

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRÁRIA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL  
AMBIENTE**

**ESCUELA DE SUELOS Y AGUA**

**EVALUACIÓN DE TRES DOSIS DE GALLINAZA, COMPOST Y  
UN FERTILIZANTE MINERAL EN EL CULTIVO DEL MAÍZ  
(*Zea mays* L.), VARIEDAD NB-6**

**AUTORES**

**ROBERTO CARLOS LARIOS GONZÁLEZ  
CARLOS MANUEL GARCÍA MORAGA**

**ASESOR**

**Ing. MSc FRANCISCO TELÉMACO TALAVERA SILES**

**Presentado a la consideración del honorable tribunal examinador  
Como requisito final para optar al grado de  
Ingeniero agrónomo con orientación en  
suelos y agua**

**Managua, Nicaragua 1999.**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a Dios por permitirme alcanzar una meta importante en mi vida.

A mis padres Carlos García G. y a mi madre Juana Paula Moraga T. a quienes debo la formación de mis valores y principios.

A mi futura esposa Analía Guevara R., quien me brindó su apoyo incondicional en todo momento.

A todos mis hermanos quienes en todo momento han sido mi constante motivación para seguir adelante.

A todas aquellas personas que de alguna manera me apoyaron y a todos los profesores que me transmitieron sus enseñanzas.

*CARLOS MANUEL G. ARCE A MORAGA*

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a Dios por permitirme alcanzar una meta importante en mi vida.

A mis padres Carlos García G. y a mi madre Juana Paula Moraga T. a quienes debo la formación de mis valores y principios.

A mi futura esposa Analía Guevara R., quien me brindó su apoyo incondicional en todo momento.

A todos mis hermanos quienes en todo momento han sido mi constante motivación para seguir adelante.

A todas aquellas personas que de alguna manera me apoyaron y a todos los profesores que me transmitieron sus enseñanzas.

*CARLOS M. AMUEL G. ARCE A MORAGA A.*

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestro asesor y amigo  
Ing. Agr. Msc Francisco Telémaco Talavera Siles.

Al programa Ciencias de las Plantas (P.C.P) – U.N.A – S.L.U., por su valiosa  
contribución en la realización de este trabajo de tesis.

A la Universidad Nacional Agraria especialmente a la escuela de Suelos y Agua

Al Lic. Gustavo Valverde quien contribuyó en la revisión de este documento.

Al Ing. Luis Balmaceda por sus valiosos aportes para la realización del análisis  
económico.

A la secretaria Ruth Calderón y a la Lic. Alba Vilchez por su valiosa colaboración y  
amistad brindada durante la ejecución de este trabajo.

Al personal del CENIDA especialmente al Ing. Agr. José Gabriel López M. y a la  
Lic. Francis Martínez por su valioso apoyo.

A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en la  
elaboración de este documento.

*ROBERTO C. LARJOS GONZALEZ*

*CARLOS M. GARCIA MORAGA*

# i

## INDICE DE CONTENIDO

Sección	Página
Dedicatoria	
Agradecimientos	
Indice de contenido.....	i
Indice de tablas.....	iv
Indice de figuras.....	v
Resumen.....	vi
<b>I INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Conceptos básicos.....	6
2.2 Elementos esenciales para el cultivo del maíz.....	7
2.3 Macronutrientes primarios.....	8
2.3.1 Nitrógeno.....	8
2.3.2 Fósforo.....	9
2.3.3 Potasio.....	11
2.4 Macronutrientes secundarios.....	13
2.4.1 Calcio.....	13
2.4.2 Magnesio.....	14
2.5 Micronutrientes o microelementos.....	15
2.5.1 Hierro.....	15
2.5.2 Cobre.....	16
2.5.3 Zinc.....	17
2.5.4 Manganeso.....	18
2.6 Materia orgánica del suelo.....	19
2.7 Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo.....	21
2.7.1 Estabilidad estructural.....	22
2.7.2 Color del suelo.....	22
2.7.3 Cohesión.....	23
2.7.4 Permeabilidad y retención de agua.....	23
2.8 Efecto químico de la materia orgánica sobre el suelo.....	24
2.8.1 Poder amortiguador o tampón.....	24
2.8.2 Capacidad de intercambio catiónico.....	24
2.8.3 Contenido de elementos nutritivos.....	25
2.9 Efecto biológico de la materia orgánica sobre el suelo.....	26
2.9.1 Estado oxidoreductor de la materia orgánica.....	26
2.9.2 El intercambio gaseoso.....	26
2.10 Abonos orgánicos.....	27
2.10.1 Gallinaza.....	27

