

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“EFECTO DE DOS MATERIALES ENCALANTES Y ORGÁNICOS  
EN EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ (*Zea mays* L.) EN SIEMBRA  
DIRECTA EN UN SUELO ÁCIDO”**

**TESIS**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**LUIS HERNÁN MARROQUÍN SHAPIAMA**

**PROMOCIÓN II – 2000**

**“Líderes unasinós forjadores de nuevos paradigmas”**

**TINGO MARÍA – PERÚ**

**2003**

## DEDICATORIA

A la memoria y con eterna gratitud por su invaluable apoyo moral y económico de mi madre ZOILA, que en paz descanse.

Con eterna gratitud a mi querido padre HERNAN por su constancia, abnegación y sacrificio por hacerme un hombre de bien.

A mi hermano MARTIN la presente le sirva de estímulo para que trate de superarme y ser mejor para llegar al éxito deseado. Con el cariño de siempre a mi abuelita FLOR, por el estímulo hacia mi persona, para lograr mi formación profesional.

A los señores EDISON Y NOEMI por su gran aprecio y ayuda en la culminación del presente trabajo.

A mi hermosa y querida hija THAISS.

Para LANCY con gran cariño y con el amor de siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María, mi Alma Mater, por permitirme cristalizar mi profesión y a los profesores de la Facultad de Agronomía por haberme vertido sus sabias y valiosas enseñanzas.
- A la Empresa San Fernando S.A., financiadora del presente trabajo y el apoyo de sus profesionales.
- Al Ing° M.Sc. Carlos Huatuco Barzola, asesor, gran amigo y orientador profesional
- Al Ing° Fernando Gonzales Huiman, co-asesor, por sus consejos y ayuda técnica.
- Al Ing° Luis Mansilla Minaya, por su colaboración en la ejecución así como en los trabajos de campo.
- A los miembros del Jurado, Ings°. MSc. José Zavala S., Luis Mansilla M. y Carlos Miranda A. por la revisión del presente trabajo.
- A todos mis familiares por su ayuda oportuna en los momentos mas difíciles.
- Al Bachiller Tito Jaime Hidalgo, propietario del fundo 'Chacarita', donde se ejecutó el experimento.
- A mis amigos: Miguel Silva Ríos, René Ríos Ríos, Erick Ushiñahua Espinoza, Iván Hidalgo Hidalgo, César Mendoza Villanueva, Richar Rojas Ruiz, Williams Vásquez Saldaña, Guillermo Guerra Rengifo y Eduardo Torres Guerra, por su amistad y apoyo moral.
- Al personal técnico que labora en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	13
2.1 Generalidades .....	13
2.2 Siembra directa .....	14
2.3 Importancia y efectos de la siembra directa en las propiedades del suelo .....	15
2.4 Pasos en la adopción de la siembra directa.....	18
2.5 El cultivo de maíz en siembra directa.....	18
2.6 Acidificación de los suelos .....	19
2.7 Problemas relacionados con la acidez del suelo.....	23
2.8 Enmiendas orgánicas e inorgánicas .....	27
2.9 Respuesta de los cultivos a la aplicación de enmiendas.....	42
2.10 Encalado en suelos sin labranza .....	44
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
3.1 Ubicación del experimento.....	46
3.2 Descripción del área experimental .....	46
3.3 Análisis físico - químico del suelo e interpretación.....	47
3.4 Registros meteorológicos .....	48
3.5 Componentes en estudio.....	49

3.6	Tratamientos en estudio.....	51
3.7	Diseño experimental.....	51
3.8	Características del campo experimental.....	53
3.9	Conducción del experimento .....	54
3.10	Observaciones registradas .....	57
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	61
4.1	Del rendimiento de grano de maíz .....	61
4.2	De la longitud y diámetro de mazorca .....	70
4.3	Producción de materia seca de la parte aérea .....	78
4.4	Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en las propiedades químicas del suelo .....	83
V.	CONCLUSIONES.....	97
VI.	RECOMENDACIONES.....	99
VII.	RESUMEN.....	100
VIII.	BIBLIOGRAFÍA .....	102
IX.	ANEXO .....	107

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
1. Niveles críticos de saturación por aluminio para varios cultivos anuales a 90 - 95 % de producción máxima .....	25
2. Análisis químico del estiércol del ganado vacuno y gallinaza.....	30
3. Composición química de los materiales encalantes inorgánicos...	35
4. Análisis físico - químico del suelo experimental .....	48
5. Datos meteorológicos registrados durante el experimento.....	49
6. Análisis químico de los materiales encalantes .....	50
7. Análisis del estiércol de vacuno y gallinaza .....	50
8. Descripción de los tratamientos en estudio .....	52
9. Esquema del análisis de variancia .....	53
10. Prueba de significación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el rendimiento de grano del maíz para los diferentes tratamientos .....	62
11. Efecto independiente de los estiércoles y calizas en el rendimiento de grano del maíz .....	66
12. Efecto de la aplicación combinada de las enmiendas en el rendimiento de grano del maíz .....	68
13. Efecto comparativo de la aplicación independiente y combinada de las enmiendas químicas y orgánicas en el rendimiento de grano del maíz .....	70

14. Prueba de significación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) de la longitud de mazorca.....	72
15. Prueba de significación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) del diámetro de mazorca.....	73
16. Efecto de la fertilización inorgánica en la longitud y diámetro de mazorca (Duncan, $\alpha = 0.05$ ).....	76
17. Efecto de las enmiendas en la longitud y diámetro de mazorca en relación a los testigos (Duncan, $\alpha = 0.05$ ).....	77
18. Efecto de la combinación de las enmiendas en la longitud y diámetro de mazorca (Duncan, $\alpha = 0.05$ ).....	78
19. Prueba de significación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el rendimiento de materia seca.....	80
20. Efecto de la aplicación de las enmiendas aplicadas en combinación ..	82
21. Efecto de las enmiendas aplicadas solas y en combinación .....	83
22. Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en el pH del suelo ...	84
23. Efecto de las enmiendas orgánicas e inorgánicas en el contenido de materia orgánica del suelo.....	87
24. Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en la capacidad de intercambio catiónico.....	90
25. Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en el contenido de NPK.....	92

26.	Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en la saturación de aluminio.....	95
27.	Análisis de variancia del rendimiento de grano, longitud y diámetro de mazorca, biomasa y altura de planta del cultivo de maíz.....	108
28.	Valores promedio del peso de panca .....	109
29.	Valores promedio del porcentaje de germinación en campo definitivo.....	110
30.	Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) de la altura de planta .....	111
31.	Número de plantas establecidas al final del período del cultivo de maíz en las parcelas experimentales.....	111
32.	Análisis de rentabilidad beneficio / costo .....	112
33.	Costo de producción de los tratamientos aplicados en el experimento.....	113



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pág.</b>
1.	Proceso de acidificación del suelo a través de la reacción del $Al^{+++}$ con el agua en el suelo.....	23
2.	Proceso de reducción de la acidez del suelo con la aplicación del calcáreo.....	37
3.	Neutralización de la acidez mediante la adición de cal hidratada al suelo.....	38
4.	Neutralización de la acidez mediante la adición de caliza al suelo ...	39
5.	Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en el rendimiento de grano.....	63
6.	Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en la longitud y ancho de la mazorca .....	74
7.	Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en la cantidad de biomasa aportada por el cultivo de maíz .....	81
8.	Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en el pH del suelo...	85
9.	Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en la materia orgánica del suelo .....	88
10.	Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en la capacidad de intercambio catiónico del suelo .....	91

11.	Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en el contenido de NPK del suelo.....	93
12.	Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en la saturación de aluminio del suelo.....	96
13.	Detalle del campo experimental .....	114
14.	Detalle de la parcela experimental .....	115
15.	Fotografías mostrando el efecto de la aplicación de los materiales encalantes y orgánicos en el volumen de raíces.....	116
16.	Fotografías mostrando el efecto de la aplicación combinada de los materiales encalantes y orgánicos en el volumen de raíces.....	117
17.	Fotografías mostrando el efecto de la fertilización inorgánica en el volumen de raíces.....	118
18.	Fotografías mostrando el efecto de la aplicación de los materiales encalantes y orgánicos en la longitud de mazorcas.....	119
19.	Fotografías mostrando el efecto de la aplicación combinada de los materiales encalantes y orgánicos en la longitud de mazorcas.....	120
20.	Fotografías mostrando el efecto de la fertilización inorgánica en la longitud de mazorcas.....	121

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial y fundamental en la dieta alimenticia en el país. En el Perú, se viene utilizando en la alimentación humana desde hace más de 1300 años antes de Cristo. A pesar de los años que van transcurriendo y las diversas tecnologías que se van generando en otros cultivos, el maíz mantiene su vigencia tanto por el número de hectáreas que se siembran, como por su alto valor nutritivo y grandes niveles de consumo que experimenta la población.

En el Alto Huallaga, la coca fue el cultivo predominante en las últimas décadas, y a través de su manejo inadecuado, los suelos de esta zona no sólo han perdido su fertilidad natural convirtiéndose en suelos degradados, sino que también se alteraron sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La avanzada acción del intemperismo y el mal uso de la tierra originaron la pérdida de materia orgánica, de bases cambiables como Ca, Mg y K, y en algunos casos de los horizontes A y B, conduciendo a su acidificación y efectos colaterales.

En Tingo María, la fisiografía y el intemperismo, han definido la aptitud de uso agrícola del suelo en categorías que se relacionan con la acidez. Entre los suelos más ácidos de la provincia de Leoncio Prado, con pH por debajo de 5, se encuentran los suelos degradados ubicados en terrazas aluviales antiguas y laderas de colinas y lomadas, los cuales constituyen el 43 % de las aproximadamente 10,000 has. que abarca la provincia, dentro de las cuales están comprendidos los

suelos de Santa Rosa de Shapajilla (ZAVALA *et al.*, 1966), habiéndose cultivando en áreas relativamente pequeñas, especies tolerantes a la acidez del suelo, como la coca (*Erythroxylon coca* L.), achiote (*Bixa orellana*) y hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) cultivos que no tuvieron un manejo adecuado de los suelos; por años estas tierras se encuentran improductivas, casi abandonadas y expuestas a la costumbre del quemado, por lo que se hace necesaria su recuperación para su posterior reincorporación a la actividad productiva, lo que beneficiaría a cientos de agricultores ubicados en estas posiciones fisiográficas. La acidez de estos suelos restringen la proliferación de malezas, haciéndose dominantes aquellas especies tolerantes como el “rabo de zorro” (*Andropogon sp.*) y la “macorilla” (*Pteridium aquilinum*) que toleran estas condiciones de suelo.

Ante la acidificación del suelo, la pérdida de materia orgánica y en general de su fertilidad, en especial de los suelos anteriormente dedicados al cultivo de coca, se hace necesaria la aplicación de enmiendas inorgánicas y orgánicas, aun cuando estas son cada vez más escasas, y que constituyen uno de los pilares fundamentales de la producción para estos suelos degradados, razón por la cual se plantearon los siguientes objetivos:

1. Determinar el efecto de la caliza, dolomita, gallinaza y estiércol de vacuno en el rendimiento del cultivo de maíz.
2. Determinar la influencia del uso de caliza, dolomita, gallinaza y estiércol de vacuno en las propiedades químicas del suelo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades

El Perú, geográficamente está localizado en la zona tropical del hemisferio austral, por lo que pertenece al grupo de los países de clima tropical, con altas temperaturas y fuertes precipitaciones pluviales; sin embargo este clima es completamente modificado por la presencia de la corriente marina de Humbolt proveniente del sur, y por la Cordillera de los Andes creando así tres regiones ecológicas completamente diferentes: las regiones de la Costa desértica, Sierra montañosa y Selva netamente tropical. El maíz se cultiva en los 24 departamentos de nuestro país desde el nivel del mar hasta 3,900 m.s.n.m. a orillas del lago Titicaca (TORIBIO, 1995).

Las investigaciones indican que con una fertilidad elevada y un pH comprendido entre 5,6 y 7,5, se pueden obtener los máximos rendimientos; por debajo de 5,6 de pH el rendimiento de maíz es restringido y mucho más aún a pH de 4,0. Cuando se aplica cal por primera vez a los suelos con pH inferior a 5,0 parecen tomar nueva vida y como consecuencia se acelera la descomposición de la materia orgánica, causada por el incremento en la proliferación de los microorganismos, generando liberación de nutrientes, así como mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Para sistemas continuos de maíz o una rotación maíz - soja, un pH 6,0 constituye un medio adecuado en suelos ácidos (ALDRICH Y LENG, 1974.)

## 2.2 Siembra directa

La siembra directa se define como la operación de siembra en suelos no preparados mecánicamente, en los que se tiene el ancho y la profundidad suficiente para obtener una buena cobertura de la semilla; además, el suelo permanece cubierto con residuos de cultivos comerciales o de abonos verdes que permanecen sin remover en la superficie del suelo después de la siembra. Ello constituye un buen método de control de erosión considerándose como la mejor técnica en este sentido (DERPSCH, 2001; GTZ, 1998).

El control de la erosión que es una de las principales causas de la infertilidad de los suelos es uno de los motivos principales del porque la siembra directa es adoptada en muchos países. Ninguna técnica desarrollada hasta ahora ha sido tan eficiente en controlar la erosión y conseguir producción de alimentos realmente sustentable, como la siembra directa (BAKER y RITCHIE, 1996).

A nivel mundial, Paraguay ocupa el primer lugar en cuanto al porcentaje de su área agrícola en cultivos anuales bajo siembra directa con el 52 %, seguido por Argentina con el 32%, Brasil con 21% y EE.UU con 16%. En Paraguay, la adopción de esta técnica se multiplicó 40 veces de 1992 a 1997, incrementando su área de 20000 hasta 800.000 hectáreas (GTZ, 1998).

La siembra directa asegura una excelente protección del suelo y es por eso el sistema más conveniente para aquellas regiones donde se puede producir suficiente biomasa para proveer una cobertura permanente del suelo. Los factores ecológicos

limitantes para una difusión de la siembra directa son: bajas precipitaciones que resultan en baja producción de biomasa, períodos vegetativos cortos, suelos arenosos con tendencia a compactación y suelos anegadizos (GTZ, 1991; 1998).

### **2.3 Importancia y efectos de la siembra directa en las propiedades del suelo**

La siembra directa tiene efectos positivos sobre las características químicas, físicas y biológicas del suelo, primero porque reduce drásticamente la erosión a valores similares a la regeneración natural del suelo; segundo, por que no sólo mantiene, sino aumenta los tenores de la materia orgánica del suelo y por lo tanto de nutrientes; y tercero, por que la temperatura del suelo se mantiene baja.

#### **Efecto en las propiedades físicas**

Los resultados de una agricultura depredadora se evidencian en aquellas regiones donde el suelo se cultiva en forma intensiva sin considerar la degradación del suelo ocasionada por la labranza. Así, en algunos departamentos del Paraguay, antiguos graneros desde donde se exportaban alimentos a la Argentina, muchos suelos están tan degradados que no es posible obtener producciones rentables de productos básicos como son el maíz, la mandioca y el algodón. En el Sur de Chile, se han producido daños catastróficos por erosión en la Cordillera de la Costa que hace 40 ó 50 años fue el granero del país. Algunas áreas tienen cárcavas tan abundantes y profundas que las tierras no se pueden utilizar ni para la reforestación. En la región andina de Bolivia y Perú, las cárcavas profundas debido al mal manejo del suelo están destruyendo y desestabilizando el paisaje. La rápida degradación de

los suelos y el uso no sostenible de la tierra, particularmente en países en desarrollo, son la causa y la consecuencia de una pobreza generalizada (CTIC, 1996; DERPSCH, 2001).

Bajo el sistema de siembra directa se registran mayores tasas de infiltración, lo que lleva a una drástica reducción de la erosión. Investigaciones de campo muestran que en siembra directa se miden mayores tenores de humedad y temperaturas más bajas del suelo; al mismo tiempo se registra una mayor densidad del suelo, lo cual algunos científicos califican como negativo. En el Paraguay, Brasil y Argentina a pesar de la mayor densidad de los suelos bajo siembra directa, se logran mejores rendimientos con este sistema (DERPSCH, 2001).

En el caso del maíz, su sistema radicular favorece la estructura del suelo, posibilitando luego de su descomposición, la formación de canales o macroporos necesarios para el movimiento del agua y aire (AAPRESID, 2001; PLANTIO DIRECTO, 1990).

#### **Efecto en las propiedades químicas**

Con la siembra directa se registran mayores valores de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, como también mayores valores de pH y mayor capacidad de intercambio catiónico, pero menores tenores de aluminio (DERPSCH, 2001; OLDEMAN, 1993).



### **Efecto en las propiedades biológicas del suelo**

Debido a que no se utilizan implementos que destruyan los "nidos" y canales que construyen los microorganismos, se registra una mayor actividad biológica bajo el sistema de siembra directa. Los microorganismos no mueren de hambre bajo este sistema porque siempre se encuentran sustancias orgánicas en la superficie que proveen los alimentos necesarios. Las condiciones más favorables de humedad y temperatura también tienen un efecto positivo en la vida de los microorganismos del suelo, por lo que, en el sistema de siembra directa se registran más macro y micro organismos (DERPSCH, 2001; GTZ, 1991).

### **Siembra directa en el aspecto ambiental**

Investigaciones recientes realizadas en los Estados Unidos por el USDA muestra, que el carbono del suelo es perdido muy rápidamente en forma de dióxido de carbono minutos después de que el suelo es preparado intensamente, y que la cantidad está directamente relacionada con la intensidad de la preparación del suelo. Después de 19 días, las pérdidas totales de carbono en parcelas de trigo fueron hasta cinco veces más altas que las de las parcelas no preparadas, pérdidas que fueron iguales a la cantidad que había sido adicionada por los residuos del cultivo anterior dejadas en el campo. Esto significa que la pérdida de carbono del suelo en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante la preparación del suelo, no sólo disminuye los

niveles de materia orgánica del mismo, sino que enriquecen la atmósfera con este elemento contribuyendo para el calentamiento global del planeta (CTIC, 1996).

#### **2.4 Pasos en la adopción de la siembra directa**

Se han establecido 10 factores críticos que deben ser considerados antes de adoptar esta tecnología y que se recomiendan a los agricultores. Se precisa por ejemplo, mejorar su nivel de conocimientos principalmente en el control de malezas, efectuar análisis de sus suelos, encalado y corrección de eventuales deficiencias de nutrientes, evitar suelos con mal drenaje con nivelación del suelo, eliminar compactaciones del suelo, producir paja o cobertura muerta y practicar la rotación de cultivos entre otros. La adopción de esta técnica se recomienda hacerla progresivamente y tender al uso de maquinaria especializada (IAPAR, 1981).

#### **2.5 El cultivo de maíz en siembra directa**

La planta de maíz es muy eficiente en la producción de biomasa. De una semilla que pesa alrededor de 300 mg. se obtiene, en un lapso de 2.5 meses, una planta de más de dos metros de altura y de alrededor de 70 dm<sup>2</sup> de área foliar. A los 4.5 meses la planta puede alcanzar, en condiciones de campo, un peso seco 1.000 veces superior al de la semilla que le dio origen y alrededor de la mitad de ese peso corresponde a órganos reproductivos, lo que lo transforma en uno de los cultivos de mayor rendimiento en grano por unidad de superficie, alta capacidad productiva que

se atribuye a su alta tasa fotosintética y a un bajo valor energético de la materia seca producida (AAPRESID, 2001; GTZ, 1998).

El sistema de siembra directa, permite a través de la cobertura aportada por los rastrojos y por la mejora del ambiente edáfico, lograr una mayor disponibilidad de agua útil para los cultivos. De este modo, la floración que es generalmente el período más crítico para la producción del maíz no se verá afectada; como se sabe, en esta etapa se fija el número de granos por unidad de superficie, variable estrechamente relacionada con el rendimiento (AAPRESID, 2001; GTZ, 1998).

## **2.6 Acidificación de los suelos**

Los suelos pueden ser naturalmente ácidos por la propia constitución del material de origen (material parental ácido), o pueden tomarse ácidos en regiones en las que la precipitación pluvial es mayor que la evapotranspiración, causando la lixiviación de bases del perfil del suelo y concentrándose los cationes ácidos  $Al^{3+}$  e  $H^+$ . Igualmente, los suelos también pueden aumentar su acidez por los cultivos intensivos que extraen grandes cantidades de cationes básicos como Ca, Mg, y K. (EMBRAPA, 1999).

En Hawaii se ha demostrado que en suelos bien drenados el empobrecimiento de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  y un aumento de la acidez, están en función de la cantidad de lluvia, mientras que la saturación de bases y el pH disminuyen a medida que aumenta la cantidad de lluvia (ABRUÑA, 1970).

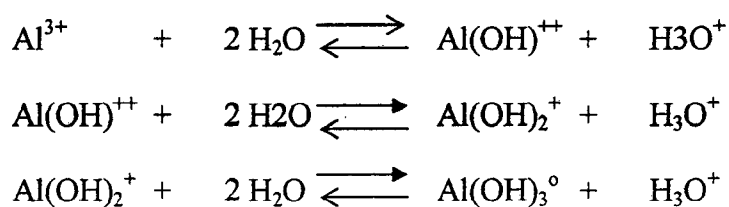
Los suelos tropicales de clima húmedo, sujetos a temperaturas elevadas durante todo el año y a lluvias intensas, tienen como característica común un avanzado estado de intemperización, y de este modo se produce una intensa pérdida de bases y silicio por lixiviación y una acumulación de sesquióxido por la acción de una oxidación selectiva (FASSBENDER, 1987).

Los cationes de hidrógeno que porta el agua, al pasar por el suelo pueden reemplazar a los cationes alcalinos intercambiables,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ , facilitando su lixiviación a profundidades fuera del perfil del suelo o a aguas subterráneas concentrándose el  $\text{H}^+$  y  $\text{Al}^{+++}$  (BEAR, 1966; FASSBENDER, 1987).

Los iones de hidrógeno del suelo provienen de las siguientes fuentes:

- De los iones ácidos  $\text{H}^+$  y  $\text{Al}^{+++}$  retenidos por las arcillas. El  $\text{Al}^{+++}$  al pasar a la solución suelo sufre hidrólisis liberando 3 iones H por cada ion  $\text{Al}^{+++}$  hidrolizado, lo que hace disminuir el pH del suelo. Se ha calculado que en los suelos, la capacidad de cambio catiónico de la materia orgánica es de 60 a 280  $\text{cmol (+) kg}^{-1}$ , y parte de esta capacidad de cambio está ocupada por el Al que forma uniones estables, generando suelos ácidos, con altos contenidos de aluminio (DONAHUE *et al.*, 1982).

La acidificación del suelo en presencia de aluminio, se representa mediante las siguientes reacciones, correspondientes a la hidrólisis del aluminio:

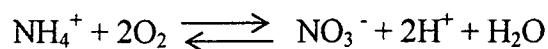
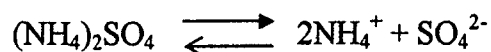


Por cada ion  $Al^{+++}$  se liberan 3  $H^+$  aumentando su concentración en la solución del suelo y proporcionando valores de pH más bajos, como se observa en la Figura 1. Asimismo, el H adsorbido que está en equilibrio con la solución del suelo, constituye otra fuente importante de iones  $H^+$ , lo que baja el pH del suelo.

