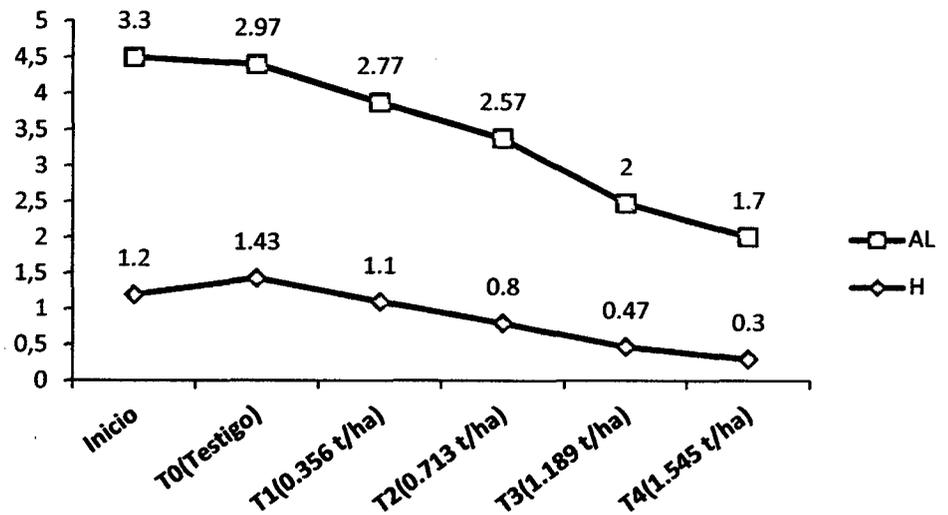


Figura 12. Promedios de aluminio e hidrógeno en el suelo

KAMPRATH *et al.* (1979) indicó que ocurre una disminución en el contenido de Al intercambiable a medida que se incrementan las cantidades de material encalante.

Por otro lado BOHN (1993) afirma que altos niveles de aluminio en el suelo reducen el crecimiento de raíces inhibiendo su elongación y penetración en el suelo, reduciendo la absorción de agua y nutrientes.

Se considera que el aluminio es un elemento no esencial y tóxico para la planta, según investigaciones se encontró que pequeñas concentraciones tienen efecto benéfico sobre las plantas actuando como catalizador en la fotosíntesis, pero altas concentraciones floculan las proteínas de las plantas y causan pérdida de calcio y potasio de las células dañadas.

4.7.7. Análisis de bases cambiables y acidez cambiable

En la Figura 13 y 14 se observa la relación que existe entre el porcentaje de bases cambiables y acidez cambiable los valores nos indican que cuando menor es el porcentaje de bases mayor es el porcentaje de acidez cambiable.