<b>Sección</b>	<b>Página</b>
2.10.2 Compost .....	28
2.11 Análisis foliar .....	29
2.12 Interpretación de los análisis foliares.....	29
2.12.1 Concentración baja.....	29
2.12.2 Nivel óptimo .....	29
2.12.3 Alta concentración.....	30
2.12.4 Nivel crítico .....	30
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
3.1 Localización del ensayo.....	31
3.2 Tipo de suelo .....	32
3.3 Descripción del trabajo experimental.....	33
3.3.1 Descripción de los tratamientos.....	33
3.4 Manejo agronómico.....	34
3.4.1 Preparación del suelo.....	34
3.4.2 Siembra .....	34
3.4.3 Aplicación de fertilizantes.....	35
3.4.4 Control de plagas.....	35
3.4.5 Control de malezas.....	36
3.4.6 Aporque .....	36
3.4.7 Doblado de maíz.....	36
3.4.8 Cosecha .....	36
3.5 Variables evaluadas.....	37
3.5.1 Análisis químico de suelo.....	37
3.5.2 Análisis foliar .....	37
3.5.3 Variables de crecimiento y desarrollo.....	38
3.5.3.1 Altura de planta (cm).....	38
3.5.3.2 Número de hojas.....	38
3.5.3.3 Diámetro del tallo (mm).....	38
3.5.3.4 Altura de inserción de la mazorca (cm).....	38
3.5.3.5 Componentes del rendimiento.....	39
3.5.3.6 Rendimiento (kg/ha).....	39
3.6 Análisis estadístico.....	39
3.7 Análisis económico.....	40
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
4.1 Altura de la planta.....	41
4.2 Número de hojas.....	44
4.3 Diámetro del tallo.....	46
4.4 Altura de inserción de la mazorca.....	47
4.5 Longitud de la mazorca.....	48
4.6 Número de granos por hilera.....	49

<b>Sección</b>	<b>Página</b>
4.7	Número de hileras por mazorca..... 50
4.8	Rendimiento en kg/ha..... 50
4.9	Análisis químico de suelo..... 52
4.10	Contenido de macronutrientes en el suelos de La Compañía..... 52
4.10.1	Nitrógeno ..... 52
4.10.2	Fósforo ..... 53
4.10.3	Potasio ..... 53
4.10.4	Calcio y magnesio..... 54
4.11	Microelementos en los suelos de La Compañía..... 56
4.12	Análisis de tejido vegetal..... 58
4.13	Hoja bandera ..... 59
4.14	Concentración de elementos nutritivos en el tejido foliar..... 59
4.15	Contenido de macroelementos en la hoja bandera..... 59
4.15.1	Concentración de nitrógeno..... 59
4.15.2	Concentración de fósforo..... 60
4.15.3	Concentración de potasio, calcio y magnesio..... 62
4.16	Concentración de microelementos en la hoja bandera..... 63
4.16.1	Contenido de hierro..... 64
4.16.2	Contenido de zinc..... 66
4.16.3	Contenido de manganeso..... 67
4.17	Concentración de elementos nutritivos en hoja por debajo de la mazorca..... 69
4.17.1	Contenido de nitrógeno..... 69
4.17.2	Contenido de fósforo..... 70
4.17.3	Contenido de potasio..... 71
4.17.4	Contenido de calcio..... 72
4.17.5	Contenido de magnesio..... 73
4.17.6	Contenido de hierro..... 74
4.17.7	Contenido de cobre..... 75
4.17.8	Contenido de zinc..... 76
4.17.9	Contenido de manganeso..... 77
4.18	Análisis económico..... 78
4.18.1	Presupuesto parcial..... 78
4.18.2	Análisis de dominancia..... 79
<b>V</b>	<b>CONCLUSIONES..... 81</b>
<b>VI</b>	<b>RECOMENDACIONES..... 83</b>
<b>VII</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 84</b>
<b>VIII</b>	<b>ANEXOS ..... 93</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tablas</b>	<b>Página</b>
1. Ubicación y ecología de la zona.....	31
2. Dimensiones del ensayo.....	33
3. Descripción de los diez tratamientos en diseño de bloque completo al azar.....	34
4. Características químicas de los abonos orgánicos gallinaza y compost.....	35
5. Características químicas del suelo de La Compañía y su rango de clasificación.....	37
6. Altura de la planta de maíz en diferentes etapas fenológicas del cultivo (cm).....	44
7. Número de hojas en el cultivo del maíz en diferentes etapas fenológicas.....	46
8. Diámetro del tallo en el cultivo de maíz en diferentes etapas fenológicas (mm).....	47
9. Efecto de los diferentes tratamientos sobre las variables de rendimiento y la altura de inserción de la mazorca.....	50
10. Actividad agrícola. Comparación de los resultados de los ciclos 1996/97 y 1997/98 para el cultivo del maíz.....	51
11. Análisis químico de macroelementos por cada unidad experimental y sus rangos de clasificación.....	56
12. Niveles críticos tentativos de contenido de algunos microelementos en suelos tropicales.....	57
13. Clasificación de micronutrientes en cinco clases de fertilidad expresados en mg/l.....	57
14. Análisis químico de microelementos por cada unidad experimental y sus rangos de clasificación.....	58
15. Concentración de macronutrientes en hoja bandera.....	63
16. Variación de las concentraciones de los micronutrientes encontrados habitualmente en hojas maduras de plantas con suministro adecuado de estos elementos.....	64
17. Contenido de hierro en ppm en hojas maduras de maíz.....	65
18. Clasificación de cinco clases de fertilidad para el elemento zinc con respecto al cultivo de maíz expresado en ppm.....	67
19. Concentración de micronutriente en hoja bandera.....	68
20. Concentración de macronutrientes en hoja por debajo de la mazorca.....	73
21. Contenido de cobre en el cultivo del maíz bajo tres niveles de fertilización expresados en ppm.....	76
22. Concentración de micronutrientes en hoja por debajo de la mazorca.....	78