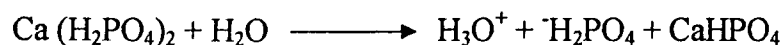
- De la reacción del dióxido de carbono procedente de la materia orgánica en descomposición y de la respiración microbiana y radicular, con el agua para formar un ácido débil:



- La materia orgánica del suelo, contiene cantidades significativas de grupos carboxílicos y fenólicos que por ionización liberan iones  $H^+$ .
- De la oxidación biológica de los fertilizantes amónicos y del amonio liberado por la mineralización de la materia orgánica, para formar nitratos e iones de hidrógeno. Aunque su efecto es de corta duración, la nitrificación de los abonos amoniacales y materia orgánica añadidos al suelo da por resultado la formación de ácido nítrico, lo que puede reducir el pH y contribuir a generar pérdidas apreciables de Ca y Mg (DONAHUE *et al.*, 1982). Así, como se observa en las siguientes reacciones, el uso continuo de fertilizantes amoniacales como el sulfato de amonio puede producir la acidificación del suelo:

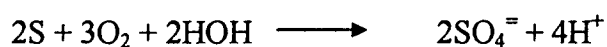


- La aplicación de superfosfato triple al suelo (fosfato monocálcico) especialmente en bandas, conduce a la formación de ácido fosfórico libre, según la reacción:

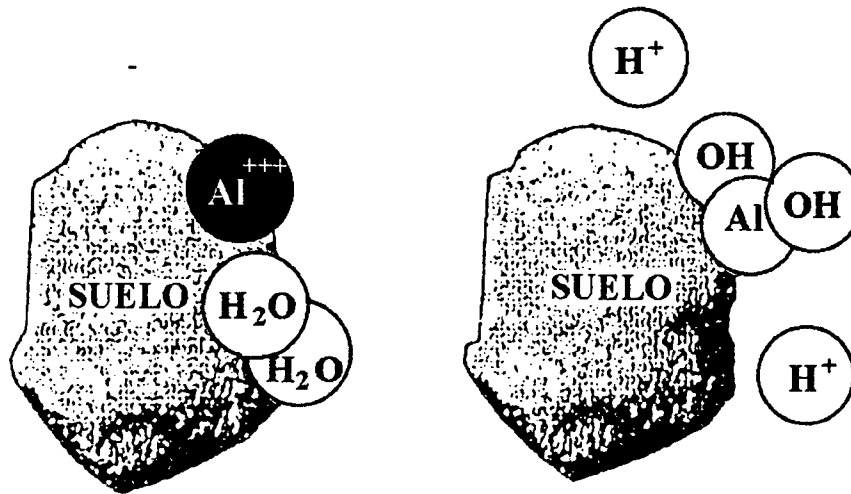


Esta reacción causa acidificación fuerte en las zonas adyacentes al lugar de aplicación del abono, y aunque su efecto sólo dura algunas semanas, en ese tiempo puede disolver el Al, Fe y Mn de los minerales del suelo.

- La oxidación de la pirita en suelos de costas marinas drenadas o en residuos de minas, lleva a la formación de ácido sulfúrico, dando lugar a una acidez muy fuerte en ellos.
- Las lluvias ácidas, pueden tener un apreciable efecto de acidificación sobre los suelos que tienen bajo contenido de materia orgánica y reducida capacidad de cambio.
- De la oxidación del azufre, componente de algunos fungicidas y fertilizantes, para producir sulfato e iones de hidrógeno.



- De la liberación de iones de hidrógeno por las raíces de las plantas, cuando los intercambian por otros cationes nutritivos, debido a un equilibrio catiónico en el interior de la planta (DONAHUE et al., 1982; HENIN y GRASS, 1972). Diversos estudios han mostrado valores de pH de 1.2 unidades menos, en el suelo cerca de las raíces, que el pH de las zonas adyacentes (BEAR, 1966).



**Figura 1.** Proceso de acidificación del suelo a través de la reacción del  $Al^{+++}$  con el agua en el suelo.

## 2.7 Problemas relacionados con la acidez del suelo

Los suelos ácidos presentan deficiencia y toxicidad de algunos nutrientes que limitan la productividad agrícola. La deficiencia de fósforo, calcio, magnesio, zinc, molibdeno y la toxicidad de aluminio son comunes en estos suelos. A veces también ocurre toxicidad de manganeso, en algunas leguminosas anuales. La toxicidad de  $Fe^{2+}$  es común en suelos inundados en el cultivo de arroz. El fósforo es el nutriente más limitante en la producción de los cultivos de arroz, frijol, maíz, soya, trigo. En suelos muy intemperizados (Oxisols), la deficiencia de calcio y magnesio también disminuye la producción. La toxicidad de aluminio ocurre generalmente en pH debajo de 5,5 y depende de la especie de la planta. Los niveles

críticos de aluminio para algunos cultivos anuales se presentan en el Cuadro 1, donde se observa que los cultivos como mandioca, arroz, son más tolerantes, mientras que los cultivos de frijol, algodón y soya son muy sensibles (FAGERIA, 1994).

Cuando el pH baja a un valor de 5.5 o menos, aparecen los efectos nocivos de la acidez del suelo y estos son (Chernov citado por DEL VALLE, 1974):

- Bajo tenor de bases por pérdidas por lixiviación.
- Alto poder de fijación de fósforo, debido a la formación de fosfatos insolubles de aluminio y fierro.
- Deficiencia de molibdeno, por fijación semejante a la del fósforo.
- Concentraciones tóxicas de Al, Mn y probablemente de níquel y cromo.
- Pobre actividad de los microorganismos.

#### **Toxicidad por efecto del aluminio**

La toxicidad de aluminio es particularmente severa en condiciones de suelo con pH de 5.0 pudiendo ocurrir a pH 5.5. El efecto del aluminio en la planta se manifiesta en la alteración de la permeabilidad de las células de la raíz. El síntoma más característico de la toxicidad de aluminio es la inhibición de la división celular en la región meristemática de la raíz causando la muerte del ápice y el desarrollo de raíces laterales. (DONAHUE *et al.*, 1982; Pearson citado por SOTO, 1995).



**Cuadro 1.** Niveles críticos de saturación por aluminio para varios cultivos anuales a 90 - 95% de producción máxima.

Cultivos	Clase de suelo	Nivel crítico de saturación por Al
Mandioca	Oxisol/Ultisol	80
Arroz de tierras altas	Oxisol/Ultisol	70
Caupí	Oxisol/Ultisol	55
Soya	Oxisol/Ultisol	15
Maíz	Oxisol	19
Mango verde	Oxisol	5
Sorgo	Oxisol	20
Frijol	Oxisol	10
Algodón	Oxisol	10

Fuente: Fageria (1994).

El sistema radicular de distribución superficial puede constituir un importante factor limitante para el crecimiento de las plantas. La falta de raíces profundas y con ramificaciones inadecuadas, significa mayor susceptibilidad a la sequía y menor capacidad de utilización de los nutrientes del suelo. El desarrollo inadecuado del sistema radicular frecuentemente está asociado al problema de concentración de aluminio, en niveles considerablemente tóxicos para las plantas (FASSBENDER, 1987).

La toxicidad del Al también limita la degradación microbiana de la materia orgánica. El pH en el cual los niveles de Al alcanzan valores perjudiciales depende de la planta (diferencias genéticas entre especies y variedades) y de una serie de factores del suelo, como la mineralogía de arcillas, el contenido de materia orgánica, la presencia de otros cationes y aniones y la salinidad total del suelo. La proporción de  $Al^{+3}$  en el complejo de cambio y en la solución del suelo, llega a concentraciones que producen síntomas característicos en las plantas, de acuerdo con las especies vegetales. Estos síntomas se parecen, con frecuencia, a los que se dan por deficiencias de P o Ca. (FASSBENDER, 1987; HENIN Y GRASS, 1972).

### **Efectos del manganeso**

Los daños causados por un exceso de Mn siguen en importancia a los efectos perjudiciales de la toxicidad del Al en las plantas. La solubilidad de este elemento y su eventual toxicidad dependen de varias propiedades del suelo, tales como: contenido de Mn total, pH, nivel de materia orgánica, actividad microbiana y grado de aireación. La toxicidad se presenta en suelos con altos contenidos de Mn, también en aquellos con niveles de pH inferiores a 5.5, y en el caso de las plantas sensibles a este problema (FASSBENDER, 1987 ; HENIN y GRASS, 1972).

Las plantas muestran síntomas bastante característicos para las especies individuales, síntomas que suelen aparecer aún antes de que haya una reducción

apreciable en el crecimiento y la producción; un exceso de Mn hizo mermar apreciablemente la nodulación de leguminosas tropicales (FASSBENDER, 1987).

### **Disponibilidad de Fósforo**

La reducción de la disponibilidad del fósforo constituye un efecto indirecto de la toxicidad del aluminio. Existen evidencias de que el exceso de Aluminio en solución de suelos fuertemente ácidos causa deficiencias de fósforo en las plantas por formación de compuestos insolubles fuera de la planta o por inactivación del fósforo absorbido por la raíz. A medida que aumenta el pH, el Aluminio es precipitado en el suelo, y la inactivación en las plantas no ocurre (Pearson citado por DEL VALLE, 1974).

Los síntomas de deficiencia del fósforo en muchos casos son similares a los del nitrógeno. En algunos casos el color inicial es verde oscuro como el frijol, verde azulado como en el tomate, algunas coles, tréboles y cereales o solamente verde pálido como en lechuga y arveja. Por otra parte, la antocianescencia se produce en algunas plantas (maíz, sorgo, piña) y los síntomas se inician en las hojas más viejas y progresan a las más jóvenes (TISDALE y NELSON, 1970).

## **2.8 Enmiendas orgánicas e inorgánicas**

Se ha establecido que tanto la aplicación de enmiendas inorgánicas como la materia orgánica pueden reducir la toxicidad de Al por mecanismos diferentes.

### **2.8.1 Efecto y características de las enmiendas orgánicas**

Toda materia orgánica aplicada al suelo, mejora sus características físicas, químicas y biológicas, resultando particularmente importante su efecto en las propiedades físicas en aquellas zonas de agricultura de secano con períodos prolongados de escasez de lluvias, al incrementar su poder retentivo de humedad.

En cuanto a sus características químicas, toda materia orgánica al ser incorporada al suelo sigue un proceso de descomposición formando óxidos orgánicos e inorgánicos, que tienden a acidificar el medio bajando el pH del suelo (PLASTER, 2000). Asimismo, al transformarse en humus, aumenta la capacidad de cambio de iones del suelo, incrementando su fertilidad potencial al proteger a los macro y micro nutrientes de la lixiviación (TISDALE y NELSON, 1970).

Los estiércoles están formados por un conjunto de materiales hidrocarbonados (celulosa, fécula, azúcares, etc.), componentes que unidos a la gran población microbiana que llevan las deyecciones, constituyen medios apropiados para entrar en transformación en buenas condiciones de humedad en el medio (AGUIRRE, 1963).

En el estiércol el contenido de carbono y nitrógeno varía en relación con su naturaleza y las condiciones de almacenamiento; el estiércol de vacuno bien almacenado tiene aproximadamente 10% de carbono y 0.5% de nitrógeno (ARENS, 1983) lo que le asigna una C/N de 20 en promedio.

La gallinaza se compone de las deyecciones de las aves más el material usado como cama que son esencialmente desechos de madera y cal en pequeñas proporciones que se colocan en el piso. El excremento diario de cada ave representa alrededor del 5% de su peso corporal y el porcentaje de materia orgánica de la gallinaza es de 80% y la relación carbono/nitrógeno (C/N) es de 15.5 con un pH de 8.0 (ARENS, 1983; GAMARRA, 1990).

En general, el contenido de humedad es variable y se considera que para que conserve su máximo valor como fertilizante, debe tener un 60 a 80% de humedad. Asimismo, la concentración de nutrientes es baja y variable, conteniendo en promedio 0.60% de nitrógeno, 0.28% de anhídrido fosfórico, ( $P_2O_5$ ) y 0.50% de potasa ( $K_2O$ ). La variabilidad depende de factores como especie y estado del animal, régimen alimenticio, forma de crianza, entre otros. El efecto residual de los materiales orgánicos es prolongado y debido a la rápida fermentación que llega a alcanzar temperaturas de 60 a 85 °C, se destruyen semillas de maleza, organismos patógenos y larvas de moscas (ARENS, 1983).

En un experimento realizado en La Molina, analizaron y utilizaron estiércol de vacuno y gallina, que presentaron la composición química que se presenta en el Cuadro 2. La gallinaza se diferencia de todos los demás estiércoles porque su contenido de nutrientes es más alto, pero al igual que los demás su composición es variable. Debido a su mayor contenido de nutrientes y a su baja C/N en la mayoría de casos, su eficiencia ha sido mayor en los experimentos llevados a cabo con este material (GAMARRA, 1990).

**Cuadro 2.** Análisis químico del estiércol de ganado vacuno y estiércol de gallina.

	Macronutrientes (%)		Micronutrientes (ppm)		
	Estiércol	Estiércol	Estiércol	Estiércol	Estiércol
	de vacuno	de gallina			
N	1.2	2.0	Cu	0.3	0.3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.9	2.5	Mn	0.8	
K <sub>2</sub> O	0.8	1.3	Zn	0.6	
Ca	2.2	2.2	Mo	0.7	
Mg	0.7	0.73	Na	0.2	
S		0.8			
Mat. seca	20.0				
Fibra	33.3				
C/N	24.9	14.5			

Fuente: Gamarra (1990)

### 2.8.2 Enmiendas inorgánicas

#### Encalado

El encalado es la práctica más común y efectiva en la corrección de la acidez del suelo, al mejorar el ambiente químico en torno del sistema radicular. La amplia bibliografía referente a la acidez del suelo y encalado considera que entre los

objetivos del encalado se puede considerar la elevación del pH, reducción de los efectos tóxicos o negativos del Al y Mn principalmente, corrección de las deficiencias de Ca y Mg, incremento de la disponibilidad de P y Mo e incremento de la actividad microbiana (fijación biológica de N<sub>2</sub> por ejemplo) entre otros.

La CIC es una medida de la capacidad de intercambio o cargas negativas de las arcillas constituyentes, el alofano y el humus, expresados como miligramos equivalentes por kilogramo de suelo. Las cargas son de dos tipos: permanentes y dependientes de pH. Las cargas permanentes ocurren en arcillas silicosos y resultan del reemplazo isomórfico dentro de la estructura de la arcilla y son mayores en las arcillas de tipo 2:1. Las cargas dependientes de pH están directamente relacionadas con la variación del pH del suelo. Con valores bajos de pH, la carga y por tanto la C.I.C es baja, pero aumenta al elevarse el pH; tanto los materiales minerales como los orgánicos tienen cargas dependientes del pH. En el material mineral, se piensa que la carga se debe a grupos de SiOH y AlOH situado en los lados y superficies rotas de las arcillas, mientras que en la materia orgánica hay grupos carboxílicos (COOH) y fenólicos (-OH). En suelos ácidos el Al y el Fe fuertemente absorbidos en algunas arcillas bloquean algunos de los sitios con cargas negativas, reduciendo así la C.I.C. Con un aumento del pH, el aluminio y el hierro son removidos y vuelven disponibles a los sitios (FITZPATRICK, 1984).

De ese modo el encalado es el elemento recuperador por excelencia de los suelos agotados, recuperando el complejo de cambio y eliminando los efectos

negativos de la acidez elevada. Otros efectos benéficos del encalado son la mejora de las características físicas del suelo y un aumento del espacio radical. La mejora de las características físicas del suelo puede ser atribuido a una mayor descomposición de la materia orgánica o su fase coloidal, que es el agente estabilizador de los agregados, proporcionando mejor estructura. El aumento del espacio radical puede ser debido a la mejora de las condiciones químicas de los horizontes inferiores (PASA FERTILIZANTES, 2001; PLASTER, 2000).

Gran parte de los suelos del trópico son ácidos, con pH frecuentemente inferiores a 5,0; los primeros experimentos de encalado de suelos tropicales fueron modelados de acuerdo con la experiencia en regiones templadas con suelos de carga permanente y consistieron en llevar estos suelos hasta niveles neutros de pH. Cuando estos enfoques fueron aplicados a suelos tropicales con carga variable los resultados fueron negativos (FASSBENDER, 1987).

El encalado de suelos tropicales ha dado buenos resultados cuando se aplica en base a la proporción del Al intercambiable presente como lo recomienda Kamprath, citado por SOTO (1995). Se ha observado que la cantidad de equivalente de cal que se requiere para reducir el Al hasta un nivel menor de diez por ciento es dos o tres veces la cantidad de Al intercambiable a neutralizar (PLASTER, 2000). Sin embargo, se recomienda hacer aplicaciones que conduzcan a la elevación del pH en no más de una unidad, siendo la alternativa más viable la combinación de prácticas de selección de genotipos tolerantes al aluminio con la aplicación de



técnicas para corregir la acidez del suelo (ALDRICH y LENG, 1974). El uso de especies vegetales tolerantes a la acidez y el uso de materia orgánica son prácticas complementarias para la producción agrícola en suelos ácidos (EMBRAPA, 1999).

En los suelos que presentan un pH menor de 5, y que poseen poco fósforo asimilable, se forman compuestos insolubles de fierro y aluminio, de tal manera que es importante el encalado ya que la asimilación normal del fósforo oscila entre 6 a 7.5 (TEUSCHER y ADLER, 1981). En tales suelos se aplica mayor cantidad de fósforo, pero esto se puede disminuir con el encalamiento, ya que mediante esta práctica se precipita al aluminio intercambiable y adicionado con fertilizantes implica un mayor rendimiento (MOLINA, 1970).

#### **Características de las enmiendas inorgánicas**

El calcio químicamente puro no puede ser añadido al suelo porque no es una forma económica de adicionarlo, por lo que generalmente se incorpora en forma de carbonato, hidróxido, óxidos silicatos de calcio o magnesio, margas, escorias, etc. Asimismo, no es conveniente el uso de sales neutras de calcio o magnesio ya que por su misma naturaleza no resolverían el problema (BEAR, 1966; FASSBENDER, 1987). Sin embargo, el calcáreo y el yeso son utilizados en Brasil para la corrección de acidez y elevar los niveles de Ca y Mg de los Oxisols (EMBRAPA, 1999).

Dentro de los materiales encalantes más comunes tenemos a la caliza cálcica ( $\text{CaCO}_3$ ) usado como patrón de comparación para los demás materiales, caliza

dolomítica [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], cal viva ( $\text{CaO}$ ), cal hidratada o apagada [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ]. Las calizas molidas son los materiales encalantes más usados a nivel mundial por su bajo costo, no hidratable, facilidad de manejo y distribución; sin embargo, en el Perú no son explotadas comercialmente con fines agrícolas (DONAHUE et al., 1982; LOLI, 1979).

La caliza cálcica es calcita casi pura o carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), que se forma en suelos de mar como depósitos de calcio retirado de la solución de agua de mar. Los depósitos se minan y se trituran para obtener cal agrícola. La caliza dolomítica o sencillamente dolomita, es similar a la caliza, y es una mezcla de carbonato de calcio y carbonato de magnesio ( $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$ ); encalar con dolomita ayuda a mantener el equilibrio Ca / Mg en el suelo. La dolomita es especialmente útil en suelos arenosos por que a menudo carecen de magnesio. El Mg ejerce el mismo efecto en el pH del suelo que el calcio (PLASTER, 2000).

La bibliografía brasileña considera tres tipos de calizas en base a su composición química (MALAVOLTA y VIOLANTE, 1989):

Calizas cálcicas	38 – 34 % CaO	0 - 4% MgO
Calizas magnésicas	33 – 26 % CaO	5 – 12% MgO
Calizas dolomíticas	< 26% CaO	> 12% MgO

La misma legislación considera además, que la suma de los tenores de  $\text{CaO} + \text{MgO}$  no debe ser menor de 38 %. En el Cuadro 3, se presenta la composición química de dos materiales calizos existentes en Tingo María.

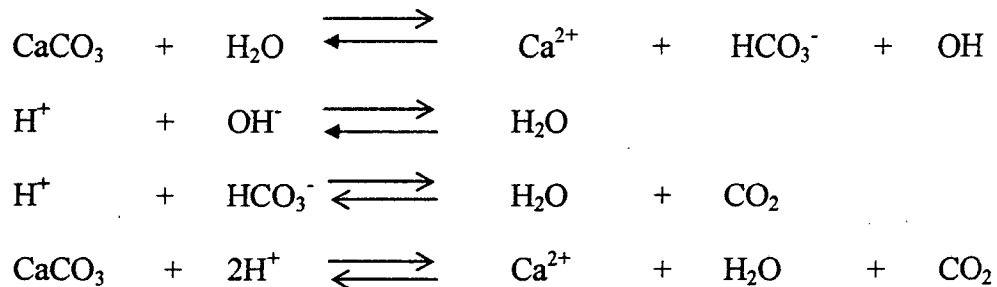
**CUADRO 3.** Composición química de los materiales encalantes inorgánicos

Material encalante	Mg (%)	MgO (%)	Ca (%)	CaO (%)	CaCO <sub>3</sub> equivalente
Caliza	4.30	8.00	18.20	21.28	95.00
Dolomita	16.30	27.16	10.60	13.60	90.12

Fuente : Laboratorio de Suelos de la U.N.A.S.

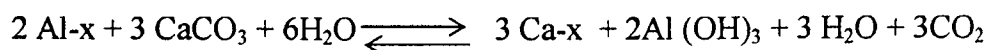
### Neutralización de la acidez del suelo

Al disolverse el calcáreo, el  $Al^{+++}$  y el  $H^+$  del complejo de cambio son reemplazados por el Ca y/o Mg, produciéndose un aumento de estos cationes y por tanto, del porcentaje de saturación de bases, y del pH de la solución del suelo. El calcáreo, como  $CaCO_3$ , reacciona con el suelo de la siguiente manera:



En estas reacciones se observa, que los receptores de protones son el hidroxilo ( $OH^-$ ) y el ion bicarbonato ( $HCO_3^-$ ). Los iones  $OH^-$  y  $HCO_3^-$  producidos neutralizan la acidez y aumentan el pH y el tenor de  $Ca^{2+}$  del suelo. Con esto se aclara que los correctores de la acidez deben tener componentes básicos para generar iones  $OH^-$ .

La neutralización de la toxicidad del aluminio con la aplicación del calcáreo puede ser demostrada de la forma siguiente:



La forma  $\text{Al}(\text{OH})_3$  es insoluble en agua y de ésta manera es eliminada la toxicidad de Aluminio. En la Figura 2 se observa cómo el encalado neutraliza la acidez del suelo. (EMBRAPA, 1999; FAGERIA, 1994 ).

La cal neutraliza la acidez de dos formas: primero, el calcio y/o magnesio reemplazan a los iones de hidrógeno y de aluminio en los sitios de intercambio por acción de masa; al hacerlo, aumentan el porcentaje de saturación de bases. Segundo, la cal convierte el hidrógeno en agua. La reacción más simple es la de la cal hidratada (Figura 3). Al disolverse la cal hidratada, se desprende  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{OH}^-$ . El  $\text{Ca}^{++}$  reemplaza al  $\text{H}^+$  y al  $\text{Al}^{+++}$  en los sitios de intercambio, liberando estos cationes hacia la solución del suelo sometiendo al  $\text{Al}^{+++}$  a una hidrólisis completa para formar hidróxido de aluminio insoluble, con la liberación de más iones de  $\text{H}^+$ . Los iones de  $\text{H}^+$  reaccionan con los iones  $\text{OH}^-$  de la cal para formar agua.

La calcita y la dolomita actúan de una forma similar con un par de pasos adicionales. Los iones de hidrógeno producidas en los otros pasos, reaccionan con el carbonato para formar el ácido carbónico, que rápidamente se descompone en dióxido de carbono y agua.