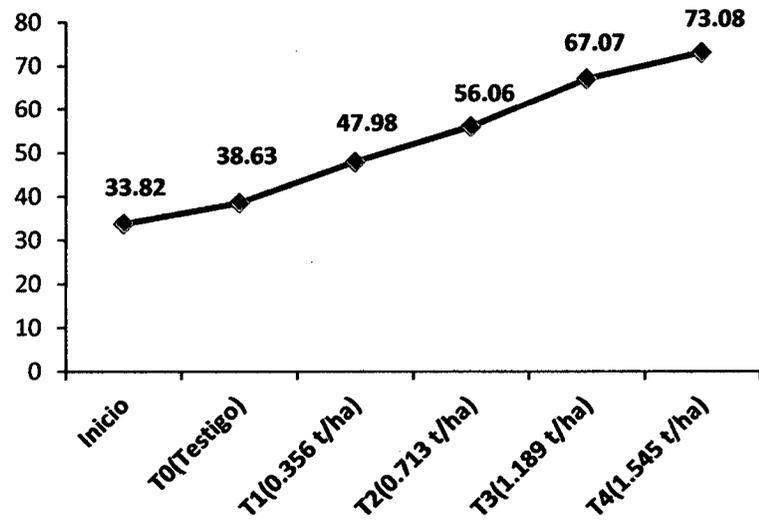


Figura 13. Promedio de porcentaje de bases cambiables

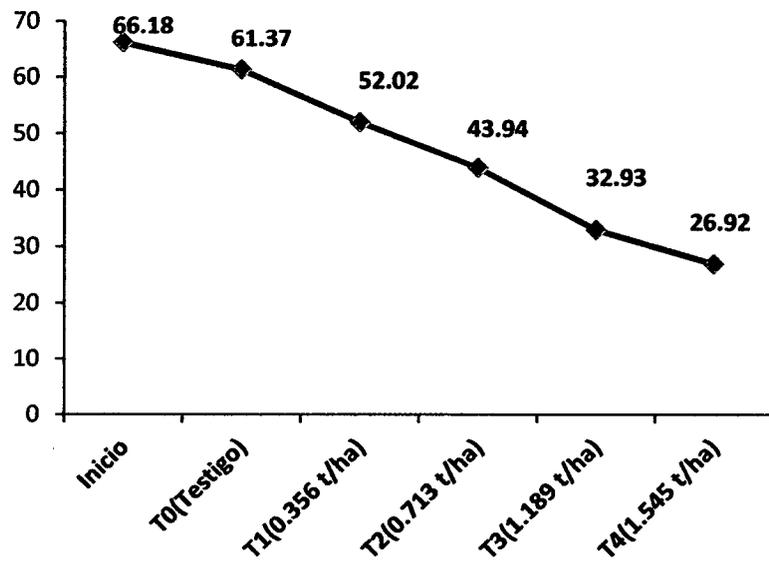


Figura 14. Promedio de porcentaje de acidez cambiables

La alta concentración de Al^{3+} intercambiable, baja disponibilidad de P, Ca^{2+} , Mg^{2+} y algunos micronutrientes, y ocasionan toxicidad en las plantas debida al Al^{3+} y al Mn^{+} , características provocadas por las condiciones

prevalcientes en los trópicos húmedos que producen una acidificación progresiva (QUIROZ y GONZALES, 1979).

Por lo que se demuestra con estos resultados que el tratamiento 4 (1.545t/ha) es la dosis donde se obtuvo mejores resultados esto permite no solo un incremento de Ca^{2+} y Mg^{2+} como nutrientes, sino una mejora en saturación de bases, disminución de la acidez cambiante y el incremento en el pH ayuda a solubilizar elementos esenciales para las plantas (OSORIO, 2006).

V. CONCLUSIONES

1. El efecto de la dolomita en las propiedades físicas; existe significación estadística entre tratamientos en densidad aparente, porcentaje de porosidad y análisis de agregados teniendo al tratamiento 4 (1.545 t/ha) con resultados positivos obtenidos en la investigación.
2. Los resultados obtenidos en el análisis químico nos muestra valores favorables en pH pasó de un nivel extremadamente ácido a fuertemente ácido; en materia orgánica de un nivel bajo a alto; en fósforo de un nivel bajo a normal y potasio se mantuvo en un nivel bajo.
3. En el trabajo de investigación se concluye que el tratamiento 4 (1.545 t/ha) tuvo su mayor efecto en la disminución de aluminio e hidrógeno y por consiguiente un menor porcentaje de saturación de acidez cambiante.
4. Los resultados obtenidos en altura de planta y número de hojas se mostraron efectos positivos en el tratamiento 4 (1.545 t/h).

VI. RECOMENDACIONES

1. Aumentar mayores niveles dosis de dolomita ; por el método de dispersión y así obtener mejores resultados en las propiedades físicas y químicas, tratando de neutralizar la acidez del suelo y el pH alcance un nivel ideal para el desarrollo normal de los cultivos y al mismo tiempo reduzca el contenido de elementos tóxicos como el aluminio y manganeso.
2. Realizar trabajos de investigación con diferentes materiales encalantes y a la vez deben ir asociados con leguminosas que ayuden a la incorporación de materia orgánica.
3. Ampliar el tiempo de evaluación del efecto de la dolomita sobre las propiedades físicas.

VII. ABSTRACT

The present work of investigation realized in the property of the country "Isminio" located in the hamlet Ricardo Palma Km 53, Luyando district, Leoncio Prado province, department of Huánuco, the effect of the dolomite was studied in the physical and chemical properties of the soil in the culture of cocoa (*Theobroma cocoa* L.) under conditions of acidity. The Design of Blocks completely at random was used (DBCA), with 5 treatments and 3 repetitions. The treatments agreed to the proportion; T0 = 0 t/ha, T1 = 0.356 t/ha, T2 = 0.713 t/ha, T3 = 1.189 t/ha, T4 = 1.545 t/ha. The effect of the dolomite in the physical properties; it had statistical significance between treatments in apparent density, percentage of porosity and aggregates analysis having to the treatment 4 (1.545 t/ha) with positive results obtained in the investigation. The results obtained in the chemical analysis it shows us favorable values in pH it happened from an extremely acid level to strongly acid; in organic matter of a low level to high place; in phosphorus of a low level to normal and potassium was kept in a low level. The treatment 4 (1.545 t/ha) had his major effect in the decrease of aluminum and hydrogen and consequently a minor percentage of exchangeable acidity saturation. The results obtained in height of plant and number of leaves showed positive effects in the treatment 4 (1.545 t/h).