<b>Tablas</b>	<b>Página</b>
23. Presupuesto parcial de los distintos tratamientos.....	79
24. Análisis de dominancia para los distintos tratamientos.....	80
25. Extracción de macronutrientes por el cultivo de maíz para diferentes niveles de producción.....	96
26. Concentraciones de macronutrientes encontrados en los análisis foliares .....	96
27. Concentración de micronutrientes encontrados en los análisis foliares .....	96
28. Concentración de nutrientes en la hoja debajo de la mazorca de maíz a la iniciación de la formación del cabello, que corresponde a varios estados nutricionales de la planta .....	97

**V**  
**INDICE DE FIGURAS**

<b>Sección</b>	<b>Página</b>
1- Precipitación y temperatura en la zona de estudio.....	31
2- Curva de beneficios netos.....	80
3- Comportamiento de la altura de planta por efecto de los distintos tratamientos a los 65 días después de la siembra.....	94
4- Comportamiento del número de hojas por efecto de los distintos tratamientos a los 65 días después de la siembra.....	94
5- Comportamiento del diámetro del tallo por efecto de los diferentes tratamientos a los 65 días después de la siembra.....	95
6- Comportamiento del rendimiento por efecto de los distintos tratamientos.....	95

## vi RESUMEN

El presente trabajo consistió en la evaluación de dos tipos de abonos orgánicos (gallinaza y compost) y un fertilizante mineral (completo de fórmula 12-30-10), cada uno con tres niveles de aplicación (5, 10 y 15 tm/ha para abonos orgánicos y 1, 2 y 3 qq/ha para el fertilizante químico). El ensayo se estableció en la finca experimental La compañía ubicado en el km. 45 de la carretera San Marcos - Masatepe. Estos suelos de La Compañía son de origen volcánico con altos contenidos de N, K, Ca, Mg y Fe; contenidos medios y bajos de Cu y Zn y bajos contenidos de P y Mn. Se utilizó un diseño unifactorial de bloques completos al azar (BCA) con diez tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron; altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo, altura de inserción de la mazorca, longitud de la mazorca, número de granos por hilera, número de hileras por mazorca y rendimiento; se realizaron análisis químico de suelos, análisis químico de tejido vegetal, y un análisis económico para evaluar la rentabilidad de los tratamientos y ofrecer alternativas económicas para pequeños y medianos productores de maíz. Los análisis indican que bajo la aplicación del abono orgánico gallinaza en las diferentes dosis se obtuvo los mejores resultados para las diferentes variables evaluadas a excepción de la altura de planta y el número de hojas las cuales fueron estudiadas a través de diferentes etapas fenológicas obteniéndose diferentes resultados; en altura de planta se obtuvieron mejores resultados bajo la aplicación del fertilizante químico a los 15, 25 y 35 días después de la siembra y la gallinaza obtuvo mejores resultados a los 45, 55 y 65 días después de la siembra. En la variable número de hojas se presentaron los mejores resultados bajo la aplicación del fertilizante químico a los 15, 25, 45 y 55 días después de la siembra, a los 35 días después de la siembra la gallinaza presentó el mejor comportamiento, a los 65 días después de la siembra el compost presentó el mayor número de hojas. El análisis foliar de la hoja de bandera presentó las mayores concentraciones de P, Ca, Cu y Mn bajo la aplicación del abono orgánico gallinaza, las mayores concentraciones de K y Mg con el abono orgánico compost y las mayores concentraciones de N, Fe y Zn bajo la aplicación del fertilizante químico. El análisis foliar de la hoja debajo de la mazorca presentó las mayores concentraciones de N, K y Zn con la aplicación de gallinaza, las mayores concentraciones de P, Cu y Zn con compost y las mayores concentraciones de Ca, Mg, Fe y Mn con el fertilizante químico. El análisis económico demostró que es más rentable aplicar 1 qq/ha de fertilizante completo, pero desde el punto de vista de la sostenibilidad del suelo es recomendable aplicar al menos 5 tm/ha de gallinaza.