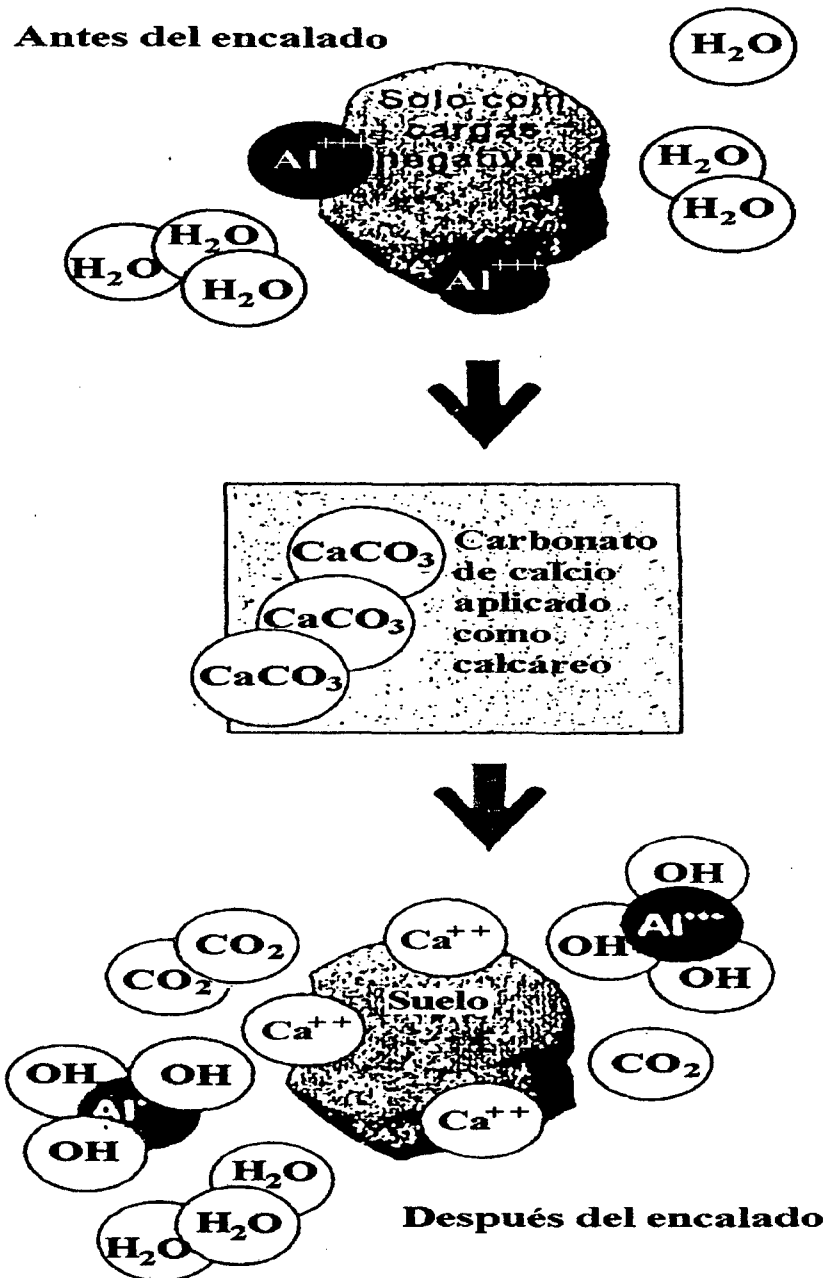
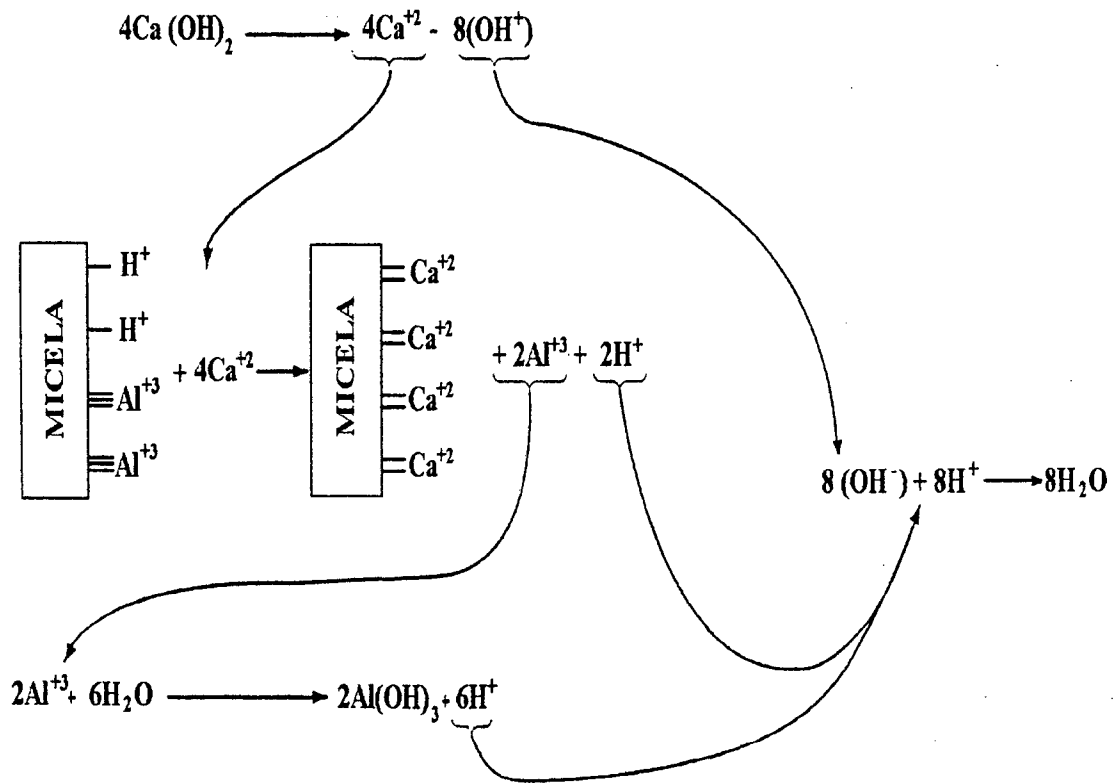


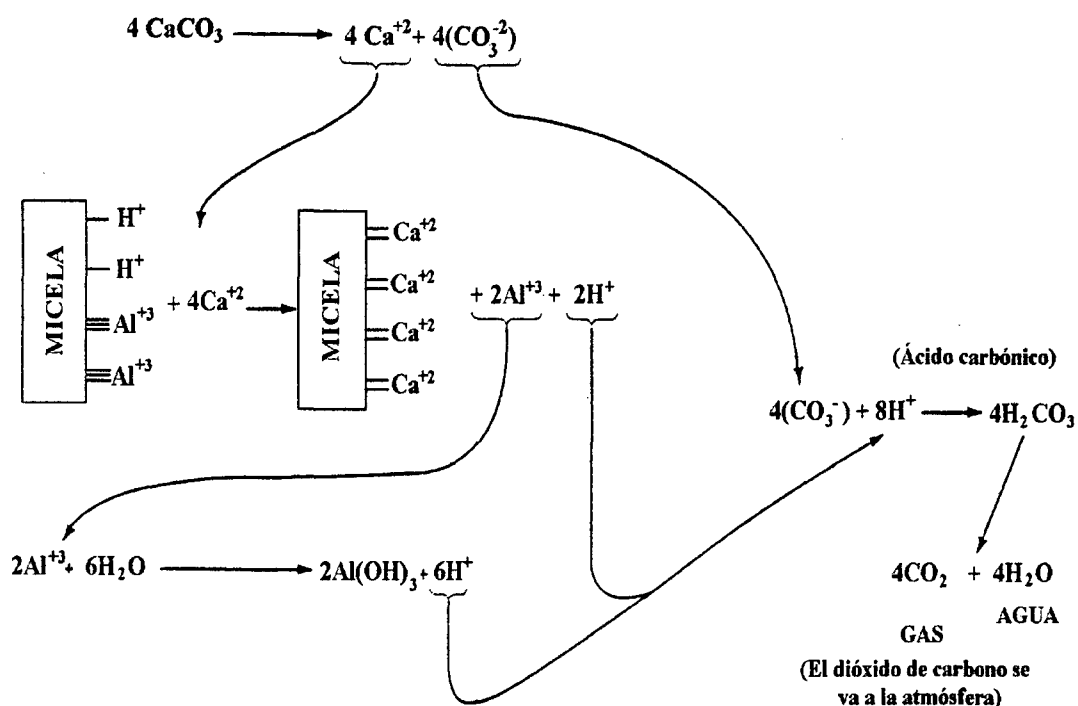
Figura 2. Proceso de reducción de la acidez del suelo con la aplicación del calcáreo.



**Figura 3.** Neutralización de la acidez mediante la adición de cal hidratada al suelo

La adición de cal molida en el suelo neutraliza la acidez del mismo de acuerdo a las reacciones que se muestran en esta figura. La serie de reacciones de intercambio es la misma que en la Figura 3. Los iones de hidrógeno reaccionan con los aniones de  $\text{CO}_3^-$ , para formar ácido carbónico no estable, el cual se descompone inmediatamente en dióxido de carbono y en agua. El Ca y el Mg reemplazan al hidrógeno y al aluminio en los sitios de intercambio y los iones  $\text{H}^+$  se transforman en agua. La velocidad de todo el proceso varía de acuerdo al tipo de material. La

cal hidratada se disuelve rápidamente en el suelo y reacciona rápidamente. La caliza molida se disuelve más lentamente y requiere más pasos para neutralizar el ácido (PLASTER, 2000).



**Figura 4.** Neutralización de la acidez mediante la adición de caliza al suelo (PLASTER, 2000)

### Sobreencalado

Cuando se excede en la aplicación de materiales encalantes, pueden producirse efectos adversos que pueden afectar los rendimientos, efecto conocido como sobreencalado.

El descenso en la producción es debido a los efectos perjudiciales del encalado, como son el desmejoramiento de la estructura de algunos suelos, la menor disponibilidad de algunos elementos menores, la aceleración de la descomposición de la materia orgánica y el hecho de que algunas plantas tropicales prefieran suelos tropicales. Raras veces se justifica un encalado por encima de pH 6 (GAVANDE, 1972; LOLI, 1979).

Los efectos negativos del encalado más comunes son las depresiones de los tenores de zinc, manganeso y cobre; casi siempre al subirse el pH estos cationes se tornan insolubles por la formación de hidróxidos (en el caso del zinc y del cobre) o de otras formas oxidadas de valencias más elevadas (manganeso) (TEUSCHER y ADLER, 1981).

Cuando el suelo es pobre en K, al agregar cal ocurre un desbalance en la relación Ca/K, produciéndose un efecto depresivo en la absorción de K e intensificándose severamente su deficiencia. Por ello, previamente a la aplicación de cal a un suelo, el problema debe estudiarse cuidadosamente, en conjunto con la adición de fertilizantes y determinación de los niveles de materia orgánica. Para ello, es innegable la importancia de los ensayos de campo, que manifiestan en forma directa la respuesta al encalado (Pearson citado por DEL VALLE, 1974).



### **2.8.3 Características de los suelos como indicadores de las necesidades de encalado**

Laroche (1966) citado por DEL VALLE (1974), según numerosos análisis de suelos tropicales lateríticos, concluye en que las características generales de los suelos que pueden servir de base para establecer las necesidades de encalado, son:

- Un pH entre 4.0 - 6.0; los valores que se encuentran por debajo de 5.5, casi siempre indican necesidad de encalado.
- Un porcentaje de saturación de bases inferior a 40% puede indicar necesidad de encalado.
- Calcio intercambiable inferior a 4 meq /100 g. de suelo.
- Magnesio intercambiable inferior a 1 meq /100 g. de suelo.
- Potasio intercambiable entre 0.1 y 0.5 meq /100 g. de suelo.
- Desbalance de cationes: el lavado del Ca, Mg. y K en diferentes proporciones conduce el desequilibrio entre las relaciones de Ca/Mg, Mg/K y la relación  $Ca + Mg/K$  es prácticamente igual al índice de saturación de bases, por ser pequeño el potasio intercambiable. Una selección del calcáreo (entre los tipos calcítico y dolomítico), debe ser orientada en el sentido de proporcionar la obtención de una relación de Ca/Mg en el complejo de cambio igual a 4.
- Acidez intercambiable: entre 3 y 30 meq/100 g. de suelo. La cantidad de aluminio es mayor a la del hidrógeno y cuanto menor sea el pH mayor es la diferencia. Es en base a la acidez intercambiable que se debe considerar la

cantidad de calcáreo a utilizarse, considerando las necesidades particulares del cultivo.

- Deficiencia de fósforo disponible: a pesar de que el tenor total sea elevado, ya que el fósforo es fijado en suelos ácidos por los hidróxidos y óxidos de Al y Fe, lo que origina una baja disponibilidad para la planta (LOLI, 1979).
- Bajo contenido de materia orgánica: niveles inferiores al 2% ocurre en suelos fuertemente intemperizados. En general la materia orgánica fluctúa entre 3 y 12%, y para contribuir en la C.I.C., está directamente relacionada con la cantidad de calcáreo. Cuando se practica el encalado, la materia orgánica mejora la fertilidad del suelo. Al subir el pH, aumenta la actividad de los microorganismos del suelo, cuya intensidad a partir de un valor de pH igual a 6.0 es considerable, provocando una mineralización de nitratos y fosfatos, disminuyendo la necesidad de abonos nitrogenados (BUCKMAN y BRADY, 1977).

## **2.9 Respuesta de los cultivos a la aplicación de enmiendas**

En un suelo aluvial se evaluó el efecto de la fertilización orgánica e inorgánica, obteniéndose un rendimiento de 6 022 kg.ha<sup>-1</sup> de maíz con la combinación de 6 tn.ha<sup>-1</sup> de estiércol de vacuno y 120-90-90 (BARRETO, 1984).

En el Fundo N° 1 de la UNAS, se encontró un mayor rendimiento del cultivo de maíz con la aplicación de estiércol de gallina con 5,888 kg.ha<sup>-1</sup> respecto al compost de arroz, mulch de arroz, estiércol de vacuno, compost de maíz, mulch de

maíz y biabono líquido con 5,320; 5,205; 5,079; 4,809; 4,807 y 4,732 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente. La aplicación de materia orgánica bajó el pH del suelo, pero no mostró toxicidad de Al (ARRIAGA, 1988).

Dentro de las exigencias particulares de las plantas se puede mencionar, como extremos, la planta de té como acidófila y la de alfalfa exigentes en altos contenidos de Ca y Mg en el suelo (TEUSCHER y ADLER, 1981). Los efectos del encalado en el rendimiento de diversos cultivos, han sido reportados en diferentes regiones tropicales del mundo, de acuerdo a muchos trabajos experimentales. Así, en suelos con pH bajo (5.0) la mayoría de los cultivos responden al uso de la cal, el trébol rojo muestra sólo una leve respuesta a cualquier pH entre 5.0 y 7.4 mientras que la producción de alfalfa aumenta considerablemente de un pH de 5.0 a 7.0 (DONAHUE *et al.*, 1982).

Respuestas del frijol al encalamiento se halló en Oxisoles y Ultisoles de Puerto Rico, observándose que el rendimiento máximo se produjo alrededor de un pH de 5.3 También se ha recomendado que además de encolar a los Oxisoles, Ultisoles y Alfisoles es necesaria la aplicación de elementos mayores en la cantidad máxima y económica para un óptimo rendimiento en camote, maíz, café a pleno sol, frijol terciopelo y el pasto elefante, así como la adición de elementos menores (FASSBENDER, 1987).

En un estudio sobre el efecto de siete niveles de encalado sobre la producción de soya (*Glycine max* L.) en Las Delicias (Tingo María), los resultados mostraron

una alta respuesta de estos suelos al encalado, deduciéndose además, que las reacciones de la cal con el suelo, no habían alcanzado su estabilización (TUPIÑO, 1971).

En un trabajo realizado con un suelo arcilloso y pH 4.6, DEL VALLE (1974) logró elevar el pH del suelo de 5.0 hasta 6.1 y el rendimiento del cultivo de maíz de 1 414 hasta 4 377 kg.ha<sup>-1</sup> con aplicaciones crecientes de cal de 0 a 9 tn.ha<sup>-1</sup>.

## **2.10 Encalado en suelos sin labranza**

DEL VALLE (1974) cita a Brown quien observó que después de 3 años, sólo unas 5 pulgadas de profundidad eran influenciadas por la enmienda calcárea aplicada superficialmente; asimismo recomendó distribuir el calcáreo en la zona de influencia radical, para obtener una reacción eficiente a corto plazo. Sin embargo, se ha reportado que, en un campo no labrado, aplicaciones superficiales de cal, por 8 años consecutivos en Virginia (en un área de lluvia media) produjeron más maíz en un área sin labrar que en un área labrada y encalada (DONAHUE *et al.*, 1982).

La cal reacciona rápido y es más rápida cuando es mezclada con el suelo que cuando se deja en la superficie; así el reciente impulso de cultivos sin labranza origina algunos problemas con la incorporación de la cal y una lluvia suficiente asegurará el movimiento hacia abajo de algo de cal en campos no labrados. La falta de labranza y el encostramiento, hacen que la actividad del suelo tenga lugar a poca profundidad: incorporación de fertilizantes en las 4 a 8 pulgadas (10 a 20cm), que a

más profundidad, mayor actividad radicular, cambio de pH. Aún con baja eficiencia en suelos no labrados, el encalado es económico (DONAHUE *et al.*, 1982).

La recomendación a agricultores de aplicar la cal el año antes de entrar en el sistema de siembra queda sin efecto, ya que resultados más recientes de investigación han mostrado, que se puede aplicar la cal en superficie sin incorporar, ya que los suelos tropicales en general son bastantes permeables y presentan altas tasas de infiltración de agua, moviéndose la cal en forma natural a horizontes más profundos. En este caso se recomienda aplicar pequeñas cantidades de cal cada año, en vez de aplicar grandes cantidades de una sola vez (PLANTIO DIRECTO, 1990).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del experimento

El trabajo de investigación se realizó en el Fundo “Chacarita” de propiedad del Sr. Tito Jaime Hidalgo, que cuenta con un área de 40 hectáreas, ubicado en el sector de Santa Rosa de Shapajilla, Distrito Padre Felipe Luyando, Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco, cuyas coordenadas geográficas son:

09° 11' 00" : Latitud sur  
75° 56' 00" : Longitud oeste  
650 m.s.n.m : Altitud

#### 3.2 Descripción del área experimental

El trabajo se realizó en un suelo degradado, de topografía ondulada con una pendiente aproximada de 2%, cuya vegetación dominante fue el “rabo de zorro” (*Andropogon spp*).

Durante los años 1950 - 1970 esos suelos fueron cultivados con plantaciones de cítricos realizándose el manejo de estas plantaciones en formas inadecuadas en la conservación del suelo.

Durante los años 1970 - 1980 se implantó el cultivo de coca. En los años 1980 - 1990, se llegó a implantar plantaciones de achiote y hierba luisa, las que ayudaron a la degradación de estos suelos, mientras que en los años 1990 hasta la actualidad estos suelos se convirtieron en purmas bajas, las cuales han

estado expuestas al continuo quemado trayendo como consecuencia el lavado por las altas precipitaciones del suelo superficial y con él, de la materia orgánica y los nutrientes.

### **3.3 Análisis físico - químico del suelo e interpretación**

En el Cuadro 4, se presenta el análisis del suelo al inicio del experimento, observándose que el suelo es de textura franco arcillosa, con un pH fuertemente ácido, con saturación de aluminio pasando el límite crítico para la mayoría de cultivos. El contenido de aluminio y valor bajo de pH, nos indica que se está frente a un suelo fuertemente ácido probablemente con problemas de fijación de fósforo, el cual muestra un valor bajo. Además se podría especular que el elevado contenido de aluminio intercambiable probablemente origine problemas de toxicidad; el porcentaje de bases cambiables (Ca+Mg) revela que este suelo aún cuando es fuertemente ácido posee una cantidad de Ca + Mg que está en niveles que podría ser suficiente para los requerimientos de la mayoría de los cultivos; estos elementos posiblemente se hayan originado por la acumulación de cenizas debido a la frecuente quema de estos suelos. En base a la CIC<sub>e</sub> se podría pensar que existe una cantidad significativa de arcilla 1:1.

El suelo tiene una alta acidez, que no permite la actividad microbiana necesaria para descomponer la materia orgánica y con un contenido bajo de nutrientes, debido al mal manejo y la continua erosión.

**Cuadro 4.** Análisis físico - químico del suelo experimental.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Método empleado</b>
<b>Análisis físico</b>		
Arena (%)	29.68	Bouyoucos
Limo (%)	35.86	Bouyoucos
Arcilla (%)	34.46	Bouyoucos
Clase textural	Franco Arcilloso	Triángulo textural
<b>Análisis químico</b>		
pH	4.3	Potenciómetro
Materia orgánica (%)	2.2	Walkley - Black
Nitrógeno total (%)	0.10	%N = % MO x 0.045
Fósforo disponible (ppm P)	4.9	Olsen modificando
Potasio disponible (Kg K <sub>2</sub> Oha <sup>-1</sup> )	111	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 6N
CICefectiva	4.7	KCl 1N
Ca + Mg (cmol (p+).kg <sup>-1</sup> suelo)	2.6	Versenato
Al + H (cmol (p+).kg <sup>-1</sup> suelo)	2.1	Yuan
Al (cmol (Al+).kg <sup>-1</sup> suelo)	1.9	Yuan
% de Saturación de Aluminio	40.4	(Al/CIC) 100

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos de la UNAS.

### 3.4 Registros meteorológicos

Los datos meteorológicos durante el período de ejecución del experimento fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), cuyos resultados se encuentran en el Cuadro 5.



**Cuadro 5.** Datos meteorológicos registrados durante el experimento.

<b>Mes</b>	<b>Temperatura Media (°C)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>H.R° (%)</b>
Junio	24.1	129.4	86.1
Julio	24.5	187.0	85.0
Agosto	24.5	41.6	79.2
Setiembre	25.3	180.2	79.4
Octubre	25.9	202.2	80.9
Noviembre	25.0	456.7	85.5
Total	149.3	1197.1	496.1
Promedio mensual de los 6 meses	24.9	199.5	82.68

Fuente: SENAMHI - Tingo María

### **3.5 Componentes en estudio**

#### **3.5.1 Fuentes de material encalante**

- a. Caliza ( $\text{CaCO}_3$ )
- b. Dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )

Estos materiales fueron analizados para diferenciar la composición química y física en el laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (Cuadro 6).

**CUADRO 6.** Análisis químico de los materiales encalantes

<b>Muestra</b>	<b>MgO (%)</b>	<b>CaO (%)</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>
Caliza	8.00	31.25	60.0
Dolomita	34.00	13.80	95.0

Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALM

### **3.5.2 Fuentes de materiales orgánicos**

- a. Estiércol de vacuno
- b. Gallinaza

Estos materiales fueron obtenidos de la Granja Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y de la Granja Avícola Naranjillo, respectivamente; los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Cuadro 7)

**CUADRO 7.** Análisis del estiércol de vacuno y gallinaza

<b>Muestra</b>	<b>M.S. (%)</b>	<b>M.O (%)</b>	<b>N (%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>C : N</b>
Est. vacuno	23.6	65.8	1.7	38.9	22.88
Gallinaza	56.9	70.4	2.97	40.8	13.73

Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALM

### **3.5.3 Cultivo indicador**

El cultivo utilizado fue el maíz amarillo duro, variedad Marginal 28 Tropical, semilla que fue proporcionada por el Empresa San Fernando S. A. y que proviene de una selección poblacional por el CYMMYT, México. Fue introducida al Perú en 1983 en 20 localidades de las cuales los que mejor respondieron fueron, el Furke, Across y La Máquina; luego estos se combinaron en polinización libre originando la variedad M-28T. Su rendimiento de grano es de 9 tn.ha<sup>-1</sup>, floración en 45 a 65 días, período vegetativo de 110 a 120 días y altura de planta de 2 a 2.10 m.

### **3.6 Tratamientos en estudio**

El presente experimento estuvo constituido por 10 tratamientos, tal como se indica en el Cuadro 8. Los tratamientos del 1 al 8 llevaron adicionalmente abonamiento inorgánico equivalente a la fórmula 160 – 150 – 110.

### **3.7 Diseño experimental**

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el Diseño de Bloques Completamente Randomizados (DBCR) con diez tratamientos y tres repeticiones.

#### **3.7.1 Modelo aditivo lineal y análisis de variancia**

##### **3.7.1.1 Modelo aditivo lineal**

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

**CUADRO 8.** Descripción de los tratamientos en estudio.

Tratamiento	Descripción	Dosis (kg.ha <sup>-1</sup> )
T 1	Caliza	1000
T 2	Dolomita	1000
T 3	Estiércol de vacuno	4000
T 4	Gallinaza	4000
T 5	Caliza + Estiércol de vacuno	1000 + 4000
T 6	Caliza + Gallinaza	1000 + 4000
T 7	Dolomita + Estiércol de vacuno	1000 + 4000
T 8	Dolomita + Gallinaza	1000 + 4000
T 9	Testigo (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)	160 – 150 – 110
T 10	Testigo absoluto	Sin aplicación

Donde:

$Y_{ij}$  = Respuesta de la  $i$ -ésima aplicación de las enmiendas orgánicas e inorgánicas en el  $j$ -ésimo bloque.