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, R. 1984. Evaluación del efecto de enmiendas controladoras de la acidez y fuentes de fósforo en suelos ácidos. Tesis Ing. Agr. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Programa Académico de Agronomía. 79p.

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

ARÉVALO, L. y SANCO, M. 2002. Manual de Laboratorio para Análisis Físico Químico del Suelo. S.I. ICRF – CHEMONICS. 48p.

ALVARADO, A. y 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/.../summary_0286-5063246_ITM, dctos. 15 Feb. 2011).

ARVILDO, J. 2009. Efecto de las enmiendas orgánicas en las propiedades físicas – químicas de un suelo degradado en Supte San Jorge, Tingo María. Ing. Recursos Naturales Renovables. 80 p.

- BAVER, L. y FARWOETH, R. 1972. Soil structure effects in the growth of sugar beets. Soil Science Society of America Proceedings, Madison. 45-48 p.
- BAZÁN, R., ROMERO, C., VALENCIA, M., NAZARIO, J., GARCÍA, S. 2000. Guía de Prácticas de Edafología. Departamento de Suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. 49 p.
- BEAR, J. 1969. Los suelos en relación con el crecimiento de los cultivos. Editorial omega, s.a. Casanova, Barcelona. 368 p.
- BENITES, J. 1984. Sistemas intensivos con rotación de cultivos en el ámbito del proyecto especial alto Huallaga. Tingo María, PEAH, 14p. [En línea]: **WORLDAGROFORESTRY**, (<http://www.worldagroforestry.org/downloads/publications/PDFS/B14535.pdf>; dctos. 13 Feb. 2011).
- BOHN, B. y NEAL, A. 1993. química del suelo. 1era edición, impreso en México 371 p.
- CENTURION, J. 1987. Efectos del sustrato y dolomita en la fase final de una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* E. King). En suelo degradados de Tingo María. Ing. Recursos Naturales Renovables. 96 p.
- CEPEDA, D. 1991. Química de Suelos. 2° Ed. México. Editorial Trillas S.A.

- COLEMAN, N. y THOMAS, G. 1967. The Basic chemistry of soil de acidity. *Agronomy journal*. [En línea]: SOIL.SCIJOURNALS, (<http://soil.scijourals.org/cgi/content/full/71/3/1038> No 12: 1- 41; dctos. 20 Ene. 2011).
- GIL, F. 1995. Elementos de fisiología vegetal. Relaciones hídricas. Nutrición mineral. Transporte. Metabolismo. Ediciones mundi – prensa. Madrid, Barcelona. 1147 p.
- GOMERO, O. 1999. Manejo ecológico de suelos; conceptos, experiencias y técnica. Lima, Perú. 95 p.
- HILLEL, D. 1982. Introduction to soil physics. 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA. 470 p.
- ICT. 2004. Manejo y transferencia de tecnología del cacao en el Perú. 1ra Edición. Chiclayo, Perú. 387 p.
- KAMPRATH, E. 1970. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. International Soil Testing. North Carolina – Estados Unidos. 24 p. [En línea]: REDPAY. AVEPAGRO, (www.redpav.avepagro.org.ve/agrotrop/v31/v316a004; dctos. 15 Feb. 2011).

- KAY, B. 1998. Soil structure and organic carbon: Soil processes and the carbon cycle a review. Ed. Lal, R., Kimble, J., Follett, R. and Stewart, B.. CRC Press, Estados Unidos. 169-197 p.
- MOLINA, E. y ROJAS, A. 2005. Efecto del encalado en el cultivo de naranja valencia en la zona norte de Costa Rica. [En línea]: MAG, (http://www.mag.go.cr/rev_agr/inicio.pdf; dctos. 13 Feb. 2011).
- MONTE, J. 1966. Estudio comparativo de crecimiento e nutricional mineral de plántulas de Cacaueiro (*Theobroma cacao*) e Seringueira (*Hevea brasiliensis*). CEPEC. Informe Técnico. 29 p.
- NAVARRO, G. 2003. Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2° Ed. Mundi Prensa. España. 76 p.
- OADES, J. y TISDALL, M. 1980. Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. *Plant Soil*. 319-337 p.
- ORELLANA, J. y PILATTI, M. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del suelo* 12(2):75-80
- OSORIO, C. 2006. Efecto de la roca fosfórica, dolomita y cal sobre el pH, la acidez cambiante, el contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio en un suelo muy ácido de Satipo. Instituto de Investigación - Facultad de Ciencias Agrarias Satipo. [En línea]: UNCP, (<http://www.uncp.edu.pe/>