## I INTRODUCCIÓN

En los países pobres de bajo desarrollo económico como el nuestro y dedicados principalmente a la agricultura, uno de los principales problemas es el elevado costo de los insumos para la producción de los cultivos agrícolas.

Debido al alto crecimiento demográfico y a la expansión de los cultivos de exportación, se ha incrementado el área agrícola, por lo cual pequeños y medianos agricultores han tenido que desplazarse a tierras marginales de baja fertilidad, en consecuencia los rendimientos obtenidos al cabo de algunos años han sido bajos, no satisfaciendo completamente las necesidades alimenticias de la población.

La mayor parte de la producción nacional de granos básicos es realizada por los pequeños productores que son de escasos recursos económicos. Estos al no contar con suficiente dinero para adquirir los fertilizantes químicos necesitan nuevas alternativas de fertilización para aumentar la fertilidad de los suelos y evitar la degradación de este.

Los agricultores mencionan constantemente que el uso de fertilizantes químicos es extremadamente caro, aunque tienen un impacto directo sobre la productividad de los cultivos, más aún en aquellos suelos cuyas características nutritivas son deficientes. Por otro lado están conscientes de la necesidad de fertilizar sus suelos para obtener mayores rendimientos.

Muy poco se ha escrito sobre la producción orgánica del maíz, en contraposición, a las múltiples investigaciones que durante varios años se han realizado sobre la fertilización química de este cultivo. Generalmente, las recomendaciones que se hacen para la fertilización de este cultivo, es basándose en experiencias particulares o bien de acuerdo a los requerimientos nutritivos del cultivo sin tomar en cuenta, que estos requerimientos nutricionales están fuera de

las condiciones reales de nuestro país; no considerándose el contenido y disponibilidad de los nutrientes en el suelo.

Por tal razón es necesario plantear nuevas alternativas que logren incrementar tanto los rendimientos como los niveles de producción haciendo uso de productos naturales tales como residuos de cosecha, estiércol de ganado, abonos verdes, gallinaza, compost, etc., los cuales están disponibles para el agricultor y contribuyen a mejorar la calidad del suelo y por consiguiente el rendimiento de los cultivos.

Al utilizar como medio de fertilización los abonos orgánicos, el agricultor obtiene muchas ventajas, tales como: mejora en la estructura del suelo dando a este mayor capacidad de retención de agua y nutrientes, disminuye los costos de producción, aumenta la actividad microbiana, disminuye la intensidad de la erosión, reduce el lavado de nutrientes y permite manejar la agricultura en forma sostenible evitando el avance de la frontera agrícola.

Los abonos orgánicos se utilizan como medio para mejorar las características físico - químicas de los suelos, los que presentan un campo de investigación amplio para ofrecerlos como alternativas a los productores en caso sean de beneficio y económicamente accesible (Aguilera & Cortés, 1987; citado por Pérez, 1994).

Para demostrar que los abonos orgánicos tienen importancia en el rendimiento de los cultivos, se hace necesario llevar a cabo investigaciones con diferentes productos orgánicos bajo distintos niveles de aplicación para valorar su incidencia en cuanto al comportamiento de las producciones y disminuir las cantidades de fertilizantes químicos.

Según Primavesi (1982), citado por Pérez (1994), es evidente que nada consigue sustituir el efecto de la materia orgánica. La fertilización mineral, por más

completa que sea, nunca consigue mantener la productividad del suelo, ya sea en clima templado o tropical, sin que exista un retorno sistemático y dirigido de la materia orgánica.