$\mu$  = Media general.

$\alpha_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima aplicación de las enmiendas orgánicas e inorgánicas .

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque.

$\varepsilon_{ij}$  = Efecto aleatorio del error experimental.

Para:

$i = 1, 2, \dots, 10$  tratamientos

$j = 1, 2, 3$  bloques

### 3.7.1.2 Análisis de variancia

**CUADRO 9.** Esquema del análisis de variancia

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>
Bloque	2
Tratamientos	9
Error	18
<b>Total</b>	<b>29</b>

## 3.8 Características del campo experimental

### 3.8.1 Bloques

Número de bloques	3
Largo de bloque	38.40 m
Ancho de bloque	20.00 m
Ancho de calle entre bloques	1.50 m

### 3.8.2 Parcelas

Número de parcelas por bloque	10
Total de parcelas	30
Largo de parcela	5.4 m
Ancho de parcela	4.0 m

### 3.8.3 Detalle de parcelas

Número de hileras por parcelas	5
Distancia entre hileras	0.8 m
Distancia entre golpes	0.2 m
Número de golpes por hilera	27

### 3.8.4 Áreas

Área total de bloque	453.12 m <sup>2</sup>
Área total de parcela	21.60 m <sup>2</sup>
Área neta de parcela	11.04 m <sup>2</sup>
Área neta total	331.20 m <sup>2</sup>
Área total sembrada	648.00 m <sup>2</sup>
Área total del experimento	768.00 m <sup>2</sup>

## 3.9 Conducción del experimento

### 3.9.1 Preparación del terreno

Se procedió a hacer una limpieza manual para luego demarcar y parcelar de acuerdo al croquis de distribución de las parcelas (Anexo). La caliza y dolomita (molidas), estiércol de vacuno (descompuesto) y gallinaza (seca) fueron aplicados al suelo superficialmente en bandas a razón de 1 t.ha<sup>-1</sup> de caliza y dolomita (2.16 kg por parcela) y 4 t.ha<sup>-1</sup> de estiércol de vacuno y gallinaza (8.6 kg por parcela), 35 días antes de la siembra. Por las condiciones de la siembra directa, el suelo no fue removido (arado).

### **3.9.2 Siembra**

Las semillas fueron desinfectadas con Arasan 75 (Thiram) a razón de 3 gramos por kg de semilla con la finalidad de prevenir el ataque de hongos. La siembra se realizó el día 03 de Julio del 2001, empleándose el método tradicional (tacarpo), colocándose 1 semilla / golpe a un distanciamiento de 0.20 m entre plantas y 0.80 m entre hileras. A los 8 días después de la siembra (3 después de la emergencia) se hizo la resiembra que no fue significativa. Se utilizó una semilla/golpe debido a su alto poder germinativo (99%). No se hizo aporte por ser condición de la siembra directa.

### **3.9.3 Abonamiento**

A los 10 días de la siembra se aplicó media dosis de nitrógeno, todo el fósforo y todo el potasio; la segunda dosis de nitrógeno se aplicó cuando las plantas tenían 40 días de crecimiento. Las fuentes de abono fueron: sulfato de amonio (21% N, 24% S), roca fosfórica (30%  $P_2O_5$ ) y sulfato de potasio (50%  $K_2O$ , 18% S). Las deficiencias iniciales de fósforo se superaron con abono foliar Bayfolan al 2 %.

### **3.9.4 Deshierbos**

Los deshierbos fueron realizados en forma manual a los 40, 60 y 90 días de la siembra.

### **3.9.5 Control fitosanitario**

Cuando las plantas tenían 30 días, se observó el ataque de cogollero (*Spodoptera frugiperda*), la cual se combatió con Sherpa (Cypermotrina) a razón de 1.5%, siendo su acción satisfactoria. Cuando el cultivo tenía 90 días de sembrado y los granos estaban en la etapa lechosa se tuvo el ataque de gusano mazorquero (*Heliothis zea*), no presentándose un daño crítico por lo que no se realizó ningún control, lo que fue favorecido por las lluvias durante ese período.

### **3.9.6 Cosecha**

A los 120 días después de la siembra se realizó la cosecha manual de las mazorcas, empleándose bolsas para depositar las mazorcas de cada parcela. Para el ajuste de rendimiento al 14% de humedad, se determinó la humedad del grano en el determinador de humedad de la U.N.A.S.

### **3.9.7 Muestreo de suelos**

Para el primer muestreo se tomaron entre 20 a 30 submuestras al azar, recorriendo toda el área experimental y tomando las submuestras en zigzag, 45 días antes de la siembra. El segundo muestreo de suelos se realizó a los 7 días después de la cosecha de cada una de las parcelas en estudio, tomándose 10 submuestras/parcela de las bandas donde se aplicaron los tratamientos.



### **3.10 Observaciones registradas**

#### **3.10.1 Prueba de germinación**

Se colocaron 100 semillas en un plato de germinación con papel secante, con tres repeticiones, humedeciéndolas y colocándolas a temperatura ambiente. A los 6 días se obtuvo un porcentaje de 99 %. La prueba se realizó para determinar la cantidad de semilla a sembrarse por golpe, por lo que se decidió sembrarse una semilla por golpe.

#### **3.10.2 Porcentaje de germinación en campo**

Se contabilizó el número de plantas germinadas a los 6 días de la siembra en cada una de las parcelas, para ser determinada mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ germinación} = \frac{\text{Semillas germinadas}}{\text{Semillas sembradas}} \times 100$$

#### **3.10.3 Plantas establecidas**

Se determinó el número de plantas establecidas por cada surco dentro de una parcela a los 7 y 15 días después de la siembra, para observar el porcentaje de germinación y realizar el recalce. Su determinación es importante para obtener la densidad de plantas requeridas y en caso de la presencia de plagas y enfermedades.

#### **3.10.4 Días a la floración**

Se contabilizó el número de días entre la siembra y la emisión de polen del 100% de plantas dentro de cada parcela. Además se contabilizó el número de días entre la siembra y la aparición de estigma del 100% de plantas dentro de cada parcela. La evaluación fue iniciada cuando los estigmas presentaban de 2 a 3 cm.

#### **3.10.5 Altura de planta**

Para la determinación de este carácter se seleccionó 10 plantas al azar, las cuales fueron evaluadas cada 15 días, midiéndose en centímetros la distancia desde el punto de inserción de las raíces hasta la base de la espiga, utilizándose una regla graduada de 3 metros.

#### **3.10.6 Daño por insectos**

Debido al uso de insecticidas para combatir preventivamente las plagas, no se registraron datos que determinen el grado de daño causado por los insectos.

#### **3.10.7 Enfermedades**

No se presentó ataque de enfermedades.

#### **3.10.8 Acame**

Hasta el momento de la cosecha, no se observó acame de plantas.

### **3.10.9 Longitud y diámetro de mazorca**

Se utilizaron 10 mazorcas seleccionadas para determinar la longitud y diámetro de mazorca, utilizándose una regla milimetrada y un vernier digital.

### **3.10.10 Número de plantas al finalizar el experimento**

Se registró el número de planta cosechadas dentro de cada surco por parcela, sin importar que la planta presente o no mazorcas.

### **3.10.11 Materia seca**

Para cada tratamiento en estudio se seleccionaron tres plantas, las cuales fueron pesadas y puestas en bolsas de papel kraft por separado, para secarlas en la estufa a 70°C durante 24 horas, hasta que adquirieran peso constante. Las muestras fueron pesadas y por diferencia se calculó el porcentaje de humedad y materia seca, para posteriormente ser proyectadas a  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de materia seca .

### **3.10.12 Rendimiento**

La determinación del rendimiento de grano por tratamiento se realizó mediante la fórmula del CYMMIT (HIDALGO, 2002), considerando 3 surcos centrales y 23 golpes por surco (parcela neta):

$$\text{Rdto (kg}\cdot\text{ha}^{-1}) = \text{PMz} \times \frac{10000\text{m}^2}{4.6\text{m} \times 2.4\text{m}} \times \frac{100 - \text{Hi}}{100 - 14} \times \% \text{desgrane}$$

Donde:

PMz	:	Peso de mazorca por parcela (kg)
10000 m <sup>2</sup>	:	Area (m <sup>2</sup> ) de 1 hectárea.
4.6 m	:	Longitud de surcos evaluados
2.4 m	:	Ancho de parcela evaluada.
Hi	:	Humedad inicial del grano
% desgrane	:	Peso de grano de 10 mazorcas / peso de 10 mazorcas sin desgranar

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Del rendimiento de grano de maíz

Realizado el análisis estadístico del rendimiento de grano seco ajustado al 14% de humedad (Cuadro 27 del Anexo) se determinó que no existen diferencias estadísticas a nivel de bloques, pero sí a nivel de tratamientos ( $p > 0.01$ ), con un coeficiente de variabilidad aceptable para este tipo de experimentos. Similar significación se encontró para el efecto de las enmiendas, y dentro de estas, el efecto de las enmiendas sin combinación, combinadas y la comparación entre ambas, también mostraron alta significación estadística. Al comparar el efecto entre testigos (Fertilización vs. Testigo Absoluto) y Enmiendas versus Testigos también se halló igual significación.

#### 4.1.1 Efecto general de los tratamientos aplicados

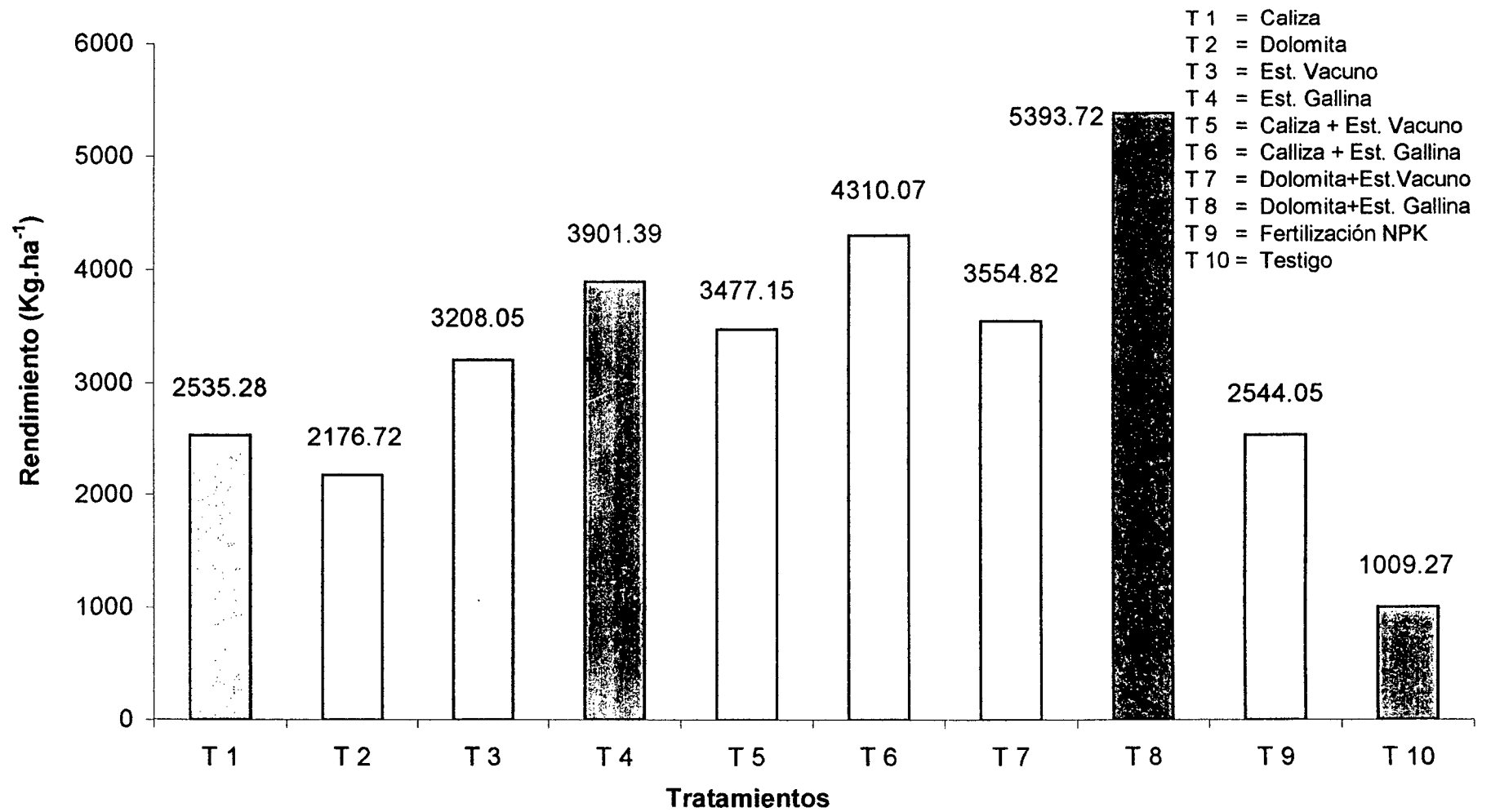
Al realizar la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) presentada en el Cuadro 10, se halló que el mejor rendimiento se obtuvo con la aplicación de Dolomita + Gallinaza ( $5\,393.7\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) el cual fue estadísticamente superior a todos los demás tratamientos, seguido de la Caliza + Gallinaza ( $4\,310.1\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y Gallinaza sola ( $3\,901.4\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), sin diferencias estadísticas entre estos tratamientos. Mientras tanto, los tratamientos con solamente Gallinaza ( $3\,901.4\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), Dolomita + Estiércol de Vacuno ( $3\,554.8\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y Caliza + Estiércol de Vacuno ( $3\,477.1\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) formaron un tercer grupo y no mostraron rendimientos estadísticamente

diferentes entre ellos. El tratamiento Dolomita + Gallinaza también presentó una mayor relación B/C (1.29) seguido de la Gallinaza (1.12) y de la Caliza + Gallinaza (1.10). En general, los tratamientos que produjeron menores rendimientos también tuvieron menores valores de relación Beneficio / Costo (Cuadro 32 del Anexo).

**Cuadro 10.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el rendimiento de grano del maíz para los diferentes tratamientos

Clave	Tratamiento	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	Significación ( $\alpha = 0.05$ )
T 8	Dolomita + Gallinaza	5 393.72	a
T 6	Caliza + Gallinaza	4 310.07	b
T 4	Gallinaza	3 901.39	b c
T 7	Dolomita + Estiércol de Vacuno	3 554.82	c d
T 5	Caliza + Estiércol de Vacuno	3 477.15	c d
T 3	Estiércol de Vacuno	3 208.05	d
T 9	Fertilización N P K	2 544.05	e
T 1	Caliza	2 535.28	e
T 2	Dolomita	2 176.52	e
T 10	Testigo	1 009.27	f

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.



**Figura 5.** Efectos de los materiales encalantes y orgánicos en el rendimiento del grano de maíz

Todos los tratamientos anteriormente mencionados fueron superiores a la Fertilización inorgánica N-P-K ( $2\ 544.0\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y a la aplicación de Caliza ( $2\ 535.3\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y Dolomita ( $2\ 176.5\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) solas, que no tuvieron diferencias estadísticas entre sí, siendo estos superiores al Testigo ( $1\ 009.2\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Estos resultados muestran la necesidad de aplicación a estos suelos, de materiales orgánicos, adicionalmente a la fertilización inorgánica, sobre todo si van acompañados de enmiendas cálcico-magnésicas para corregir su acidez. También es relevante, que ni la Fertilización NPK sola ni la adición de materiales calcáreos solos produjeron incrementos de rendimiento tan importantes como los obtenidos con los estiércoles, resultados similares hallados por HUAMANÍ *et al.* (1995) en el cultivo de arroz en suelos similares.

Con relación al escaso efecto que tuvo la Fertilización NPK, se debería a que, tratándose de suelos altamente degradados, no es suficiente la sola adición de NPK, ya que hay otros elementos, como microelementos, hormonas y otros principios del crecimiento, que serían limitantes en el suelo donde se realizó el experimento; sin embargo, la adición de fertilizantes inorgánicos superó al testigo, indicando pues la necesidad de ellos para contrarrestar en parte la extrema deficiencia de dicho suelo. Al respecto es importante señalar que la bibliografía consultada indica que suelos inicialmente con una alta fertilidad natural pueden llegar a producir en un corto plazo hasta el 75% de su potencial productivo; sin embargo, su uso continuo por períodos prolongados conduce necesariamente a su agotamiento de modo que los



rendimientos obtenidos sin uso de fertilizantes pueden ser del orden del 25 al 45 % del rendimiento máximo (con fertilizantes) (BOCKMAN y CROVETTO, 1983). Sin embargo, en nuestros resultados vemos que los rendimientos se redujeron a menos de un 20% comparando el Testigo Absoluto (1 009.3 kg.ha<sup>-1</sup>) con el de máximo rendimiento, Dolomita + Gallinaza (5 393.72 kg.ha<sup>-1</sup>) y en menos del 50% en comparación con el tratamiento con Fertilizantes solamente (2 544.0 kg.ha<sup>-1</sup>).

#### **4.1.2 Efecto de las enmiendas aplicadas solas**

La prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) del Cuadro 11, muestra que al comparar el grupo de los materiales encalantes frente al grupo de los materiales orgánicos, se encontró que mejores rendimientos se obtuvieron con la aplicación independiente de materiales orgánicos que encalantes; así, los rendimientos alcanzados con la aplicación de Gallinaza (3901.39 kg.ha<sup>-1</sup>) fueron estadísticamente superiores a los obtenidos con estiércol de vacuno (3208.05 kg.ha<sup>-1</sup>) y ambos a su vez, superiores a los obtenidos con la Caliza (2 535.3 kg.ha<sup>-1</sup>) y Dolomita (2 176.5 kg.ha<sup>-1</sup>).

Esto indicaría que no es suficiente la sola aplicación de materiales encalantes a los suelos ácidos degradados para lograr altos rendimientos ya que siendo este suelo muy deficiente en nutrientes, tales enmiendas no tendrían muchos nutrientes para liberar del suelo empobrecido, como P por ejemplo, en las cantidades requeridas por el maíz.

**Cuadro 11.** Efecto independiente de los estiércoles y calizas en el rendimiento de grano del maíz

Enmienda	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	Significación (Duncan, $\alpha = 0.05$ )
Gallinaza	3 901.39	a
Estiércol de Vacuno	3 208.05	b
Caliza	2 535.28	c
Dolomita	2 176.52	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.

Los mejores rendimientos obtenidos con los materiales orgánicos (Gallinaza y Estiércol de Vacuno), se atribuyen a la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En cuanto a las propiedades físicas, principalmente por el incremento en la capacidad de retención de humedad del suelo, desde que el cultivo fue conducido justo en los meses de menor precipitación en la zona. En relación a las propiedades químicas, los estiércoles no sólo son portadores de macronutrientes primarios, sino también de los secundarios y de micronutrientes en cantidades pequeñas pero variables, así como también se les atribuye efecto en el acomplejamiento del aluminio reduciendo de este modo su efecto tóxico. En lo relativo a las propiedades biológicas, se sabe que los estiércoles son portadores también de hormonas, vitaminas y otros principios del crecimiento, que favorecen

no sólo el crecimiento de las plantas, sino también de muchos microorganismos benéficos, entre estos los azotrópicos y los nitrificantes.

Comparando el efecto de los estiércoles, se notó un mejor efecto de la Gallinaza sobre el Estiércol de Vacuno, debido probablemente a su mayor contenido en N principalmente y a su menor relación C/N ( $C/N = 13.73$ ) en comparación con la del Estiércol de Vacuno ( $C/N = 22.88$ ) que habría propiciado una mayor velocidad de mineralización de ella (TISDALE y NELSON, 1970).

En relación a los materiales encalantes, se notó un mejor efecto de la Caliza sobre la Dolomita, cuando se aplicaron solas, aun cuando las diferencias carecieron de significación estadística, efecto que podría atribuirse al mayor producto de solubilidad de la Caliza debido a su menor contenido de magnesio.

#### **4.1.3 Efecto de las enmiendas aplicadas en combinación**

Para evaluar el efecto de las enmiendas aplicadas en forma combinada, se hizo la Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) que se presenta en el Cuadro 12. Se observa que la mejor combinación para obtener rendimientos elevados fue la aplicación de Dolomita + Gallinaza ( $5\ 393.72\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) seguido del tratamiento Caliza + Gallinaza ( $4\ 310.07\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) con diferencias significativas entre ambas. No se halló diferencias estadísticas entre las combinaciones de Dolomita + Estiércol de vacuno ( $3\ 554.82\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y Caliza + Estiércol de Vacuno ( $3\ 477.15\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). La superioridad de los tratamientos con Gallinaza, se debería como se mencionó anteriormente, a que su

mayor velocidad de descomposición conduciría a un aporte de nutrientes con mayor rapidez y cantidad y paralelamente un efecto mayor en la disolución de los materiales encalantes. Teorizando un poco más, esta mayor disolución de las calizas conduciría a un efecto más rápido sobre la neutralización del Aluminio, liberación del P retenido y por lo tanto un mayor crecimiento radicular para una mejor explotación del suelo (TISDALE y NELSON, 1970 ).

**Cuadro 12.** Efecto de la aplicación combinada de las enmiendas en el rendimiento de grano del maíz

Tratamiento	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	Significación (Duncan, $\alpha = 0.05$ )
Dolomita + Gallinaza	5 393.72	a
Caliza + Gallinaza	4 310.07	b
Dolomita + Estiércol de Vacuno	3 554.82	c
Caliza + Estiércol de Vacuno	3 477.15	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.

Es importante resaltar el efecto que tuvo la Dolomita en relación a la Caliza cuando fueron aplicadas en combinación con las enmiendas orgánicas. La manifiesta superioridad de la Dolomita sobre la Caliza podría atribuirse a un efecto aditivo de los estiércoles: mayor disolución de los materiales encalantes por acción

de los ácidos de origen orgánico y liberación del magnesio de la Dolomita para una mayor eficiencia fotosintética y rendimiento de las plantas de maíz.

#### **4.1.4 Efecto de la combinación de las enmiendas orgánicas e inorgánicas**

El Cuadro 13 muestra el efecto de la combinación de los materiales encalantes y orgánicos, considerando que la fuente de variación Con combinación vs. Sin combinación tuvo alta significación estadística (Cuadro 27 del Anexo).

Se puede observar que el hecho de combinar los materiales encalantes con los orgánicos, produjo incrementos muy importantes y de alta significación en el rendimiento de grano del maíz. Es decir, como grupo, la aplicación independiente de cualquiera de los materiales antes mencionados, produciría rendimientos significativamente inferiores a aquellos obtenidos cuando se mezclan los materiales encalantes con los orgánicos. En otros términos, existiría una especie de sinergia o aditividad entre ellos debido posiblemente a una mejora de las condiciones físicas y químicas del suelo para un incremento en la solubilidad de los materiales calcáreos, y estos a su vez, debido a su efecto en la elevación del pH, contribuirían a una mayor mineralización de la materia orgánica.

De este modo se puede apreciar que la aplicación combinada de las enmiendas produjo rendimientos superiores en 46.6 % ( $4\ 183.94\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en relación a la aplicación sin combinación ( $2\ 955.31\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

**Cuadro 13.** Efecto comparativo de la aplicación independiente y combinada de las enmiendas químicas y orgánicas en el rendimiento de grano del maíz

Tratamiento	Rendimiento (kg.ha <sup>-1</sup> )	Significación (Duncan, $\alpha = 0.05$ )
Combinados	4 183.94	a
Sin combinar	2 955.31	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.

#### 4.2 De la longitud y diámetro de mazorca

En el Cuadro 27 del Anexo se presenta el resumen del análisis de variancia de la longitud y diámetro de mazorca, donde se observa que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos, mas no entre enmiendas, excepto para el diámetro de mazorca, donde hubo significación para la fuente de variabilidad Combinados vs. Sin Combinar. La alta significación entre tratamientos, según estos resultados, se atribuiría a las diferencias obtenidas entre los testigos, y entre estos y las enmiendas en conjunto.