[ci/proyectos/trabajos/satipoefecto%20de%20la%20roca%20fosforica,%20dolomita%20y%20cal.pdf](http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasCientificas/Agronomia%20Tropical/at3613/arti/perez_r.htm); dctos. 06 Ene. 2011).

PÉREZ, R. 1986. Efectos del encalado en la neutralización del aluminio sobre el crecimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*). [En línea]: CENIAP, (http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasCientificas/Agronomia%20Tropical/at3613/arti/perez_r.htm); dctos. 20 Ene. 2011).

QUIROS, S. y GONZALEZ, M. 1979. Neutralización del aluminio intercambiable y aprovechamiento del fósforo en tres suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* (C. R.) 3(2):137 - 149.

ROY, S. RAYMOND, H. y JOHN, L. (1987). *Propiedades físicas y químicas del suelo*. Editorial prentice/hall internacional. 624 p.

SADZAWKA, R. y CAMPILLO, R. 1999. Acidificación de los suelos y los procesos involucrados: 93 - 103 p

SÁNCHEZ, P. 1981. *Suelos del trópico. Características y manejo*. UCA. Costa Rica. 6.14p.

SERPA, R. y GONZALEZ, M. 1979. Necesidad de cal en tres suelos "cidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 3(2):101-108.

- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Trad. LUTERS A., SALAZAR J.CNIA - Argentina. 88 p.
- ZAPATA, R. 2004. Química de la acidez del suelo. 1era edición. Mundi-prensa. España. 179 p.
- ZAVALETA, G. 1992. Edafología. El suelo en relación con la Producción. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. CONCYTEC. Lima, Perú.

IX. ANEXOS

Cuadro 26. Promedios de agregados tamizados en seco

Trat/tamices	4.75 mm	2 mm	1.18 mm	0.50 mm	0.25 mm
T0	29.09	22.4	11.73	11.17	9.1
T1	30.03	24.67	12.13	12.67	10.9
T2	33.9	24.87	12.57	11.33	10.04
T3	38.15	34.3	20.11	13.5	11.33
T4	39.97	35.09	20.77	18.3	17.12

Cuadro 27. Promedios de agregados estables al agua

Trat/tamices	4.75 mm	2 mm	1.18 mm	0.50 mm	0.25 mm
T0	18.54	13.6	10.81	16.2	15.1
T1	18.9	14.77	14.3	17.85	16.27
T2	19.7	20.36	16.01	16.7	15.82
T3	30.31	20.8	24.2	18.09	18.08
T4	36.53	25.7	29.5	18.92	18.93

Cuadro 28. Promedios de altura de planta de cacao

Trat/meses	Inicio	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
T4	42.20	47.19	54.96	60.96	68.39	73.21	77.39
T3	43.32	45.2	48.78	52.94	56.61	60.95	65.63
T2	42.39	45.08	48.19	51.27	54.46	58.67	62.72
T1	35.94	37.31	40.1	42.81	43.37	46.3	49.09
T0	33.34	35.7	37.62	38.78	40.2	43.05	47.98

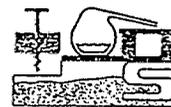
Cuadro 29. Promedios de número de hojas de planta de cacao

Trat/meses	Inicio	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
T4	8.3	15.94	16.67	16.78	17.48	17.55	18.2
T3	9.39	12.48	13.55	13.8	14.45	14.73	15.1
T2	11.94	12.45	12.76	12.97	14.18	14.6	17.82
T1	9.91	10.52	11.18	11.97	12.21	12.3	12.36
T0	11.72	8.48	9.06	9.52	10.27	10.33	10.55