Para aumentar la producción de alimentos en los países menos desarrollados es importante la necesidad de racionalizar el uso de los recursos y en mejorar la productividad de las pequeñas fincas familiares, permitiéndoles generar alimentos, combustible y empleo. Esto debe de empezar mediante la enseñanza de un mayor respeto por el suelo, considerándolo no solo como una materia mineral sino como una entidad dinámica, que contiene materia orgánica y organismos vivos, que necesitan protección, alimentación y manejo cuidadoso si se pretende que sea productivo (Dalzell *et al.*, 1991).

El propósito de esta investigación es evaluar el comportamiento de los abonos orgánicos gallinaza y compost y del fertilizantes químicos bajo distintas dosis de aplicación en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz y contribuir a resolver parcialmente el problema de fertilización en las fincas de pequeños productores, considerando la nutrición del cultivo como un factor integral del sistema de manejo de finca. Esto permitiría al productor prescindir de recursos externos, aprovechando subproductos de otros rubros de producción de la finca y crear de esa manera, un sistema sostenible a largo plazo.

En esta investigación los objetivos propuestos son los siguientes:

## **GENERAL**

- Generar conocimientos que permitan elevar la productividad y rentabilidad del cultivo de maíz dentro de un marco de sostenibilidad agrobiológica.

## **ESPECÍFICOS**

- Determinar el efecto de diferentes dosis de gallinaza y compost en el crecimiento y rendimiento del cultivo del maíz.
- Determinar el efecto de diferentes dosis del fertilizante químico en el crecimiento y rendimiento del cultivo del maíz.
- Evaluar el efecto del tipo y dosis de fertilizante utilizado en la absorción de nutrientes por el cultivo del maíz.
- Hacer un análisis económico comparativo del uso de los abonos orgánicos y el fertilizante químico.

## II REVISIÓN DE LITERATURA

El maíz (*Zea mays* L.) ocupa la tercera posición a nivel mundial entre los cereales más cultivados, después del trigo y el arroz ya que se encuentra en más países que cualquier otro cultivo y ha producido el más alto rendimiento por unidad de área que cualquier otro cereal (Somarriba, 1997).

El maíz es el principal cultivo agrícola en muchos países, junto con el arroz y el trigo, pertenece al grupo de los cereales que proporcionan el 65% de los hidratos de carbono y el 50% de las proteínas que necesita el hombre. Se utiliza directamente como alimento, como forraje para los animales y como materia prima para numerosos productos industriales, siendo una mercancía muy preciada en el mercado internacional (FAO, 1984).

Abaunza (1990), afirma que en Nicaragua el maíz es un cultivo alimenticio muy importante en la dieta nacional y aunque se aumentan las áreas a cosechar, los rendimientos promedios no son satisfactorios. Los granos básicos constituyen el principal componente de la dieta de los nicaragüenses y representan la base de la subsistencia de los pequeños productores. La producción de los mismos se encuentra diseminada por todo el territorio nacional y ocupa un poco más del 60 por ciento de la superficie dedicada a la agricultura y cerca del 80 por ciento del área destinada a cultivos anuales.

La reducción del área y la producción de granos básicos, se dio fundamentalmente en el rubro del maíz, durante las cosechas de postrera y apante. En ellas hubieron caídas del área cosechada del 25 al 78 por ciento en relación con la misma época del ciclo pasado. Pese a que en época de primera de este cultivo las pérdidas sufridas no mermaron su crecimiento en relación con el ciclo anterior, el resultado global fue la disminución del área cosechada para todo el ciclo 1997/1998. Lo anterior, al conjugarse con menores rendimientos agrícolas,

condujo a una caída del volumen producido, del orden del 18 por ciento con relación al ciclo 1996 / 1997.

Este comportamiento se produjo como consecuencia del fenómeno del niño oscilación Sur y no afectó únicamente a Nicaragua, ya que es un fenómeno intercontinental y cíclico. Se produce por el calentamiento de las corrientes marítimas del océano pacífico y trae consecuencias climáticas prácticamente impredecibles en cuanto a zonas y grados de intensidad, afectando seriamente la producción de primera postrera y algunas veces de apante.

En 1997, la incidencia del fenómeno del niño afectó severamente las áreas de siembra y los rendimientos del ciclo agrícola 1997/1998.

## **2.1 Conceptos básicos**

Se denominan abonos aquellas sustancias que desempeñan diversas funciones, directas o indirectas que influyen sobre el crecimiento de las plantas y sus cosechas, obrando como nutrientes, agente movilizador de sustancias, catalizador de los procesos vitales (tanto en el suelo como en las plantas), modificador de la flora microbiana útil, enmienda mejoradora de las propiedades del suelo y otras (Pastor, 1990).