Debido a que realizada la Prueba de Duncan de las enmiendas no se halló significación estadística, en este acápite se discutirá sólo el efecto de los testigos y el de estos versus las enmiendas como grupo. Asimismo, se discutirá el efecto de la fuente de variabilidad Combinados vs. Sin Combinar que resultó altamente significativa para el diámetro de mazorca.

La alta de significación observada para la longitud y diámetro de mazorca indicaría que los incrementos obtenidos en estas características por la aplicación de las enmiendas, no serían lo suficientemente altos como para producir diferencias de significación. En otras palabras, tales características no serían adecuadas como para evaluar el efecto de los tratamientos.

#### **4.2.1 Efecto de la aplicación de las enmiendas en la longitud y diámetro de mazorca**

En los Cuadros 14 y 15 se presentan las Pruebas de Duncan de la longitud y diámetro de mazorca, y en la Figura 6 se grafican estos resultados, los que muestran en general la superioridad de la aplicación de las enmiendas principalmente en combinación, sobre la fertilización inorgánica sola y el testigo, lo que constituye un reflejo de la pobreza del suelo en nutrientes, y son concordantes con los resultados obtenidos en el rendimiento de grano. ●

Igualmente es notorio el poco efecto de la fertilización inorgánica, al producir mazorcas más pequeñas, indudablemente por una deficiente actividad fotosintética, lo que indicaría que en estos suelos sería imprescindible la incorporación de materia orgánica preferentemente acompañada de la adición de calizas, para el cultivo utilizado.

**Cuadro 14.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) de la longitud de mazorca

Clave	Tratamiento	Longitud (cm)	Significación ( $\alpha = 0.05$ )
T 8	Dolomita + Gallinaza	18.28	a
T 7	Dolomita + Estiércol de Vacuno	18.24	a b
T 6	Caliza + Gallinaza	17.65	a b
T 4	Gallinaza	17.57	a b
T 5	Caliza + Estiércol de Vacuno	17.03	a b
T 2	Dolomita	16.72	a b
T 1	Caliza	16.70	a b
T 3	Estiércol de Vacuno	16.24	a b
T 9	Fertilización N P K	15.79	b
T 10	Testigo	13.29	c

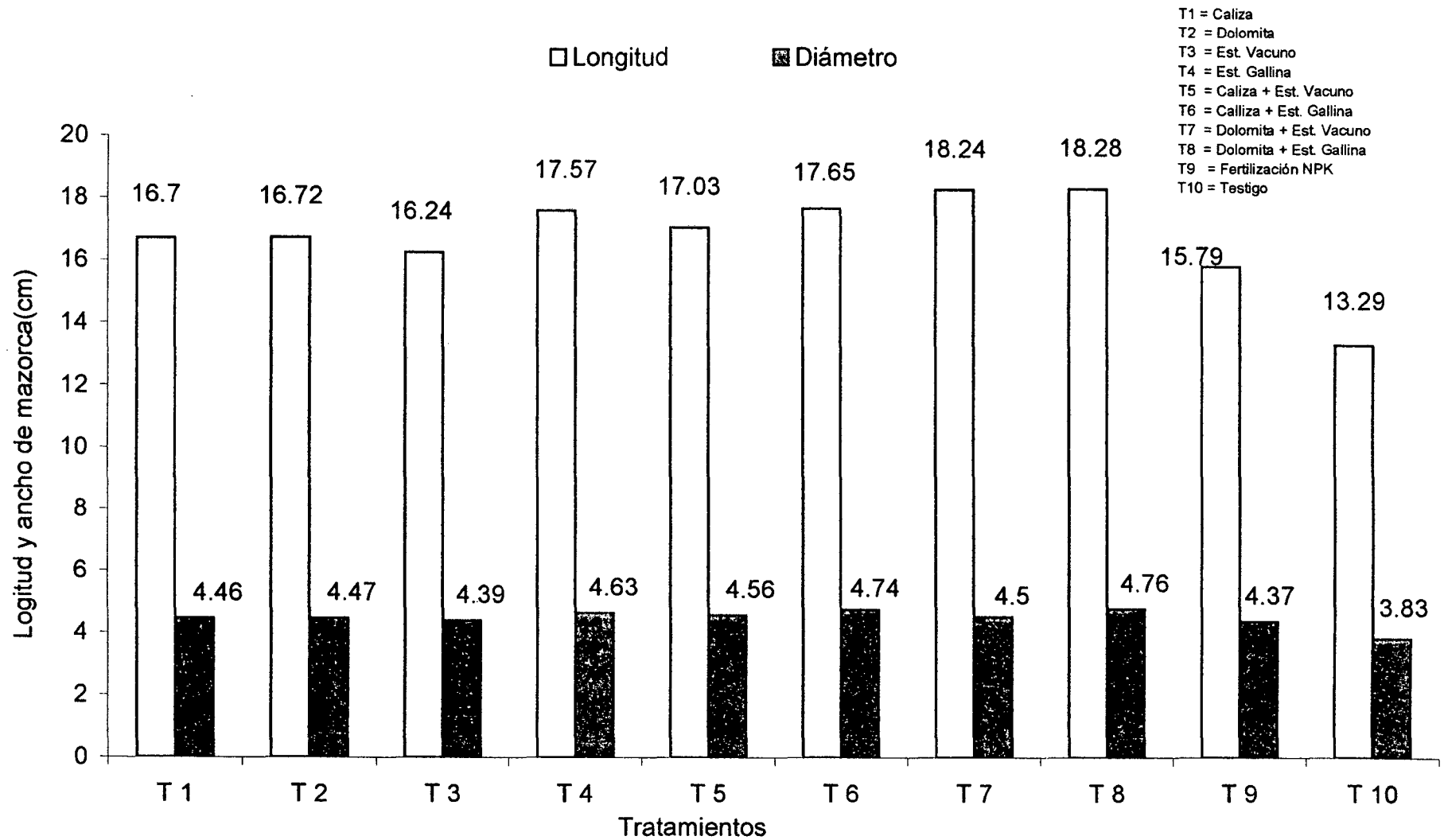
Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.



**Cuadro 15.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) del diámetro de mazorca

Clave	Tratamiento	Diámetro (cm)	Significación ( $\alpha = 0.05$ )
T 8	Dolomita + Gallinaza	4.76	a
T 6	Caliza + Gallinaza	4.74	a b
T 4	Gallinaza	4.63	a b
T 5	Caliza + Estiércol de Vacuno	4.56	a b
T 7	Dolomita + Estiércol de Vacuno	4.50	a b
T 2	Dolomita	4.47	a b
T 1	Caliza	4.46	a b
T 3	Estiércol de Vacuno	4.39	b
T 9	Fertilización N P K	4.37	b
T 10	Testigo	3.83	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.



**Figura 6.** Efectos de los materiales encalantes y orgánicos en la longitud y ancho de mazorca de maíz.

También es notorio el poco efecto del Estiércol de Vacuno aplicado solo, debido a su baja concentración de nutrientes que habría sido insuficiente como para satisfacer la demanda del cultivo en sus últimos estados de desarrollo.

Las mayores diferencias estadísticas registradas entre tratamientos combinados y sin combinar en el rendimiento de grano en relación a la longitud y diámetro de mazorca, se deberían a que de acuerdo a lo observado en campo, si bien había cierta uniformidad en el tamaño de mazorcas entre los diferentes tratamientos que llevaron enmiendas, en cambio sí era notoria la falta de llenado o ausencia de granos en las mazorcas, observándose en muchas de ellas deficiencias en la cobertura de mazorcas (puntas desprovistas de grano), principalmente en los tratamientos en los que se aplicaron las enmiendas solas. Esta observación se debería a probables desbalances de Ca/K o Ca + Mg/K o también a la escasez de Boro, microelemento que tiene participación en la germinación del grano de polen y en la transformación de los hidratos de carbono (MENGEL y KIRKBY, 1978). En cuanto al desbalance catiónico antes mencionado, como es sabido, el K participa en la transformación de los carbohidratos y su translocación a los órganos de reserva o almacenaje como lo reportan TISDALE y NELSON (1970).

Por estas razones, no se habrían observado diferencias estadísticas entre los tratamientos que llevaron las enmiendas solas y en combinación como se observó en el rendimiento de grano, razón por la cual la prueba de Duncan reporta similitud de tamaño entre los referidos tratamientos.

#### 4.2.2 Efecto de la Fertilización inorgánica en la longitud y diámetro de mazorca

Como se aprecia en el Cuadro 16, la Fertilización inorgánica produjo mazorcas de mayor longitud y diámetro que el Testigo, resultado también coincidente con lo observado en el rendimiento de grano. Estos resultados constituyen una evidencia más de la pobreza en nutrientes del suelo utilizado.

**Cuadro 16.** Efecto de la fertilización inorgánica en la longitud y diámetro de mazorca (Duncan,  $\alpha = 0.05$ )

	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)
Fertilización NPK	15.79 a	4.37 a
Testigo	13.29 b	3.83 b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.

#### 4.2.3 Efecto general de las enmiendas en la longitud y diámetro de mazorca

Analizando en promedio el efecto de la adición de las enmiendas en relación a los testigos (promedio de la Fertilización + Testigo Absoluto), se observa en el

Cuadro 17, que son bastante evidentes las mejoras en longitud y diámetro de mazorca que se obtienen con la adición de los materiales encalantes y orgánicos, lo que evidencia la necesidad de estos suelos de la aplicación de los materiales antes mencionados, ya que la sola fertilización no es suficiente para la obtención de mazorcas de buen tamaño.

**Cuadro 17.** Efecto de las enmiendas en la longitud y diámetro de mazorca en relación a los testigos (Duncan,  $\alpha = 0.05$ )

Tratamientos	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)
Enmiendas	17.30 a	4.56 a
Testigos	14.54 b	4.10 b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.

#### **4.2.4 Efecto de la combinación de enmiendas en el diámetro de mazorca**

En el Cuadro 18 se presentan los resultados del efecto de la combinación de las enmiendas, y como se vio en el rendimiento de grano, el hecho de combinar las enmiendas, es decir, materiales encalantes con estiércoles, en conjunto, produjo mazorcas de mayor tamaño que cuando los mismos materiales se aplicaron solos, lo que se justifica en igual forma que en la discusión de la característica antes mencionada, por la existencia de una estrecha relación entre el tamaño de mazorca y

el rendimiento de grano. Sin embargo, en este caso no hubo diferencias de significación en lo que se refiere a la longitud de mazorca pero la tendencia se mantuvo.

**Cuadro 18.** Efecto de la combinación de las enmiendas en la longitud y diámetro de mazorca (Duncan,  $\alpha = 0.05$ )

<u>Combinación</u>	<u>Longitud de mazorca (cm)</u>	<u>Diámetro de mazorca (cm)</u>
Combinado	17.80 a	4.64 a
Sin combinar	16.80 a	4.49 b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.

### 4.3 Producción de materia seca de la parte aérea

En el ANVA del Cuadro 27 del Anexo se observa que no existen diferencias de significación estadística a nivel de bloques y alta significación estadística a nivel de tratamientos. La significación estadística a nivel de tratamientos no se atribuye indudablemente al efecto de las enmiendas sin combinación ni a los testigos, fuentes de variación que resultaron sin significación estadística; la falta de significación entre testigos (Testigo Absoluto y Fertilización NPK) indicaría que la fertilización inorgánica no tuvo ningún efecto sobre la acumulación de materia seca.

#### **4.3.1 Efecto general de los tratamientos en la producción de materia seca**

En el Cuadro 19 se presenta la Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) con la finalidad de evaluar el efecto general de los tratamientos aplicados en la producción de biomasa por el cultivo de maíz. Se observa en este Cuadro y en la Figura 7 que dentro de los tratamientos estudiados, el mejor resultado se obtuvo al aplicar Dolomita + Gallinaza ( $3\ 747.70\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) seguido del tratamiento de Caliza + Gallinaza ( $3\ 586.99\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) sin diferencias estadísticas entre ellos. Luego, la Caliza + Gallinaza ( $3\ 285.43\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) formando un grupo sin diferencias estadísticas con la Gallinaza sola y los tratamientos que llevaron Estiércol de Vacuno, solo o en combinación (tratamientos 7, 4 y 5).

Estos resultados por parte de los tratamientos que tuvieron como combinación a la Gallinaza, corroboran una vez más la superioridad de este material orgánico frente al Estiércol de Vacuno, así como la superioridad de las combinaciones de los materiales orgánicos con los encalantes sobre los mismos materiales al aplicarse solos, como lo observado en el rendimiento de grano, lo que indica la estrecha relación existente entre el rendimiento de grano y la producción de biomasa.

Un último grupo estuvo conformado por la Dolomita, Caliza, Fertilización NPK y el Testigo, sin diferencias estadísticas entre ellos. Sin embargo, la poca diferencia en formación de materia seca obtenida fue suficiente como para producir diferencias de significación en el rendimiento de grano como se vio anteriormente.

**Cuadro 19.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el rendimiento de materia seca

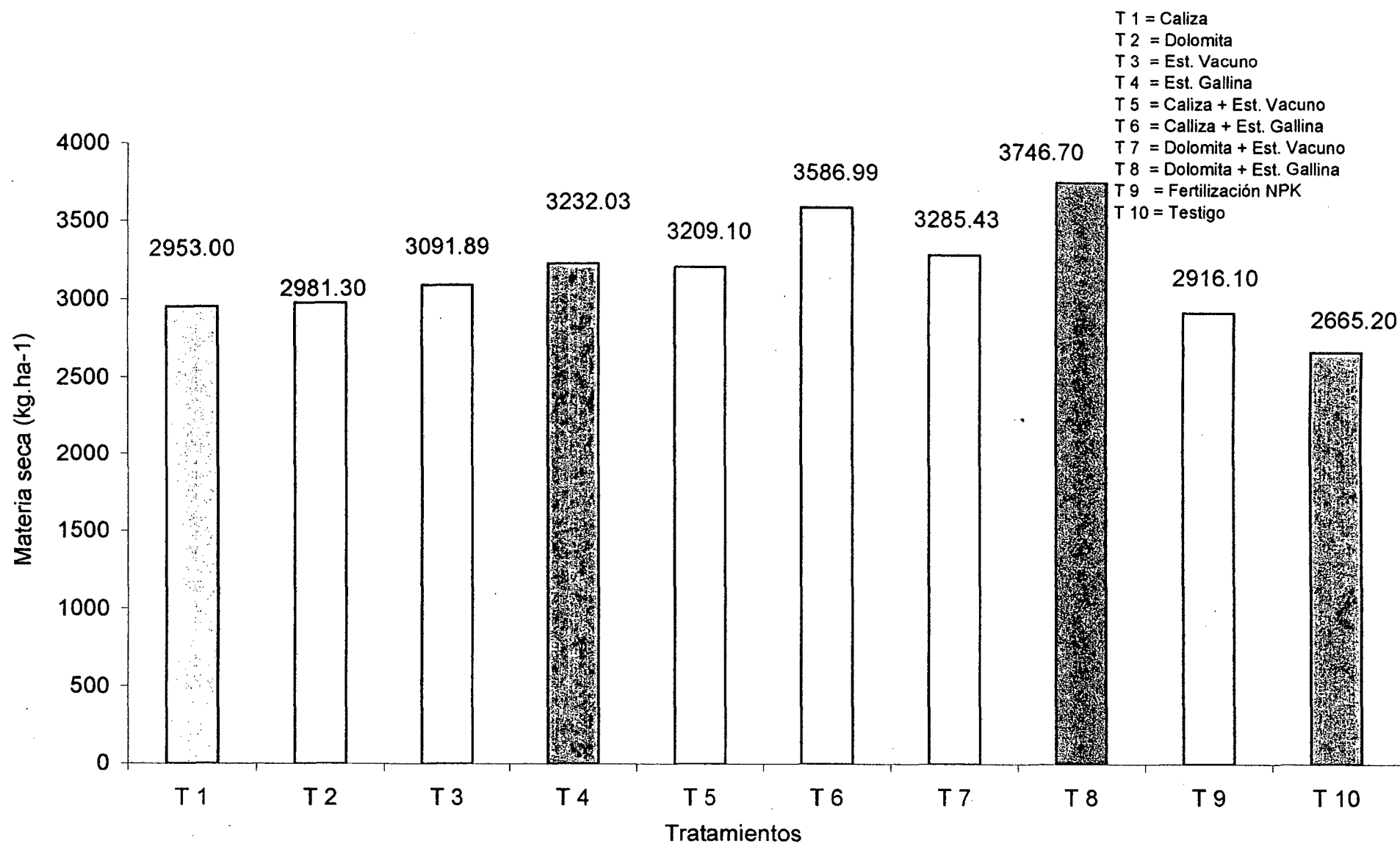
Clave	Tratamiento	Rendimiento ( kg.ha <sup>-1</sup> )	Significación ( $\alpha = 0.05$ )
T 8	Dolomita + Gallinaza	3 747.70	a
T 6	Caliza + Gallinaza	3 586.99	a b
T 7	Gallinaza	3 285.43	b
T 4	Dolomita + Estiércol de Vacuno	3 232.03	b c
T 5	Caliza + Estiércol de Vacuno	3 209.10	b c
T 3	Estiércol de Vacuno	3 091.89	c
T 2	Dolomita	2 981.30	c d
T 1	Caliza	2 953.00	c d
T 9	Fertilización N P K	2 916.10	c d
T 10	Testigo	2 665.2	d

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.

#### 4.3.2 Efecto de las enmiendas aplicadas en combinación

Como se ve en el Cuadro 20, la misma tendencia observada en el rendimiento de materia seca se observó en la producción de materia seca, pero sin embargo, las diferencias entre los tratamientos 6 y 7 no resultaron de significación. Estos





**Figura 7.** Efectos de los materiales encalantes y orgánicos en la cantidad de materia seca aportada por el cultivo de maíz.

resultados no desmerecen, sino que más bien apoyan lo discutido anteriormente referente a las bondades de la Gallinaza y de la Dolomita cuando fueron aplicados en combinación.

**Cuadro 20.** Efecto de la aplicación de las enmiendas aplicadas en combinación

Tratamiento	Materia seca ( kg.ha <sup>-1</sup> )	Significación ( $\alpha = 0.05$ )
Dolomita + Gallinaza	3 747.70	a
Caliza + Gallinaza	3 586.99	a b
Dolomita + Estiércol de Vacuno	3 285.43	b
Caliza + Estiércol de Vacuno	3 209.10	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.

#### **4.3.3 Efecto de las enmiendas combinadas y sin combinación**

Como se puede ver en el Cuadro 21, las enmiendas aplicadas en combinación produjeron mayor cantidad de materia seca que cuando fueron aplicadas solas. Es decir hubo una mayor actividad fotosintética como producto de una mayor disponibilidad de nutrientes, lo que se tradujo en un mayor rendimiento de grano.

**Cuadro 21.** Efecto de las enmiendas aplicadas solas y en combinación

Tratamiento	Materia seca ( kg.ha <sup>-1</sup> )	Significación ( $\alpha = 0.05$ )
Combinadas	3 457.30	a
Sin combinar	3 064.55	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no difieren significativamente entre sí.

#### **4.4 Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en las propiedades químicas del suelo**

##### **a. Efecto sobre el pH del suelo**

Analizando el Cuadro 22 se puede apreciar en primer lugar, comparando el pH al inicio del experimento con el tratamiento Testigo, que el uso agrícola del suelo sin aplicación de ningún tratamiento, produjo una reducción del pH del suelo de 0.4 unidades de pH debido probablemente a la extracción de bases cambiables y liberación de protones por las raíces de las plantas con la consiguiente concentración de cationes ácidos en el suelo. Ello también se observa en la Figura 8.

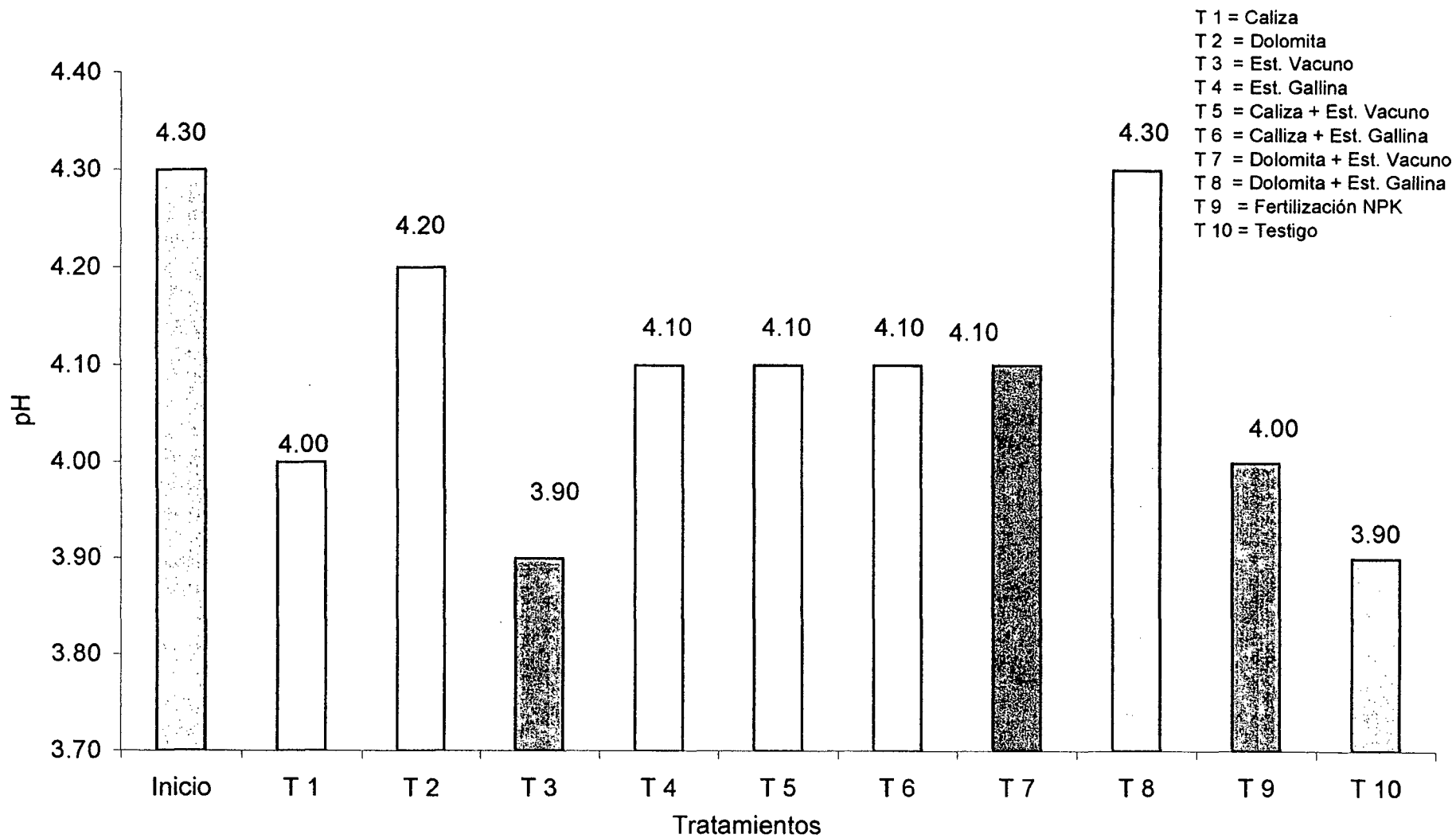
Al finalizar el experimento, sin embargo, luego del período de crecimiento del cultivo, con excepción del tratamiento con Estiércol de Vacuno, donde permaneció invariable, en todos los demás tratamientos el pH se elevó, nuevamente hasta en 0.4 unidades como máximo, con la aplicación de Dolomita + Gallinaza.

**Cuadro 22.** Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en el pH del suelo.

Tratamientos	Descripción	pH
	Inicio del experimento	4.3
	Final del experimento	
T 1	1 tn. Caliza	4.0
T 2	1 tn. Dolomita	4.2
T 3	4 tn. Estiércol vacuno	3.9
T 4	4 tn Gallinaza	4.1
T 5	1 tn. Caliza + 4 tn. Estiércol vacuno	4.1
T 6	1 tn Caliza + 4 tn. Gallinaza	4.1
T 7	1 tn. Dolomita + 4 tn. Estiércol vacuno	4.1
T 8	1 tn. Dolomita + 4 tn. Gallinaza	4.3
T 9	Fertilización NPK	4.0
T 10	Testigo	3.9

Comparando los materiales encalantes aplicados solos, la Dolomita logró un mayor incremento en el pH (0.3 unidades) en comparación con la Caliza (0.1 unidad) atribuyéndose ello a su mayor contenido de Mg lo que le otorgaría mayor poder neutralizante (ALCARDE, 1986).