Análisis de dolomita



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS



INFORME DE ANALISIS

SOLICITANTE ESPEJO S.A.
PROCEDENCIA HUANUCO / LEONCIO PRADO
MUESTRA DE DOLOMITA
REFERENCIA H.R. 1394
FECHA 06/1/08

Nº LAB	CLAVES	CaCO ₃ equiv. %	CaO %	MgO %
3	DOLOMITA	100.00	34.78	24.56



J. Mazarío
Ing. Julio Mazarío Ríos
Jefe, Laboratorio de Análisis
de Suelo, Aguas y Plantas

/rdp

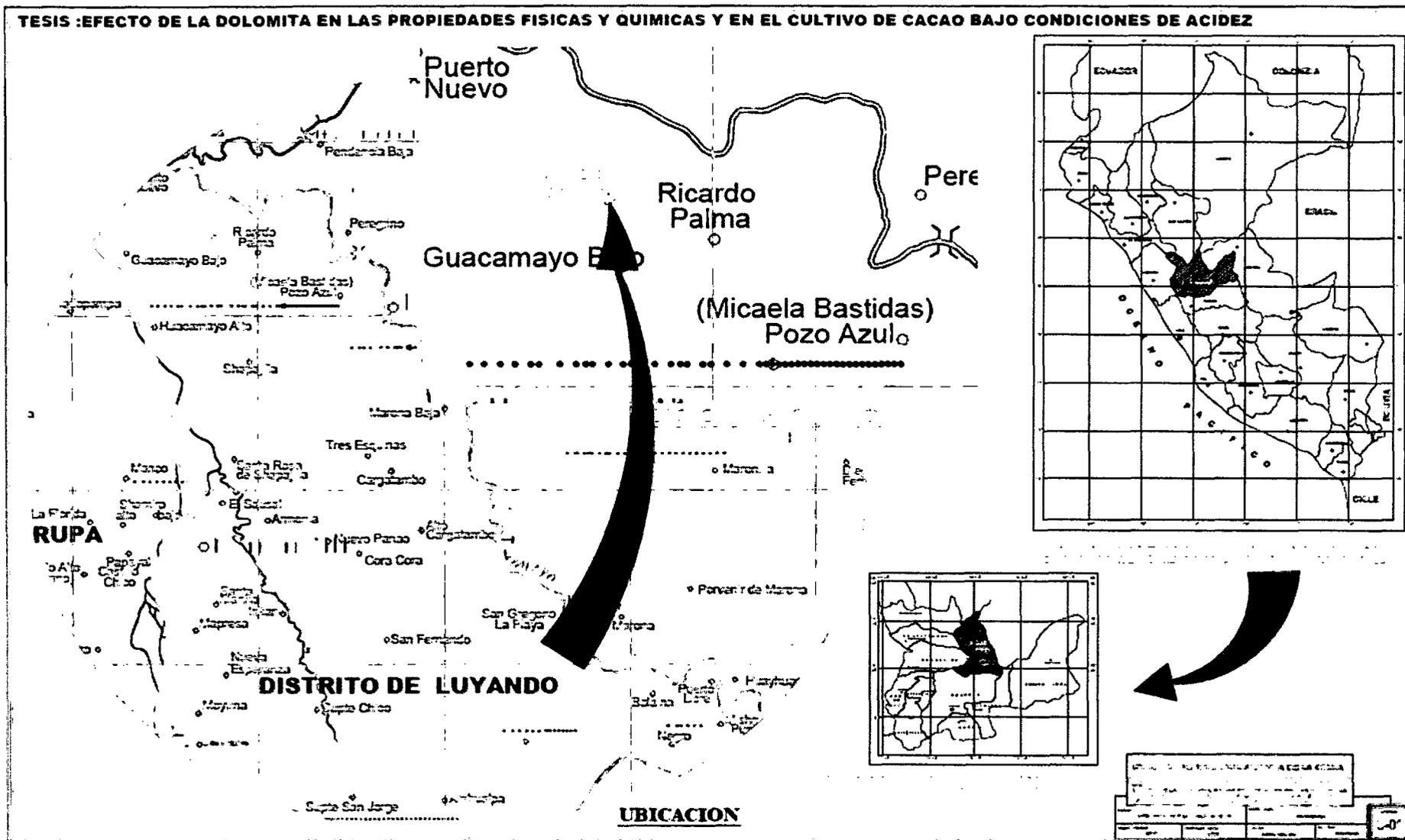


Figura 15. Mapa de ubicación

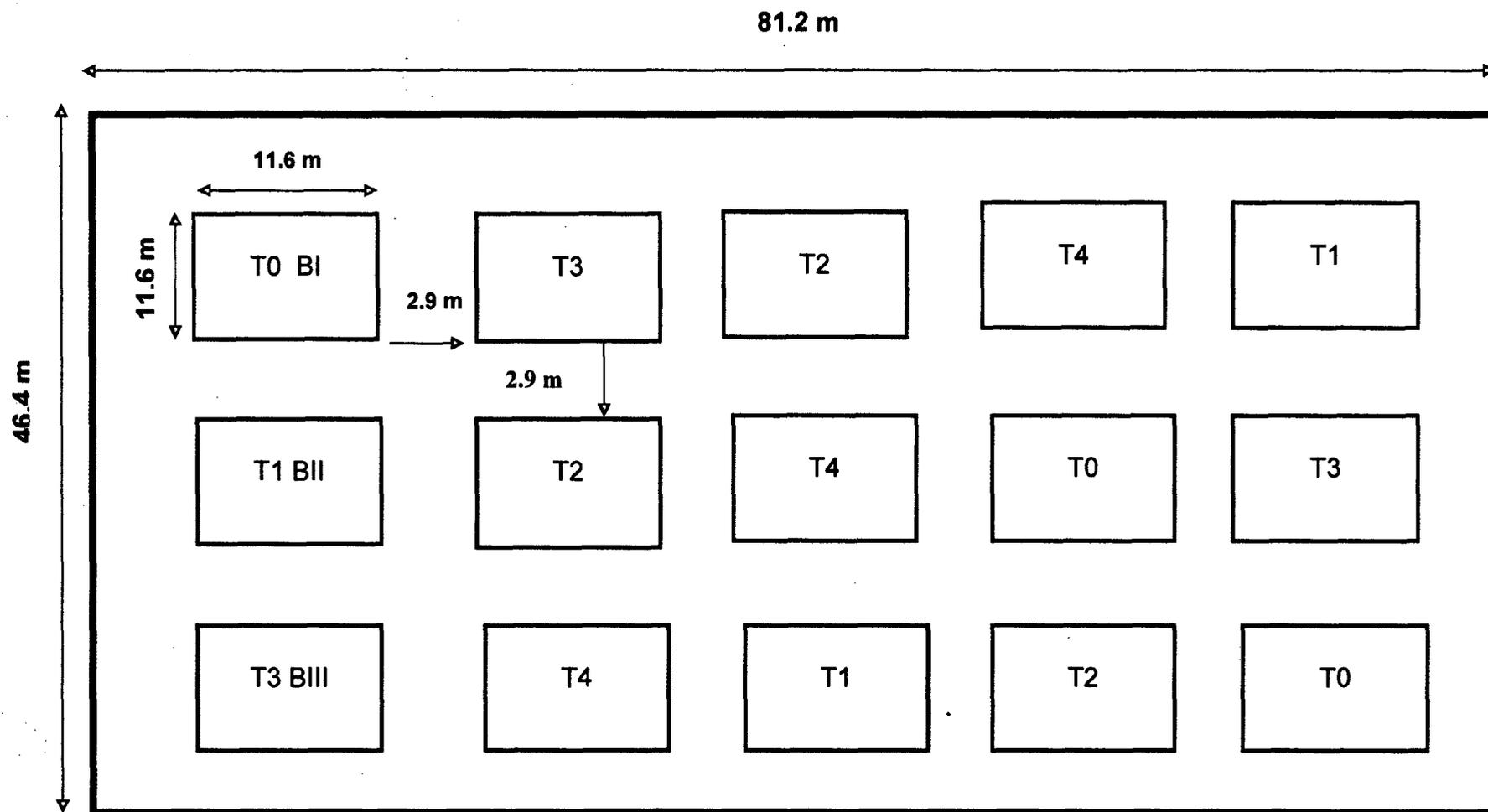


Figura 16. Distribución de las parcelas

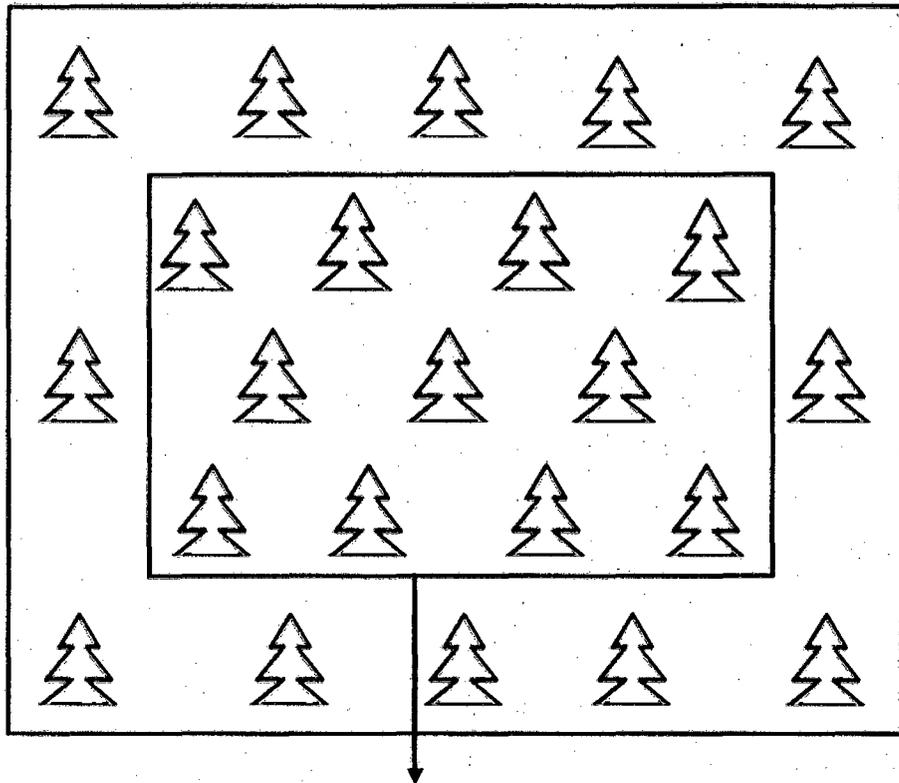