Se define como fertilizante, la sustancia que contiene uno, o más, de los elementos químicos alimenticios para los vegetales, en formas tales que puedan ser absorbidos por las plantas y que favorezcan el desarrollo de las mismas (National Plant Food Institute, 1982).

Se define como suelo fértil aquel que contiene cantidades suficientes y balanceadas de todos los nutrientes que la planta obtiene de la fracción mineral y

orgánica. Debe estar razonablemente libre de sustancias tóxicas que limiten el crecimiento y tener propiedades físicas satisfactorias (Ortiz, 1977).

Se define como suelo productivo aquel que siendo fértil se encuentra localizado en una zona climática que le proporcione suficiente humedad, luz y calor para el desarrollo normal de las plantas (Ortiz, 1977).

## **2.2 Elementos esenciales para el cultivo de maíz**

El suministro de nutrientes representa solo uno de los factores externos que influyen sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas, pero a diferencia de otros factores ambientales, en cuanto a los cuales existen pocas posibilidades de modificarlos, el hombre puede ejercer una notable influencia sobre dicho suministro por que mediante la fertilización puede obtener la cantidad y relación óptima de nutrientes que necesita el cultivo (Arzola *et al.*, 1981).

Los vegetales absorben numerosos principios nutritivos del suelo y del aire atmosférico a través de su sistema radicícola, de las hojas y tallos verdes. También pueden asimilarlos cuando se mojan las partes aéreas con disoluciones acuosas nutritivas (García & García, 1982).

Existen trece nutrientes minerales, los cuales provienen del suelo y se clasifican en tres grupos: primarios, secundarios y micronutrientes. Los nutrientes primarios por lo general son los primeros en carecer en el suelo, puesto que las plantas los utilizan en cantidades relativamente grandes. La carencia de nutrientes secundarios y micronutrientes ocurre con menos frecuencia, pues las plantas los utilizan en menor cantidad, pero estos son tan importantes como los primarios para una adecuada fertilidad del suelo.

Existen también tres elementos que son esenciales para el buen desarrollo de los cultivos, estos son el carbono (C), el oxígeno (O) y el hidrógeno (H). La planta de maíz absorbe estos elementos nutritivos en distintas formas y cantidades a partir del aire, del agua y del suelo (FAO, 1984).

De acuerdo con Hagin & Tucker, citados por Ortiz & Ortiz (1990), estos elementos constituyen más del 95 por ciento del peso de las plantas y su principal utilidad radica en la fotosíntesis.

## **2.3 Macronutrientes primarios**

### **2.3.1 Nitrógeno**

El nitrógeno es normalmente el elemento más limitante en la productividad de muchos suelos (Bolaños, 1997). Forma parte integrante de la clorofila o pigmento verde de las plantas, plasma vital donde tiene lugar la función clorofílica asimiladora de carbono y la formación de azúcares, grasas, proteínas, vitaminas y hormonas (García & García, 1982).

Ortiz (1977), plantea que un suelo puede contener en promedio unos 1400 kilogramos de nitrógeno total por hectárea. La cantidad de nitrógeno inorgánico en la misma área llega a ser de unos 25 kg, lo que representa menos del 2 por ciento del nitrógeno total.

Bartolini (1990), menciona que casi la totalidad del nitrógeno utilizado por el maíz penetra en las raíces en forma de ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), cuyo contenido varía ampliamente según el contenido de materia orgánica, oscilando en términos medios entre 0.02 y 0.4 por ciento.

Entre los factores edafológicos que controlan el contenido de nitrógeno tenemos, en primer lugar, la microbiología del suelo, su reacción, su contenido de humedad y la relación carbono nitrógeno del material vegetal que anualmente se incorpora al suelo (Salmerón & García, 1994).

Domínguez (1997), menciona que la escasez en el abastecimiento de nitrógeno en la planta aunque sea ligera, tiene una notable incidencia en el desarrollo. El síntoma característico es la clorosis generalizada de la planta, comenzando por las hojas viejas, dada la gran movilidad de este elemento dentro de la misma y extendiéndose desde la punta de la hoja por el nervio central hasta abarcar toda ella. En los casos graves se marchitan y mueren.