Entre los estiércoles aplicados solos, la Gallinaza produjo un incremento de 0.2 unidades debido probablemente a su contenido de carbonatos o tal vez a su efecto acomplejador del Al lo que también habría originado la reducción del



**Figura 8.** Efectos de los materiales encalantes y orgánicos en el pH del suelo.

porcentaje de saturación de Al como se verá posteriormente. Estos resultados discreparían aparentemente con las concepciones teóricas que afirman que las aplicaciones de materia orgánica al suelo reducen el pH del mismo, debido a que por la acción de los microorganismos, durante el proceso de descomposición, se produce  $\text{CO}_2$  que al reaccionar con el agua forma  $\text{H}_2\text{CO}_3$  que acidifica el medio, y durante la nitrificación igualmente, se liberan  $\text{H}^+$  procedentes del N amoniacal. Sin embargo, es necesario recordar que por lo menos en lo que respecta a la Gallinaza, la crianza de estos animales implica la inclusión de materiales calcáreos tanto para su alimentación como para la prevención de enfermedades en las camas.

La combinación de los materiales orgánicos e inorgánicos parecería haber logrado un efecto complementario al haber producido en general mayores efectos en el mejoramiento de esta característica.

La fertilización inorgánica por su parte, no logró variación de importancia, reduciendo el pH del suelo en 0.1 unidad, similar al efecto causado por la caliza.

#### **b. Efecto en el contenido de materia orgánica**

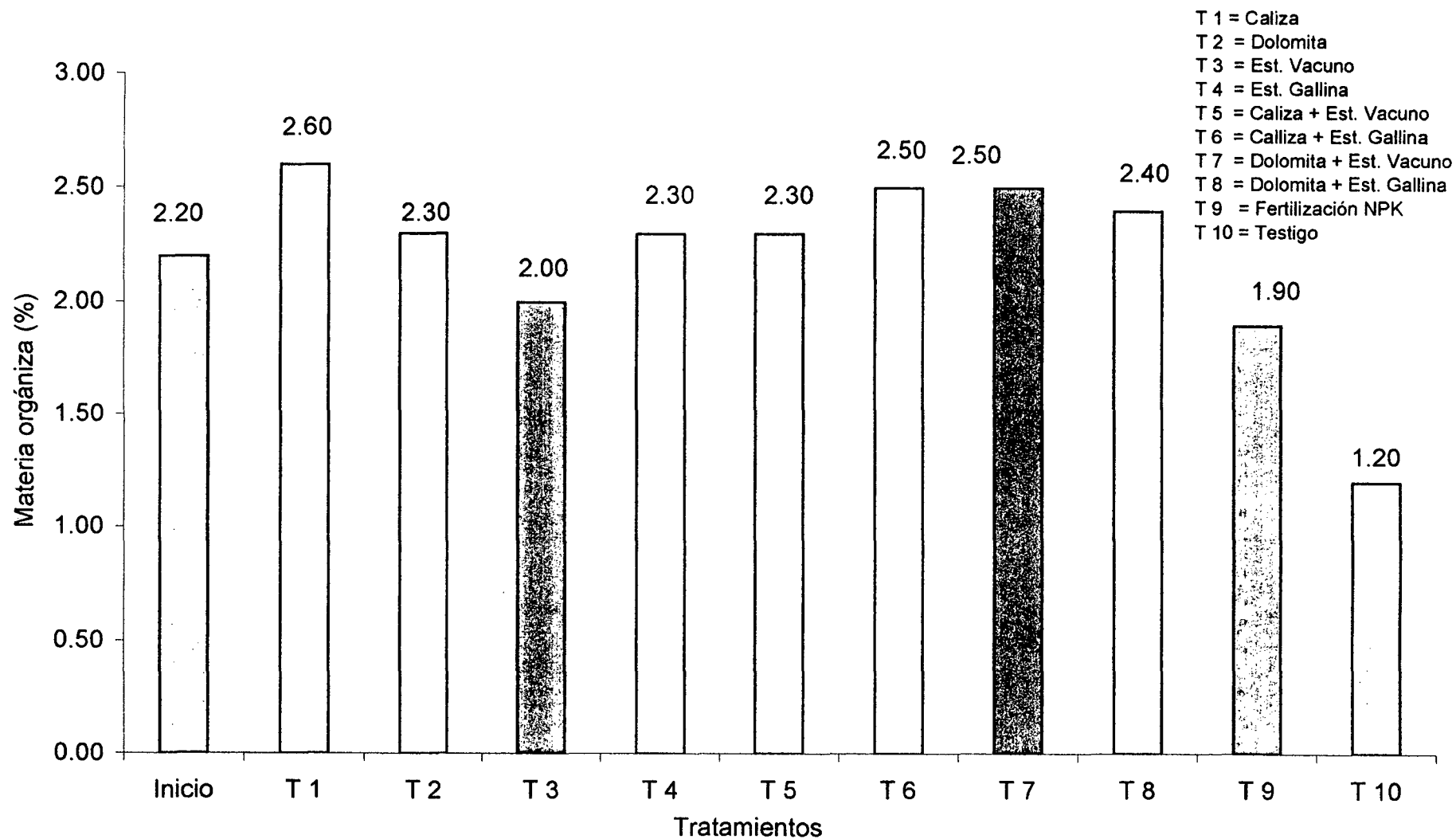
En el Cuadro 23 y la Figura 9 se puede apreciar en primer lugar, que el efecto del cultivo mismo sobre el contenido de materia orgánica del suelo, fue de una reducción del 1% (de 2.2 al inicio del experimento a 1.2 al final del experimento cuando no se aplicó ningún tratamiento). Resulta indudable que las acciones de eliminación de la vegetación y parcial descubrimiento del suelo,

habrían inducido una aceleración en la descomposición de la materia orgánica y que el poco rendimiento de biomasa radicular de este tratamiento no haya sido capaz de equilibrar el proceso de mineralización.

**Cuadro 23.** Efecto de las enmiendas orgánicas e inorgánicas en el contenido de materia orgánica del suelo

Tratamientos	Descripción	M.O (%)
	Inicio del experimento	2.2
	Final del experimento	
T 1	1 tn. Caliza	2.6
T 2	1 tn. Dolomita	2.3
T 3	4 tn. Estiércol vacuno	2.0
T 4	4 tn. Gallinaza	2.3
T 5	1 tn. Caliza + 4 tn. Estiércol vacuno	2.3
T 6	1 tn Caliza + 4 tn. Gallinaza	2.5
T 7	1 tn. Dolomita + 4 tn. Estiércol vacuno	2.5
T 8	1 tn. Dolomita + 4 tn. Gallinaza	2.4
T 9	Fertilización (N-P-K)	1.9
T 10	Testigo	1.2

Analizando entonces a partir del tratamiento Testigo, todos los demás tratamientos lograron incrementar el nivel de materia orgánica del suelo, atribuible a la producción de biomasa, específicamente radicular. Se puede apreciar por



**Figura 9.** Efectos de los materiales encalantes y orgánicos en la materia orgánica del suelo.



ejemplo, que en líneas generales, el incremento en el contenido de materia orgánica del suelo mantuvo estrecha relación con el rendimiento en materia seca de los tratamientos en estudio, lo que resulta razonable si se considera también que existe relación entre la parte aérea y radicular de las plantas.

**c. Efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico**

La capacidad de intercambio catiónico es una propiedad química que está muy relacionada con el pH, materia orgánica, tipo de arcilla y otros. Los resultados encontrados en este trabajo ratifican esta relación (Cuadro 24, Figura 10).

Se observa de este modo, el efecto que tuvo el cultivo de maíz al reducir la CICE de 4.7 al inicio del experimento hasta 2.8 al final del mismo, lo que puede explicarse en base a la pérdida de materia orgánica de suelo durante el período de crecimiento del cultivo así como a la reducción del pH y como se sabe, en los suelos tropicales predominan arcillas del tipo 1:1, y sesquióxidos de Fe y Al que tienen cargas dependientes del pH (FITZPATRICK, 1984).

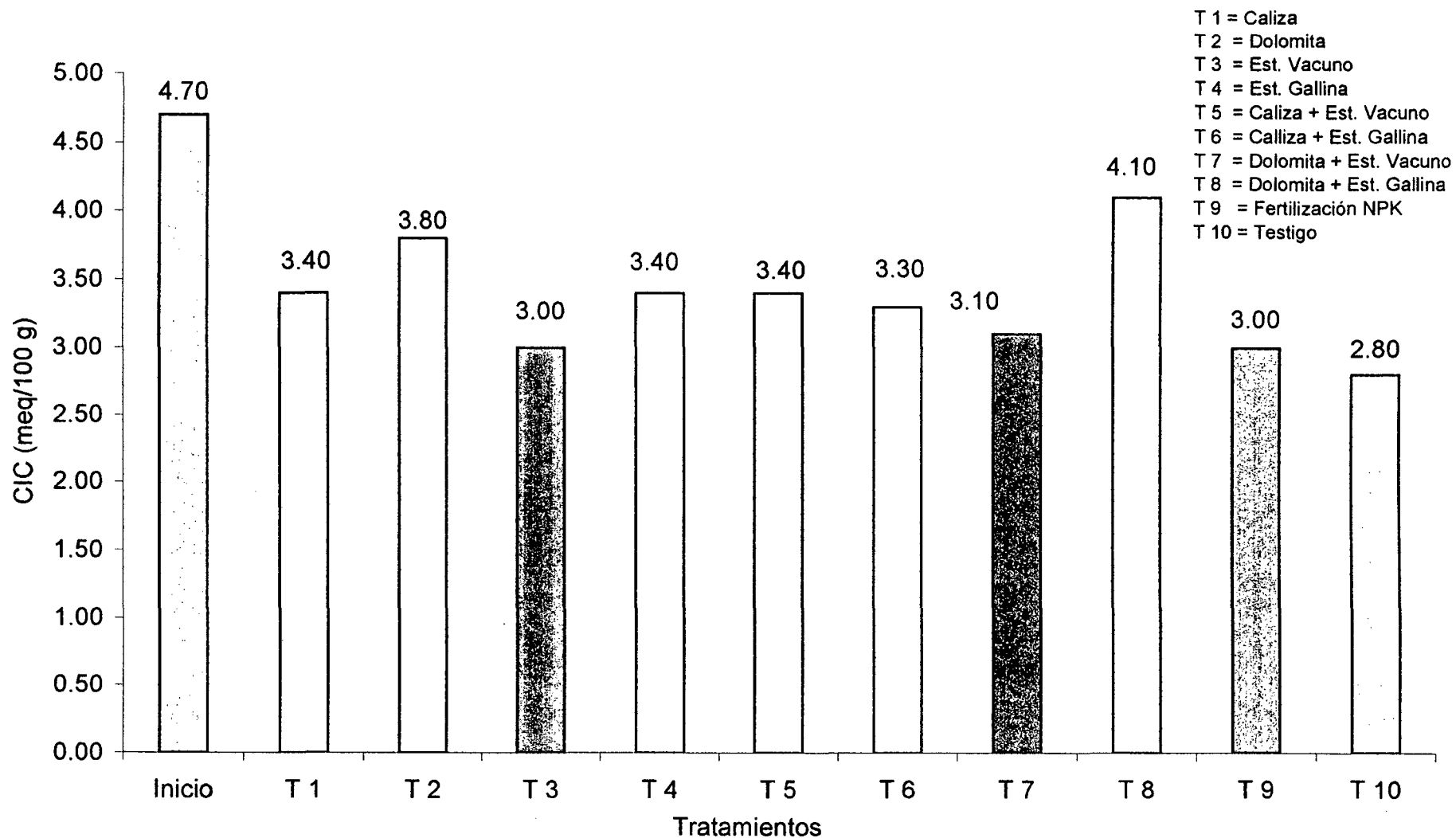
**d. Efecto en el contenido de N-P-K**

En el Cuadro 25 y Figura 11, se presentan los resultados de los análisis de N total y P y K disponibles del suelo después del experimento. En relación al N no se discutirán los resultados en razón de que estos valores son obtenidos a partir de cálculos matemáticos de la materia orgánica.

**Cuadro 24.** Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en la capacidad de intercambio catiónico

Tratamientos	Descripción	C.I.C (meq/100g)
	Inicio del experimento	4.7
	Final del experimento	
T 1	1 tn. Caliza	3.4
T 2	1 tn. Dolomita	3.8
T 3	4 tn. Estiércol vacuno	3.0
T 4	4 tn. Gallinaza	3.4
T 5	1 tn. Caliza + 4 tn. Estiércol vacuno	3.4
T 6	1 tn Caliza + 4 tn. Gallinaza	3.3
T 7	1 tn. Dolomita + 4 tn. Estiércol vacuno	3.1
T 8	1 tn. Dolomita + 4 tn. Gallinaza	4.1
T 9	Fertilización (N-P-K)	3.0
T 10	Testigo	2.8

En cuanto al P disponible, se observa en primer lugar un incremento inicial menor a 1 ppm desde el análisis al inicio del experimento hasta el final del cultivo con el tratamiento Testigo, y luego a partir de acá subir nuevamente en todos los demás tratamientos. El incremento inicial de 4.9 a 5.8 ppm P podría atribuirse a la descomposición biológica de los rastrojos incorporados con la siembra directa. Comparando el Testigo con los otros tratamientos, se observan incrementos en el contenido de P del suelo que se atribuyen a la adición de este nutriente con la fertilización inorgánica, orgánica y la liberación de los fosfatos ocluidos por efecto del encalado y la elevación del pH.



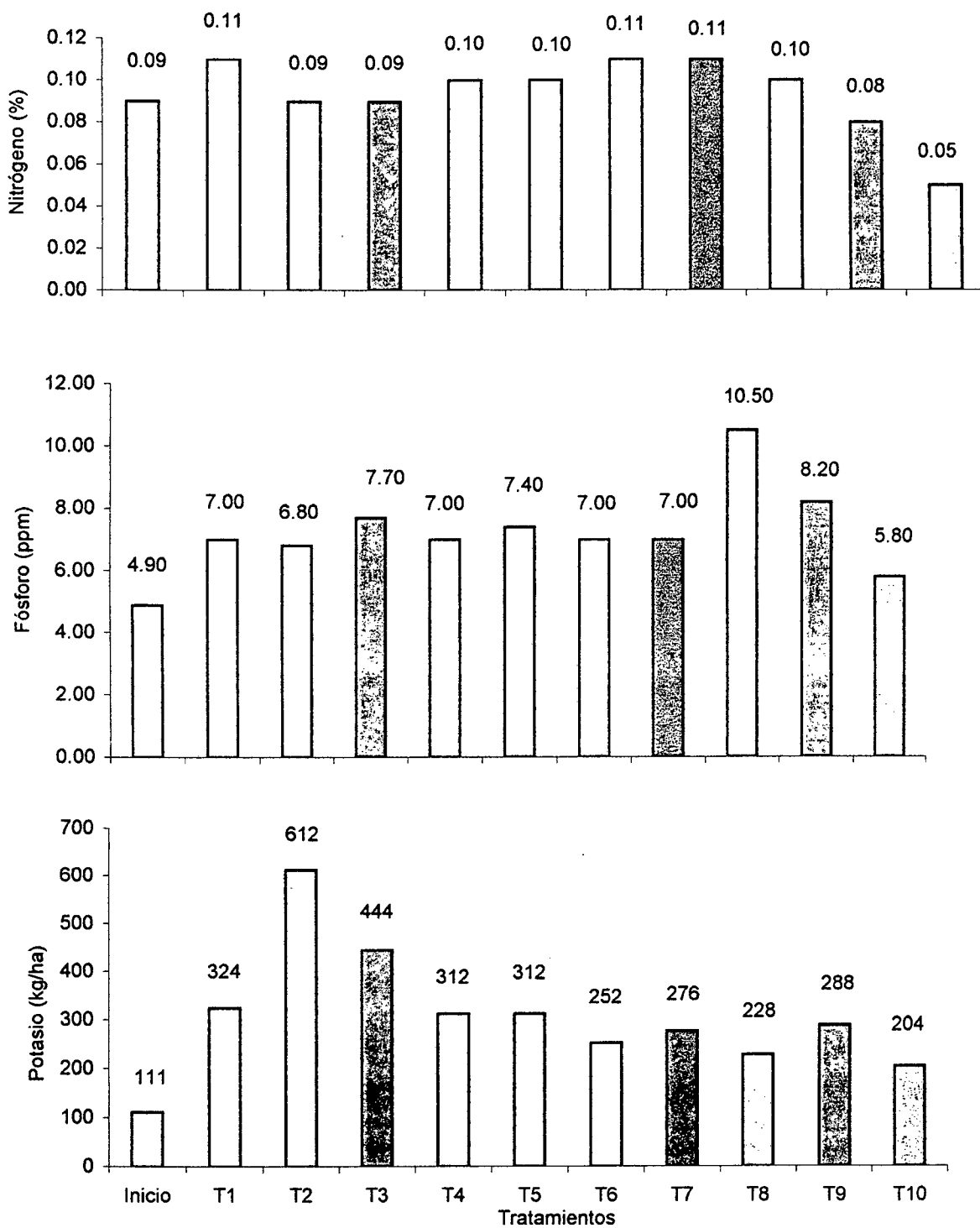
**Figura 10.** Efectos de los materiales encalantes y orgánicos en la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

**Cuadro 25.** Efecto de los materiales enclantes y orgánicos en el contenido de N-P-K.

Tratamientos	Descripción	N (%)	P (ppm)	K (kg.ha <sup>-1</sup> )
	Inicio del experimento	0.09	4.9	111
	Final del experimento			
T 1	1 tn. Caliza	0.11	7.0	324
T 2	1 tn. Dolomita	0.09	6.8	612
T 3	4 tn. Estiércol vacuno	0.09	7.7	444
T 4	4 tn. Gallinaza	0.10	7.0	312
T 5	1 tn. Caliza + 4 tn. Estiércol vacuno	0.10	7.4	312
T 6	1 tn Caliza + 4 tn. Gallinaza	0.11	7.0	252
T 7	1 tn. Dolomita + 4 tn. Estiércol vacuno	0.11	7.0	276
T 8	1 tn. Dolomita + 4 tn. Gallinaza	0.10	10.5	228
T 9	Fertilización (N-P-K)	0.08	8.2	288
T 10	Testigo	0.05	5.8	204

En relación al K disponible, los resultados son similares a lo observado en el caso del P y por lo tanto sus justificaciones. Sin embargo, se observan dos valores discordantes como es el caso del P disponible con el tratamiento 8 y el K disponible con el tratamiento 2, resultados que debieron reconfirmarse al efectuarse los análisis. En general, los incrementos mencionados se atribuirían a la fertilización inorgánica, orgánica así como a la liberación del K de los rastrojos distribuidos al momento de la siembra.

T1 = Caliza    T2 = Dolomita    T3 = Est. Vacuno  
 T4 = Est. Gallina                                      T5 = Caliza + Est. Vacuno                                      T6 = Caliza + Est. Gallina  
 T7 = Dolomita + Est. Vacuno                      T8 = Dolomita + Est. Gallina                      T9 = Fertilización NPK  
 T10 = Testigo



**Figura 11.** Efectos de los materiales encalantes y orgánicos en la contenido de NPK del suelo.

**e. Efecto en la saturación de aluminio**

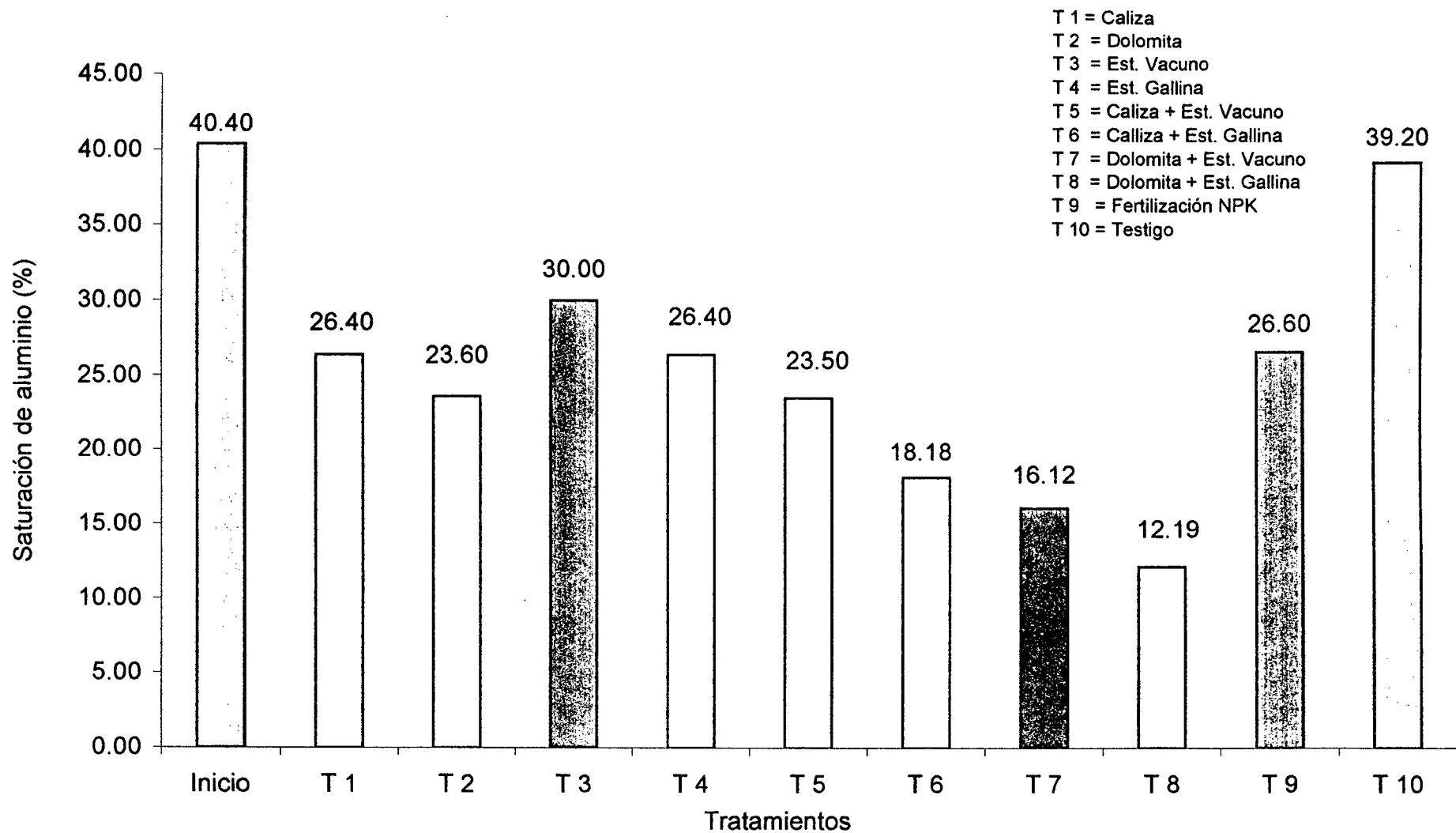
Al igual que en los casos anteriores, si comparamos el porcentaje de saturación de aluminio al inicio del experimento con el obtenido al final con el tratamiento Testigo se observa en el Cuadro 26 y Figura 12, una reducción aproximada de 1% que podría atribuirse al efecto acomplejante de la materia orgánica y atenuante del lavado de bases (efecto “mulching”) de los rastrojos dejados con la siembra directa.

Comparando el tratamiento Testigo con los otros tratamientos se observa en general una reducción en el porcentaje de saturación aluminica, siendo mayores las reducciones en aquellos tratamientos que llevaron las enmiendas en forma combinada (materiales calizos + estiércoles) lo que contribuye a reforzar lo afirmado anteriormente en el rendimiento de grano, referente a la existencia de un efecto sumatorio de las enmiendas inorgánicas (efecto neutralizante de la acidez) y de las orgánicas (efecto acomplejante del aluminio). En el mismo cuadro se aprecia asimismo los mayores valores de saturación encontrados en los tratamientos en los que se añadió las enmiendas orgánicas e inorgánicas en forma independiente.