Figura 17. Número de plantas evaluadas por parcela



Figura 18. Muestreo inicial del campo experimental

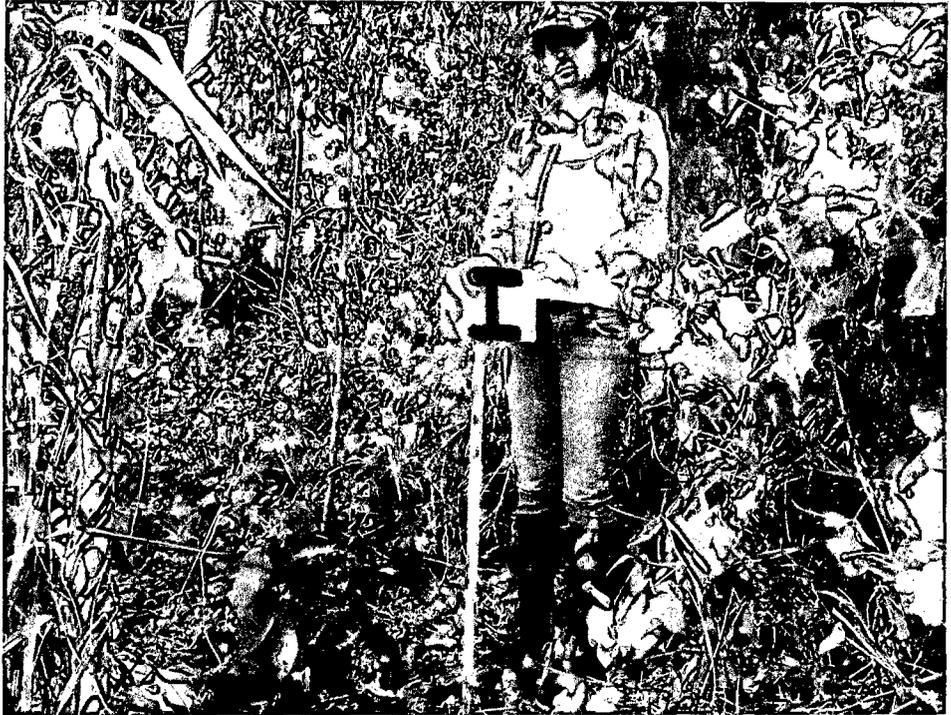


Figura 19. Bloques en las parcelas



Figura 20. Aplicación de dolomita al boleo



Figura 21. Dolomita incorporado en el suelo



Figura 22. Procedimiento para agregados estables al agua