Los tejidos de las plantas bien abonadas con nitrógeno son más sensibles a las enfermedades que las mal abonadas. Al ser mayor el desarrollo foliar en el caso de los cereales, las plantas crecen en busca de luz y las cañas se hacen menos rígidas por lo que aumenta el riesgo del encamado. A veces el encamado es consecuencia de una alimentación desequilibrada, al no encontrar la planta suficiente cantidad de fósforo y potasio (Guerrero, 1990).

Ortiz (1977), dice que el nitrógeno en la planta es fácilmente translocable. Si se presenta deficiencia, las proteínas de las partes más viejas de la planta se hidrolizan y en forma de aminoácidos se movilizan a los tejidos más jóvenes. La falta de nitrógeno acelera la madurez fisiológica de los cereales (Guerrero, 1990).

### **2.3.2 Fósforo**

Ortiz (1977), afirma que el fósforo total del suelo varía de 800 a 2500 kg/ha en la capa arable, sin embargo, solamente una pequeña porción de este fósforo es aprovechable para el desarrollo de las plantas.

Garcia & Garcia (1982), plantean que el fósforo se encuentra en el suelo en estado orgánico y en estado mineral. El primero procede de los residuos de vegetales y animales del terreno, donde los microbios y agentes atmosféricos los descomponen y transforman de manera gradual en fosfatos asimilables o solubles en el extracto acuoso del suelo. Los fosfatos minerales proceden de las rocas originarias constituidas principalmente por fosfatos tricálcicos, pocos solubles que por efecto de la acidez de la solución de terreno y por la acción de ciertos microbios, se van convirtiendo lentamente en fosfatos monocálcicos y bicálcicos, solubles en el extracto acuoso del mismo.

Fosfatos presentes en la solución del suelo representan una ínfima parte del fósforo total. En la solución del suelo la concentración de este elemento suele ser del orden de 1 ppm o menos (Arzola *et al.*, 1981).

El papel del fósforo es fundamental en procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas. Se encuentra en fuertes concentraciones en los tejidos meristemáticos, sede del crecimiento activo en las plantas. Es fuente primaria de energía vía adenosin trifosfato (ATP). Forma parte de las coenzimas NAD (nicotinamida-dinucleótido) y NADP (dicotinamida-adenosin-dinucleótido fosfato). Por su participación activa en las síntesis de proteínas, si hiciese falta se produciría menor crecimiento de la planta y fuerte reducción del área radical. Se acumula en las semillas para activar los mecanismos meristemáticos del embrión, durante la germinación. Participa en los procesos metabólicos tan importantes para la planta como la fotosíntesis, la glucólisis, la respiración y la síntesis de ácidos grasos (Kass, 1996).

La planta absorbe el fósforo en forma de fosfato monobásico principalmente ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y también aunque en menor medida como fosfato bibásico ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Se considera que el primero es absorbido metabólicamente (Dominguez, 1990).

De acuerdo con Somarriba (1997), la cantidad de fósforo que la planta demanda es baja en comparación con el nitrógeno y potasio. Este es un elemento importante para la nutrición del maíz. La concentración del fósforo es mayor en plantas jóvenes y en las partes que crecen más activamente.

Somarriba (1997), señala que la deficiencia de fósforo casi siempre se manifiesta antes de que la planta alcance los 60 centímetros, presentando los siguientes síntomas: inicialmente una coloración verde intensa, manchas color rojizo púrpura en los bordes de las hojas, plantas de poco vigor y mal desarrollo de su sistema radicular. El fósforo también controla el tamaño del tallo y la formación de raíces, la floración, fecundación, formación de grano y acelera el proceso de maduración.

### 2.3.3 Potasio

El potasio del suelo proviene de la descomposición de los contenidos en las rocas a partir de las cuales se ha formado, su contenido en los suelos minerales, es por regla general, mayor que los contenidos de nitrógeno y fósforo juntos (Arzola *et al.*, 1981).

García & García (1982), indican que la corteza terrestre contiene compuestos potásicos que en términos medios suponen un 3.2 por ciento de  $K_2O$  y el 2.4 por ciento en estado simple.

El potasio es requerido por las plantas en grandes cantidades. Es absorbido por las raíces en forma iónica ( $K^+$ ). A pesar de que el potasio está en el suelo en varias formas, la fracción considerada rápidamente disponible para la planta es proporcionalmente muy baja respecto al contenido total de potasio en los suelos (Kass, 1996).

Bartolini (1990), menciona que el cultivo del maíz extrae importantes cantidades de potasio, que es un elemento esencial para el desarrollo y en particular, para la formación de la mazorca. En efecto, 1/3 del potasio extraído se localiza en el grano. La velocidad máxima de absorción alcanza su valor máximo tres semanas antes de la floración. El potasio es un elemento bastante móvil en el interior de la planta, mientras que en el suelo está fuertemente fijado por su alto poder de adsorción.