Los resultados obtenidos en los análisis de suelos en este experimento, confirman lo sostenido por DERPSCH (2001) y GTZ (1991) en el sentido de que la siembra directa incrementa los contenidos de materia orgánica, nutrientes, pH y capacidad de intercambio catiónico pero menores contenidos de Al cambiante.

**Cuadro 26.** Efecto de los materiales encalantes y orgánicos en la saturación de Aluminio

Tratamientos	Descripción	Al (%)
	Inicio del experimento	40.40
	Final del experimento	
T 1	1 tn. Caliza	26.40
T 2	1 tn. Dolomita	23.60
T 3	4 tn. Estiércol vacuno	30.00
T 4	4 tn. Gallinaza	26.40
T 5	1 tn. Caliza + 4 tn. Estiércol vacuno	23.50
T 6	1 tn Caliza + 4 tn. Gallinaza	18.18
T 7	1 tn. Dolomita + 4 tn. Estiércol vacuno	16.12
T 8	1 tn. Dolomita + 4 tn. Gallinaza	12.19
T 9	Fertilización (N-P-K)	26.60
T 10	Testigo	39.20



**Figura 12.** Efectos de los materiales encalantes y orgánicos en la saturación de aluminio del suelo.



## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos propuestos y a los resultados obtenidos en el campo donde se realizó el experimento se llega a las conclusiones siguientes:

1. La aplicación combinada de materiales inorgánicos y orgánicos, específicamente Dolomita más Gallinaza produjo el rendimiento más elevado ( $5\ 393.7\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), seguido por la Caliza + Gallinaza que ( $4\ 310.1\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) quedando al final el Testigo sin aplicación de enmiendas ( $1009.3\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).
2. La adición de enmiendas cálcicas y cálcico-magnésicas, aplicadas solas, independientemente de su tipo, si bien mejoraron las características químicas del suelo y por lo tanto los rendimientos, sin embargo, estos fueron inferiores a los obtenidos con la aplicación de los materiales orgánicos solos.
3. Los materiales encalantes y orgánicos lograron un incremento en los valores de pH, materia orgánica y nutrientes disponibles así como una reducción en el porcentaje de saturación de Al. Estos efectos fueron más evidentes cuando los materiales orgánicos e inorgánicos fueron añadidos en combinación que cuando fueron aplicados solos.
4. La fertilización inorgánica sola, produjo incrementos sustanciales ( $2544.05\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en relación al Testigo ( $1009.3\ \text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); sin embargo, no fueron lo

suficientemente altos como para pensar en una alternativa importante, en comparación con los otros tratamientos.

5. Los suelos de Santa Rosa de Shapajilla, específicamente los del Fundo 'Chacarita' presentan serias deficiencias nutricionales por lo que son incapaces de producir rendimientos aceptables. Sin embargo, es posible mejorarlos con aplicaciones de materiales encalantes y orgánicos y lograrse más altos rendimientos de maíz.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda proseguir con ensayos similares, para evaluar el efecto residual en rotaciones de cultivos con leguminosas, con el mismo sistema de siembra, evaluándose las propiedades físicas, químicas y biológicas en períodos prolongados.
2. Evaluar metodologías de incorporación de materiales inorgánicos y orgánicos de localización y al voleo, para lograr una mayor eficiencia de estos en el sistema de siembra directa.
3. Realizar estudios de fertilización más específicos, con encalado, con la finalidad de aprovechar eficientemente los nutrientes, para el cultivo de maíz.
4. Efectuar el análisis de los materiales encalantes inorgánicos de la región a fin de tener conocimiento de las bondades de estos recursos
5. Hacer estudios de zonificación y ordenamiento territorial en toda la región, con fines de recuperación y manejo de suelos degradados

## VII. RESUMEN

El presente trabajo se realizó de Julio a Noviembre del 2001 en la localidad Santa Rosa de Shapajilla (Tingo María), en un suelo inceptisol degradado, ex cocal, con la finalidad de evaluar el efecto de los materiales encalantes y orgánicos en el rendimiento del cultivo de maíz y sobre las propiedades químicas del suelo, en un sistema de siembra directa.

Se aplicaron dos materiales encalantes, Caliza y Dolomita ( $1 \text{ tn.ha}^{-1}$ ) y dos materiales orgánicos, Estiércol de Gallina y Estiércol de Vacuno ( $4 \text{ tn.ha}^{-1}$ ), así como las combinaciones de dichas fuentes. A todos los tratamientos se aplicó la fórmula de abonamiento 160 - 150 - 110, incluyendo dos testigos. Se aplicó el diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones y para la comparación de medias, se utilizó la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ).

El suelo estudiado mostró serias deficiencias nutricionales por lo que fue incapaz de producir rendimientos aceptables, mientras que la fertilización inorgánica sola tampoco pudo producir rendimientos satisfactorios, aunque mejoró los rendimientos. En general, los mejores resultados se obtuvieron cuando los materiales orgánicos e inorgánicos se aplicaron en combinación que cuando se aplicaron solos, en forma independiente. Las combinaciones de Dolomita + Estiércol de Gallina ( $5393.7 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), Caliza + Estiércol de Gallina ( $4310.1 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), Estiércol de Gallina ( $3901.4 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), Dolomita + Estiércol de Vacuno ( $3554.8$

kg.ha<sup>-1</sup>) y Caliza + Estiércol de Vacuno (3477.1 kg.ha<sup>-1</sup>) produjeron los más altos rendimientos. Cuando los materiales se aplicaron solos, los rendimientos fueron inferiores a 3477.1 kg.ha<sup>-1</sup>.

En cuanto a las propiedades químicas del suelo los materiales encalantes y orgánicos lograron un incremento en los valores de pH, materia orgánica y nutrientes disponibles así como una reducción en el porcentaje de saturación de Al. Los efectos mencionados fueron más evidentes cuando los materiales orgánicos e inorgánicos fueron añadidos en combinación que cuando fueron aplicados solos.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. AAPRESID. 2001. Maíz en siembra directa. Jornada de intercambio técnico. Argentina. 85 p.
2. ALCARDE, J.C. 1986. Produtos utilizados para a correcto da acidez dos solos. En: Informacoes Agronomicas N° 34. Junho. Potafos. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potasa e do Fosfato.
3. ABRUÑA, F. P. 1970. Respuestas del maíz y frijol al encalamiento en Oxisoles y Ultisoles de Puerto Rico. Pp. 12 - 30.
4. AGUIRRE S, A. 1963. Suelos, abonos y enmiendas. Ed. Dosset. S.A. Madrid. 280 p.
5. ALDRICH, R. S. y LENG, R. E. 1974. Producción moderna de maíz. Editorial Hemisferio Sur. Argentina. Pp. 130 - 180.
6. ARENS, P. L. 1983. El reciclaje de materia orgánica en la agricultura de América Latina. Roma. FAO. Pp. 125 - 127.
7. ARRIAGA, P. G. 1988. Efecto de las fuentes de materia orgánica en rendimiento de maíz (*Zea mays* L.). variedad Cuban Yellow, bajo condiciones de Tingo María. 55 p.
8. BAKER, C. J. and RITCHIE, W. R. 1996. No tivage seeding science and practice cab international, walling ford, oxon, ok 158. p.

9. BARRETO, CH. A. 1984. Efecto de los niveles de fertilización y materia orgánica en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de Tingo María. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Pp. 11 - 20.9.
10. BEAR, F. 1966. Química de suelos. IICA. Madrid. 256 p.
11. BOCKMAN, O. M. y CROVETTO, C.R. 1983. Agricultura y Fertilizantes. Ed. Hydro Agri Noruega. 210 pp.
12. BUCKMAN, H. y BRADY, N 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Edit. Montanes y Simón S.A. Pp. 374 - 399.
13. CONSERVATION TECHNOLOGY INFORMATION CENTER. 1996. CTIC partners. April/Mayo. 1996; 001. 14. Nro. 3. Pp. 25.
14. DEL VALLE, M. L. 1974. Efecto residual de siete niveles de cal en el rendimiento de maíz variedad Cuban Yellow, como segundo cultivo. Tesis para optar el título de Inf. Agrónomo. 95 p.
15. DERPSCH, R. 2001. Expansión mundial de la siembra directa y avances tecnológicos. FUNDACAO Cargill. Brasil. 85 p
16. DONAHUE, R. L., MILLER, R. y SHICKLUNA, J. 1982. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. Prentice/Hall. Internat. Colombia. 624 p.
17. EMBRAPA. 1999. Manejo da acidez dos solos do cerrado. E. de Varzea do Brasil. Ministerio de Agricultura e do Abastecimento Santa Antonia de Golas. Brasil. 42 p.

18. FAGERIA, N. K. 1994. Solos tropicais e aspectos fisiológicos dos culturas. Brasilia. CNPAF. 40 p.
19. FASSBENDER, H. W. 1987. Química de suelos con énfasis en América Latina. 2da. Edición. Ed. Instituto Interamericana de Ciencias Agrícolas. Turrialba. Costa Rica. Pp. 162 - 181.
20. GAMARRA, G. J. 1990. Efecto de cuatro enmiendas orgánicas en el rendimiento del cultivo de maíz y en las propiedades del suelo. Tesis Ing°. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. 61 p.
21. GAVANDE, S. A. 1972. El estado físico del suelo y sus consecuencias. Edit. Mundi Prensa. Madrid, España. 321 p.
22. HENIN, S. y GRASS, R. El perfil cultural. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. Pp. 35 - 40.
23. HUAMANI, H., MANSILLA, L. y ZAVALA, J. 1998. Evaluación de enmiendas, orgánica e inorgánica en la recuperación de suelos degradados bajo sistemas de cultivos en fajas. Informe final de Investigación. CIUNAS. UNAS. Tingo María
24. IAPAR. 1981. Plantio directo no estado do Paraná, Fundacao. Instituto Agronómico do Paraná; circular Nº 23. 344 p.
25. LOLI, F. O. 1979. Efectos de la acidez de los suelos en el normal crecimiento y desarrollo de tres especies de pasto. Tesis para optar el grado de MSc. U.N.A. - La Molina. Lima, Perú. 84 p.



26. MOLINA, C. Y. 1970. Estudio de la interacción K - Mg bajo dos niveles de encalado en un suelo ácido en la provincia de Huamachuco, departamento de La Libertad. Tesis Ing. Agr<sup>o</sup> Universidad Nacional Agraria - La Molina. 75 p.
27. OLDEMAN, L. R. 1993. Worldmap of the status of human - induced soil degradation. An exploratory nate. ISRIC, UNEP. Wageningen. 352 p.
28. PATRICK, F. E. 1984. Suelos, su formación, clasificación y distribución. Ed. CECSA. México. 308 p.
29. PASA FERTILIZANTES. 2001. Fertilización en pasturas. Editorial PASA. Argentina. 48 p.
30. PLANTIO DIRECTO. 1990. E preciso descompactar o solo. Revista plantio directo. Janeiro/Fevereiro de 1999. Pp. 16 - 20.
31. PLASTER, E. J. 2000. La Ciencia del suelo y su manejo. Ed. Paraninfo. España. 405 p.
32. SOCIEDAD ALEMANA DE COORPORACION TÉCNICA. GTZ. 1998. Conserving natural resources and Enhancing Food security by adopting systems in various Agro - ecological zones de American Latina. 53 p.
33. SOCIEDAD ALEMANA DE COORPORACION TÉCNICA. GTZ. 1991. Controle de erosao no Paraná Brasil. Sistemas de cobertura do solo, plantio directo e preparo conservacionista do solo. Ed. Escbbern. 245 p
34. SOTO. C, M. 1995. Efecto de las enmiendas en la generación de la estructura de dos suelos, degradado y no degradado en Tingo María. Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 85 p.

35. TEUSCHER, M. y RUDOLPM, A. 1981. El suelo y su fertilidad. Compañía Editorial Continental S.A. México. Pp. 403 - 406.
36. TISDALE, S. L. y NELSON, W. L. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Ed. Montaner. Barcelona. 760 p.
37. TORIBIO T., A. 1995. El cultivo de maíz. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María - Perú. 120 p.
38. TUPÍÑO, R. 1971. Efecto de siete niveles de encalado en la producción de soya. Tesis Ing. Agr<sup>o</sup>. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. 76 p.
39. ZAVALA, J. y MANSILLA, L. 1966. Evaluación Potencial de las Tierras de Santa Rosa de Shapajilla – Tingo María. Tropicultura. VIII (1,2):7-26. UNAS.

## **IX. ANEXO**

**CUADRO 27.** Análisis de variancia del rendimiento de grano, longitud y diámetro de mazorca, biomasa y altura de planta del cultivo de maíz.

Fuentes de Variación	G.L.	Cuadros		Medios		
		Rendimiento	Longitud mazorca	Diámetro Mazorca	Biomasa Total	Altura de Planta
Bloques	2	14691.59 NS	1.90 NS	0.0234 NS	14604.11 NS	0.0120 NS
Tratamientos	9	4485696.22 AS	6.41 AS	0.2063 AS	311421.60 AS	0.0599 AS
Enmiendas	7	3058188.57 AS	2.17 NS	0.0673 NS	235270.15 S	0.0353 NS
Sin combinar	3	2374836.63 AS	3.57 NS	0.0446 NS	192292.25 NS	0.0298 NS
Combinados	3	1741885.62 AS	1.33 NS	0.0488 NS	48171.55 S	0.0375 NS
Combinados vs. sin combinar	1	9057153.20 AS	0.47 NS	0.1910 AS	925499.66 AS	0.0460 NS
Testigos	1	3533309.12 AS	13.14 AS	0.6144 AS	94443.78 NS	0.1094 AS
Enmiendas vs. testigos	1	15430636.90 AS	29.37 AS	0.7711 AS	1061459.58 AS	0.1832 AS
Error experimental	18	89663.62	1.12	0.0278	46952.46	0.0128
Total	29					
	c.v. (%)	9.33	6.30	3.73	6.84	6.45

S = significativo con probabilidad de 5%

AS = Significativo con probabilidad de 1%

NS = No significativo

**Cuadro 28.** Valores promedio del peso de panca.

Clave	Tratamiento	Bloque			$\bar{x}$
		I	II	III	
T - 1	Caliza	27.5	25.4	27.3	26.7
T - 2	Dolomita	31.6	18.9	35.8	28.7
T - 3	Estiércol vacuno	26.6	25.7	31.3	27.8
T - 4	Estiércol de gallina	41.2	24.3	28.2	32.2
T - 5	Caliza + Estiércol vacuno	31.1	26.8	29.4	29.1
T - 6	Caliza + Estiércol de gallina	34.2	28.8	55.8	39.6
T - 7	Dolomita + Estiércol vacuno	24.6	18.4	27.4	24.4
T - 8	Dolomita + Estiércol de gallina	32.9	37.4	36.8	35.7
T - 9	Fertilización NPK	19.2	24.7	30.9	24.9
T - 10	Testigo	12.5	15.2	16.8	14.8

**Cuadro 29.** Valores promedios del porcentaje de germinación en campo definitivo.

Clave	Tratamiento	Bloque			$\bar{x}$
		I	II	III	
T - 1	Caliza	90	92	86	89.3
T - 2	Dolomita	88	89	92	89.6
T - 3	Estiércol vacuno	93	95	95	94.3
T - 4	Estiércol de gallina	93	90	90	91.0
T - 5	Caliza + Estiércol vacuno	98	90	95	94.3
T - 6	Caliza + Estiércol de gallina	89	92	89	90.0
T - 7	Dolomita + Estiércol vacuno	94	98	96	96.0
T - 8	Dolomita + Estiércol de gallina	94	97	98	96.3
T - 9	Fertilización NPK	88	88	92	89.3
T - 10	Testigo	88	90	91	89.6

**Cuadro 30.** Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) de la altura de planta

Clave	Tratamiento	Altura de planta	Significación
T - 6	Caliza + Estiércol de gallina	1.92	a
T - 8	Dolomita + Estiércol de gallina	1.91	a
T - 2	Dolomita	1.85	a b
T - 4	Estiércol de Gallina	1.85	a b
T - 7	Dolomita + Estiércol vacuno	1.82	a b
T - 9	Fertilización NPK	1.74	a b
T - 5	Caliza + Estiércol vacuno	1.71	a b
T - 3	Estiércol de vacuno	1.68	b
T - 1	Caliza	1.63	b c
T - 10	Testigo	1.47	c

**Cuadro 31.** Número de plantas establecidas al final del período del cultivo de maíz en las parcelas experimentales.

Clave	Tratamiento	Nº plantas ( $\bar{X}$ )	% Plantas Total
T - 1	Caliza	56.66	82.12
T - 2	Dolomita	57.33	83.09
T - 3	Estiércol vacuno	55.00	79.71
T - 4	Estiércol de gallina	60.00	86.95
T - 5	Caliza + Estiércol vacuno	60.00	86.95
T - 6	Caliza + Estiércol de gallina	59.33	85.98
T - 7	Dolomita + Estiércol vacuno	60.66	87.91
T - 8	Dolomita + Estiércol de gallina	61.66	89.36
T - 9	Fertilización NPK	55.66	80.66
T - 10	Testigo (solo)	44.00	63.76

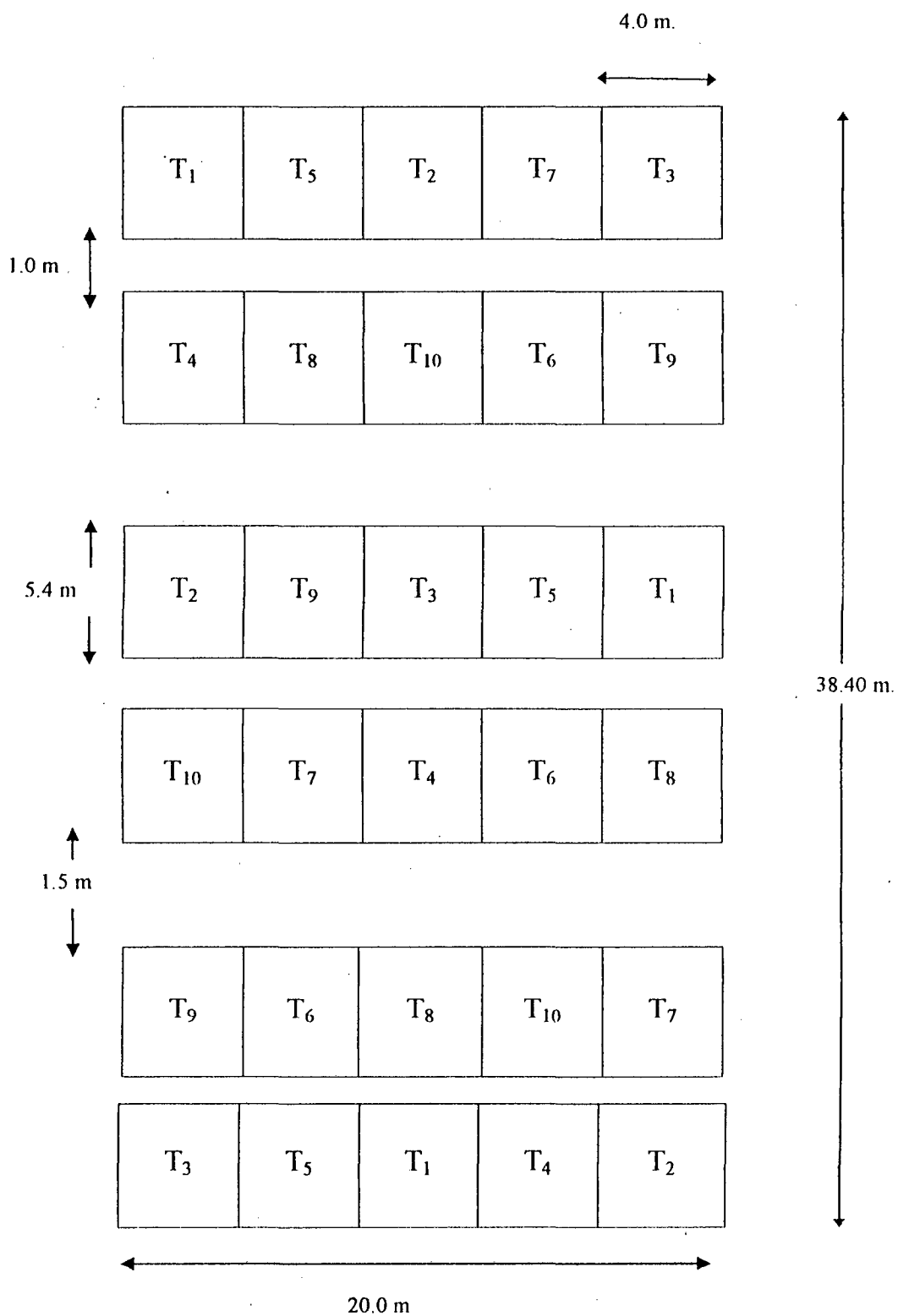
**Cuadro 32.** Análisis de rentabilidad beneficio / costo

Clave	Tratamientos	Costo de Producción (S/.)	Rendimiento (Kg/Ha)	Ingreso Bruto (S/.)	Relación Beneficio/Costo
T-1	Caliza	1952.50	2535.28	1521.16	0.77
T-2	Dolomita	1911.50	2176.52	1305.91	0.68
T-3	Estiércol de Vacuno	2060.00	3208.05	1924.83	0.93
T-4	Gallinaza	2073.15	3901.39	2340.83	1.12
T-5	Caliza + Est. Vacuno	2215.00	3477.15	2086.29	0.94
T-6	Caliza + Gallinaza	2330.80	4310.07	2586.04	1.10
T-7	Dolomita + Est. Vacuno	2230.60	3554.82	2132.89	0.95
T-8	Dolomita + Gallinaza	2501.00	5393.72	3236.23	1.29
T-9	Fertilización NPK	1762.50	2544.05	1526.43	0.86
T-10	Testigo	880.60	1009.27	605.5	0.68

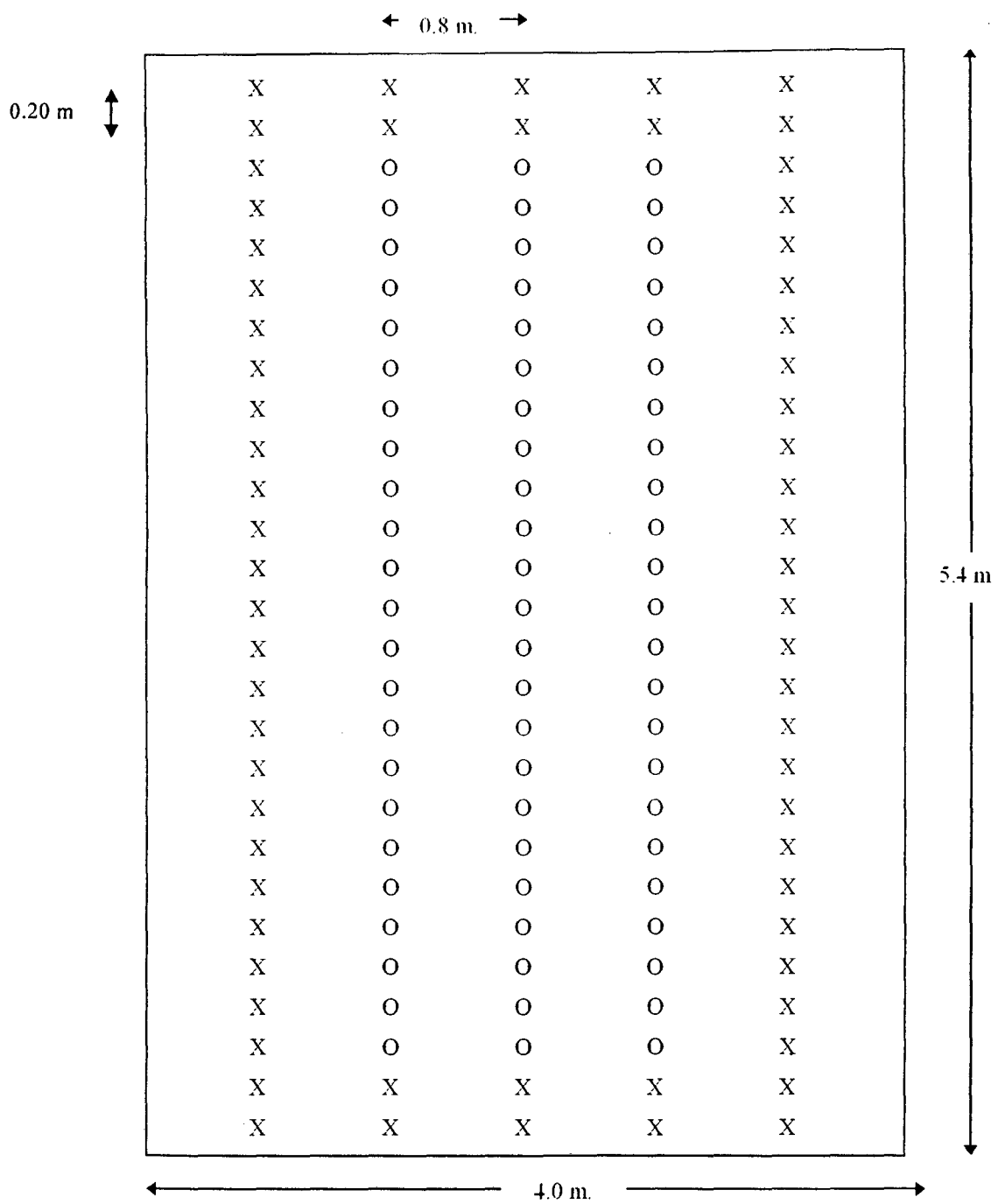


**Cuadro 33.** Costo de producción de los tratamientos aplicados en el experimento

Clave	Tratamiento	Cantidad (kg/ha)	Precio (S/.)	Mano de Obra (S/.)	Cosecha y Desgrane (S/.)	Insumos (S/.)	Otros (S/.)	Costo de Producción (S/.)
1	Cal	1000	150.00	615.00	80.00	1073.00	34.50	1952.50
2	Dolomita	1000	150.00	615.00	80.00	1073.00	34.50	1952.50
3	Est. Vacuno	4000	200.00	672.00	80.00	1073.00	35.00	2060.00
4	Gallinaza	4000	200.00	680.00	80.00	1073.00	40.15	2073.15
5	Cal + Est. Vac	1000+4000	350.00	680.00	80.00	1073.00	32.00	2215.00
6	Cal + Gallinaza	1000+4000	350.00	760.00	90.00	1073.00	57.80	2330.80
7	Dolom. + Est. Vac.	1000+4000	350.00	680.00	80.00	1073.00	47.60	2230.60
8	Dolom. + Gallinaza	1000+4000	350.00	885.00	120.00	1073.00	73.00	2501.00
9	NPK	150-160-110	810.00	614.00	50.00	263.00	25.50	1762.50
10	Testigo			585.00	36.00	237.00	22.60	880.60



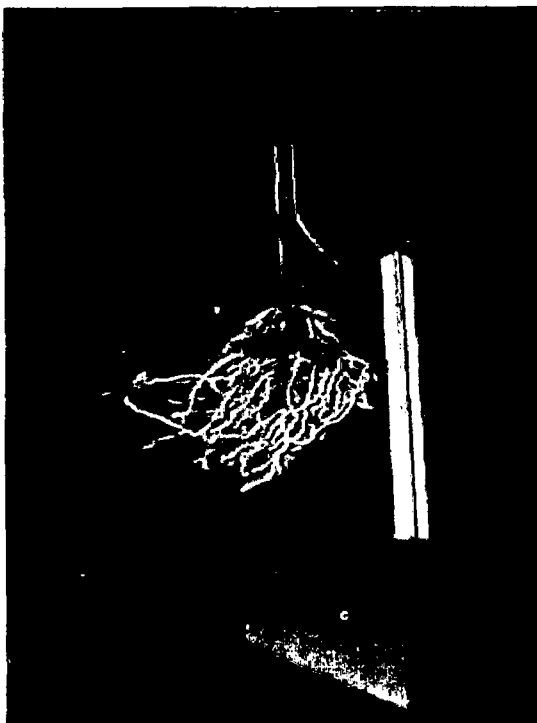
**Figura 13.** Detalle del campo experimental



O = Plantas evaluadas

X = Plantas de borde (no evaluadas)

**Figura 14.** Detalle de la parcela experimental.



T<sub>1</sub> = Caliza



T<sub>2</sub> = Dolomita

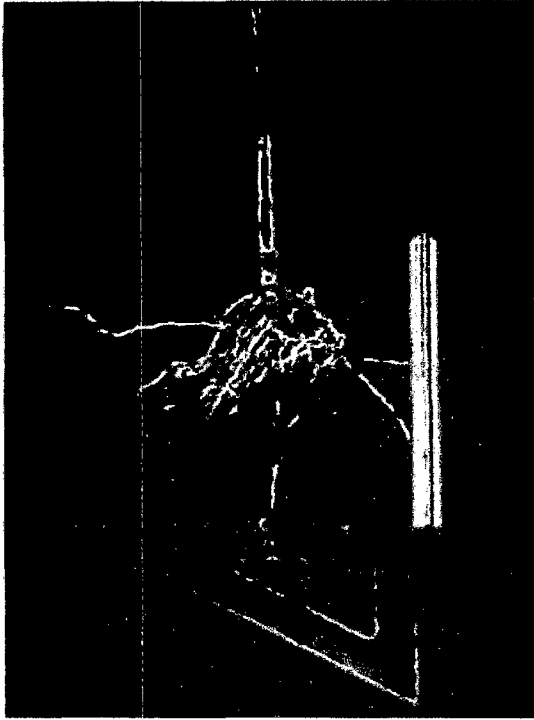


T<sub>3</sub> = Estiercol de vacuno

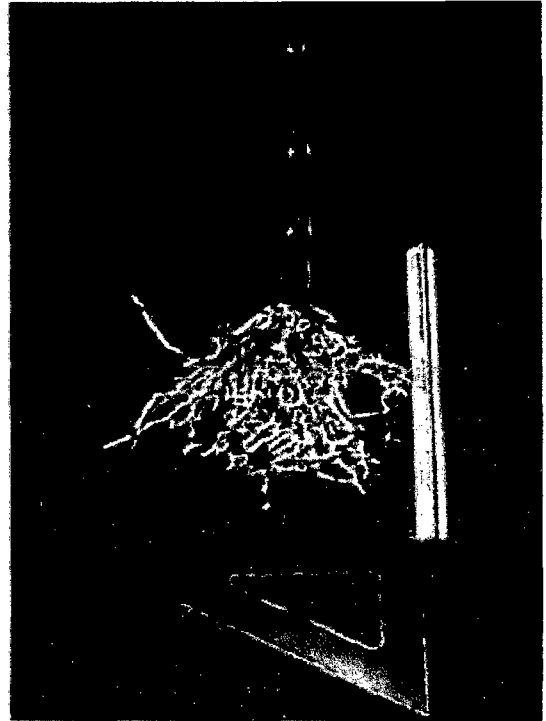


T<sub>4</sub> = Gallinaza

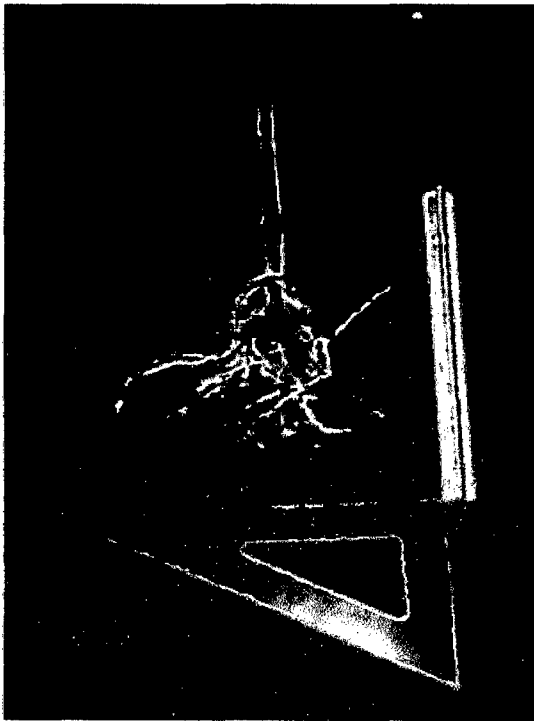
Figura 15. Fotografías mostrando el efecto de la aplicación de los materiales encalates y orgánicos en el volumen de raíces.



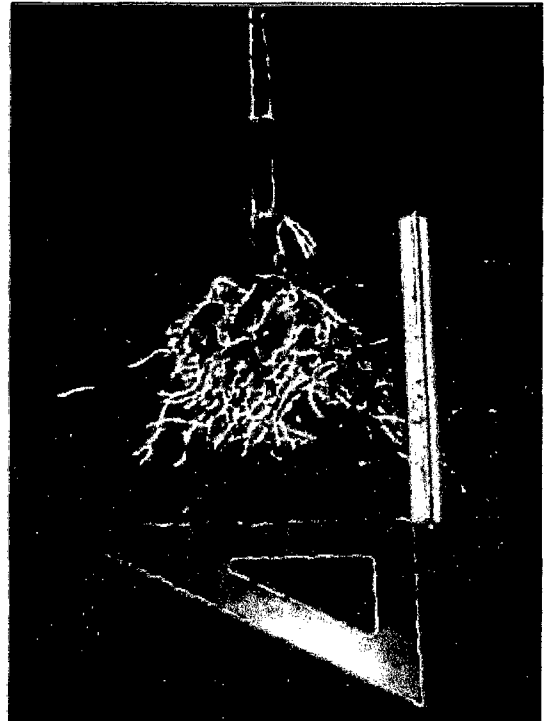
T<sub>5</sub> = Caliza + Estiercol de vacuno



T<sub>6</sub> = Caliza + Gallinaza

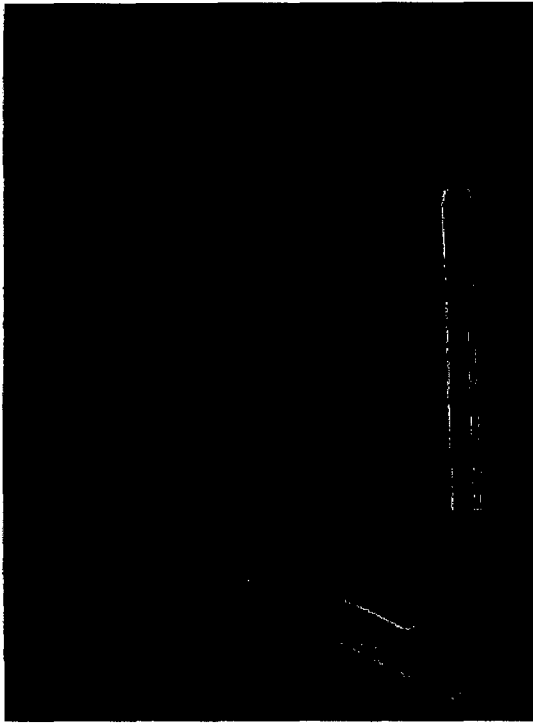


T<sub>7</sub> = Dolomita + Estiercol de Vacuno

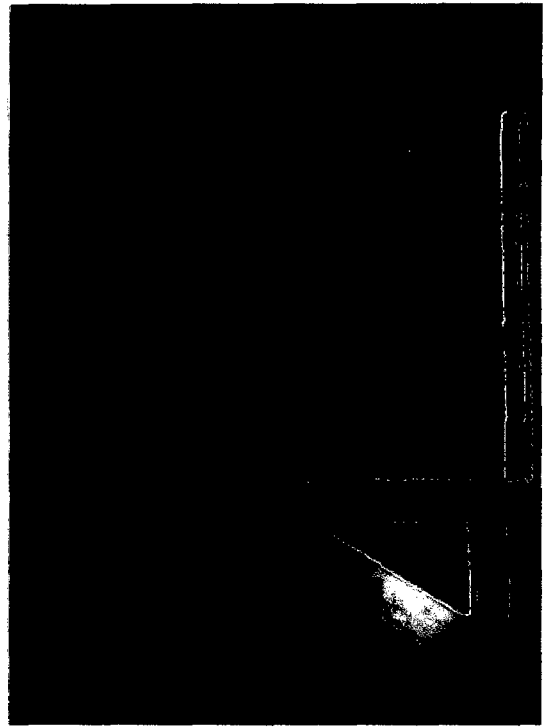


T<sub>8</sub> = Dolomita + Gallinaza

**Figura 16.** Fotografías mostrando el efecto de la aplicación combinada de los materiales encalates y orgánicos en el volumen de raíces.



T<sub>9</sub> = Fertilización N - P - K

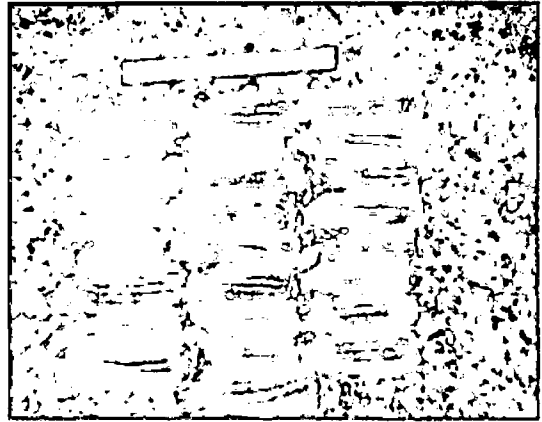


T<sub>10</sub> = Testigo absoluto

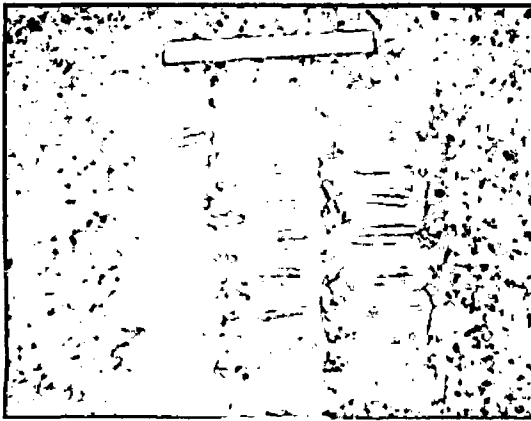
**Figura 17.** Fotografías mostrando el efecto de la fertilización inorgánica en el volumen de raíces.



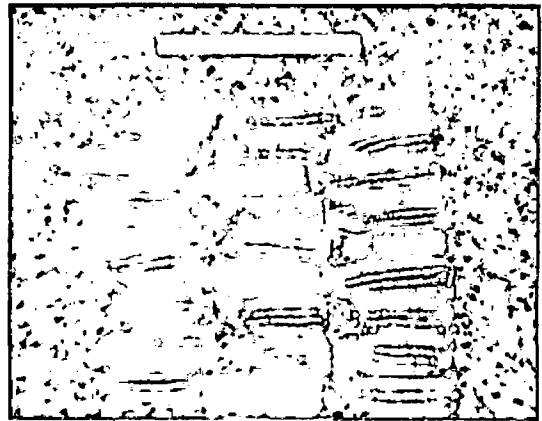
T<sub>1</sub> = Caliza



T<sub>2</sub> = Dolomita

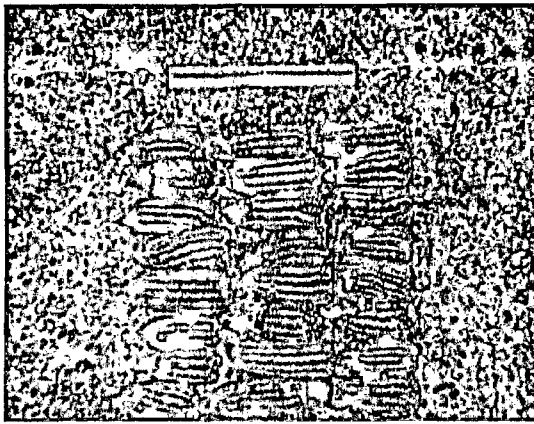


T<sub>3</sub> = Estiercol de vacuno

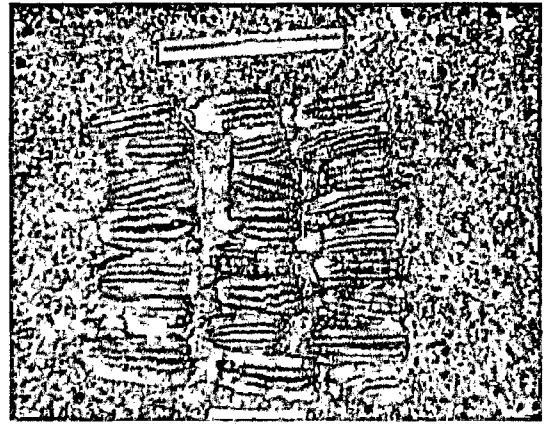


T<sub>4</sub> = Gallinaza

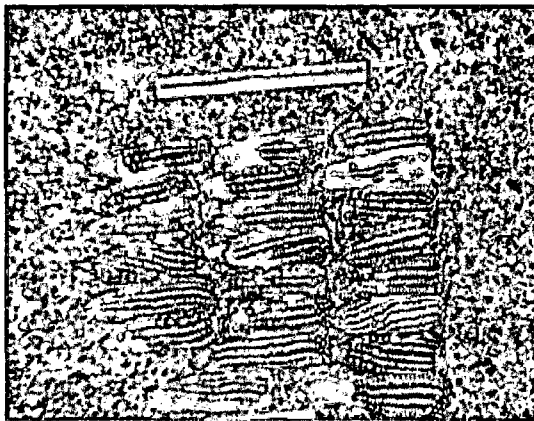
**Figura 18.** Fotografías mostrando el efecto de la aplicación de los materiales encalates y orgánicos en la longitud de mazorcas.



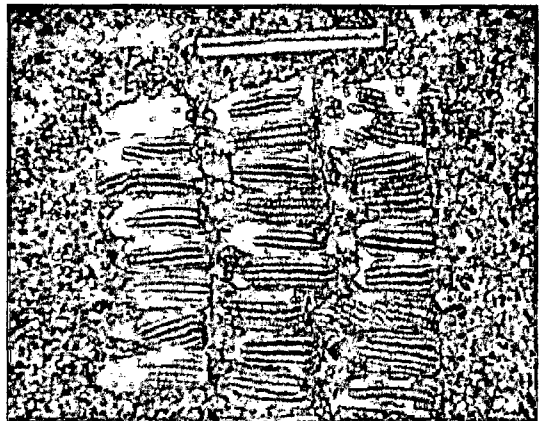
T<sub>5</sub> = Caliza + Estiercol de vacuno



T<sub>6</sub> = Caliza + Gallinaza



T<sub>7</sub> = Dolomita + Estiercol de Vacuno



T<sub>8</sub> = Dolomita + Gallinaza

**Figura 19.** Fotografías mostrando el efecto de la aplicación combinada de los materiales encalates y orgánicos en la longitud de mazorcas.



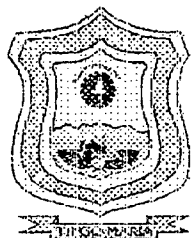


T<sub>9</sub> = Fertilización N - P - K



T<sub>10</sub> = Testigo absoluto

**Figura 20.** Fotografías mostrando el efecto de la fertilización inorgánica en la longitud de mazorcas



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo Maria

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

Av. Universitaria s/n Telef. (064) 562341 Anexo 283 Fax (064) 561156 Aptdo. 156



## ANALISIS DE SUELOS

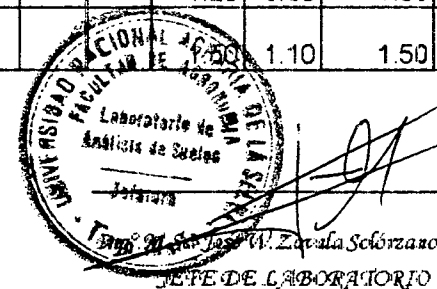
Procedencia:..... T.M. Santa Rosa de Shapajilla

Solicitante: Luis Marroquin Shapiama

Número de Muestra		CE	ANALISIS MECANICO				pH	CO <sub>2</sub> Ca	M.O.	N	P	K <sub>2</sub> O	CAMBIABLES me/100 g								
Laborat.	Campo	mmh/cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura	1:1	%	%	%	ppm	kg/ha	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al + H	Al ***	Ca + Mg	CICE
	T1		28.0	44	28.0	Franco	4.00		2.50	0.11	7.00	324						1.20	0.90	2.20	3.40
	T2		32.0	40.0	28.0	Franco	4.20		2.30	0.10	6.80	612						1.40	1.00	2.40	3.80
	T3		32.0	40.0	28.0	Franco	3.90		2.00	0.09	7.70	444						1.50	0.90	1.50	3.00
	T4		30.0	38.0	32.0	Fr. Ar.	4.10		2.30	0.10	7.00	312						1.40	0.90	2.00	3.40
	T5		32.0	40.0	28.0	Franco	4.10		2.30	0.10	7.40	312						1.20	0.80	2.20	3.40
	T6		30.0	46.0	24.0	Franco	4.10		2.50	0.11	7.00	252						0.90	0.60	2.40	3.30
	T7		30.0	46.0	24.0	Franco	4.10		2.50	0.11	7.00	276						1.10	0.50	2.00	3.10
	T8		30.0	48.0	22.0	Franco	4.30		2.40	0.11	10.50	228						1.00	0.50	3.20	4.20
	T9		30.0	46.0	24.0	Franco	4.00		1.90	0.09	8.20	288						1.20	0.80	1.80	3.00
	T10		30.0	44.0	24.0	Franco	3.90		1.20	0.05	5.80	204						1.10	1.10	1.50	3.00

Observaciones : Muestras proporcionadas por el interesado

Fecha; Tingo Maria, 10 de noviembre del 2001.



## METODOS ANALÍTICOS

01. Análisis Mecánico. Textura por el Método del Hidrómetro.
02. Conductividad Eléctrica(C.E.): Lectura del extracto de saturación en la celda eléctrica.
03. pH. Método del potenciómetro, relación suelos agua 1:1
04. Calcáreo total: Método gaso - volumétrico.
05. Materia Orgánica: Método de Walkley y Black
06. Nitrógeno Total: % M.O. x 0.045
07. Fósforo Disponible: Método de Olsen Modificado. Extracto  $\text{NaHCO}_3$  0.5 M, pH 8.5
08. Potasio Disponible: Método de Ácido Sulfúrico 6N
09. Capacidad de Intercambio Catiónico: Método de Acetato de Amonio 1N. pH 7.0 (Suelos con pH > 5.5)
  - Ca : Absorción Atómica.
  - Mg: Absorción Atómica.
  - K : Absorción Atómica.
  - Na : Absorción Atómica
10. C.I.C. Efectiva: Desplazamiento con KCl 1 N(Suelos en pH<5.5)
  - Aluminio más Hidrógeno: Método de Yuan
  - Calcio más Magnesio: Método de E.D.T.A. (Versenato)

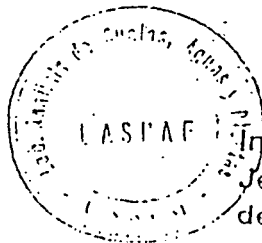


## INFORME DE ANALISIS

SOLICITANTE MARROQUÍN / HUATUCO  
PROCEDENCIA HUANUCO / LEONCIO PRADO  
MUESTRA DE CALIZA, DOLOMITA Y ESTIERCOL  
REFERENCIA H.R. 1394  
FECHA 01/06/01

N° LAB	CLAVES	CaCO <sub>3</sub> equiv. %	CaO %	MgO %
3	DOLOMITA	95	13.8	34.00
3	CALIZA	60	31.25	8.0

N° LAB	CLAVES	M.S. (%)	M.O. (%)	N (%)	C (%)	C : N
3	Est. Vacuno	23.6	65.8	1.7	38.9	22.88
3	Est. gallina	56.9	70.40	2.97	40.8	13.73



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

rdp