Según IMPOFOS (s. f.), se conoce que el potasio juega un papel vital en la fotosíntesis. Se ha demostrado también que juega un papel fundamental en la activación de más de 60 sistemas enzimáticos en las plantas. En contraste con otros elementos que están envueltos en la formación de estructuras de la célula, el potasio funciona en el jugo celular. Su alta movilidad permite que se traslade rápidamente de célula a célula, o de tejido viejo a tejido nuevo en desarrollo o a órganos de almacenamiento.

Según Somarriba (1997), el maíz necesita grandes cantidades de potasio, esencialmente para su crecimiento vigoroso, aunque nunca forma parte de las proteínas ni de los compuestos orgánicos. La deficiencia de potasio aparece como una quemadura o coloración café en los bordes de las hojas más cercanas al suelo. Otro síntoma es la presencia de una decoloración café oscura en el interior de los nudos. Los síntomas de deficiencia son más visibles en las hojas viejas. Las hojas jóvenes pueden ser verdes amarillentas o a veces estar veteadas de color amarillo.

Somarriba (1997), indica que la deficiencia de potasio puede no tener mucho efecto en el tamaño de las mazorcas como ocurre con las deficiencias de fósforo y nitrógeno, aunque los granos en la punta de la mazorca no se desarrollan formando mazorcas imperfectas de poco valor. Cuando la deficiencia es grave gran parte de las hojas pueden morir con la correspondiente reducción del crecimiento y rendimientos.

## **2.4 Macronutrientes secundarios**

Elementos secundarios son aquellos elementos nutritivos que las plantas necesitan absorber en gran cantidad y que normalmente abundan en el suelo (Fuentes, 1994).

### **2.4.1 Calcio**

En comparación con otros cationes importantes para la nutrición de las plantas, el contenido de calcio de los suelos inorgánicos es, en general, alto. Una gran parte del calcio en el suelo se encuentra en forma difícilmente soluble, ya sea como principal elemento constituyente de los cristales de minerales de rocas básicas o como sales. El calcio en los cristales de los minerales se libera por el proceso de intemperización, solo en forma lenta (Arzola *et al.*, 1981).

Brockman (1992), menciona que el calcio tiene dos funciones distintas; es un nutriente esencial y a la vez es el ion predominante que determina el pH del suelo.

Según Kass (1996), el calcio tiene gran importancia como regulador del metabolismo vegetal, actuando conjuntamente con otros elementos como el potasio. La mayor parte del calcio se encuentra en forma soluble dentro de la planta; otra parte es componente estructural, que forma parte del pectato de calcio, que confiere rigidez a los tejidos celulares y estimula el crecimiento del sistema radical. Un adecuado contenido dentro de la planta favorece la absorción y transporte del fósforo, mientras que su actividad enzimática es poco importante.

García & García (1982), plantean que la carencia de calcio disminuye el espesor de las membranas celulares, lo que hace permeables las raíces a los elementos tóxicos, magnesio y sodio, mientras que la planta adquiere sensibilidad a enfermedades microbianas. El exceso de calcio da lugar a clorosis férrica en las

partes verdes, que evolucionan a amarillo, porque su abundancia transforma las sales ferrosas del suelo, solubles y asimilables, en férricas, que son insolubles e inasimilables, lo que disminuye la absorción del hierro por las raíces, provocando la clorosis.

#### **2.4.2 Magnesio**

En términos generales los suelos agrícolas se encuentran bien dotados de magnesio para la nutrición vegetal; pero desaparece del primer horizonte edáfico por cambios iónicos con potasio y amonio de los abonos, cuando existen lluvias abundantes, que lo hacen penetrar con profundidad. En las plantas el magnesio tiene una fisiología variada, al formar parte de la clorofila y de numerosos principios inmediatos; interviene en la circulación del fósforo, el cual sirve de vehículo cuando se deposita en las semillas, o cuando se desplaza a los tejidos generadores de grasas (García & García, 1982).

El contenido de magnesio de los suelos oscila entre 0.5 por ciento en suelos arenosos y 25 por ciento en suelos arcillosos (Salmerón & García 1994).

El magnesio es un constituyente de la clorofila ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ), por lo que una parte apreciable del contenido total se halla en los cloroplastos de las células de las hojas (Domínguez, 1997).

Según Kass (1996), el magnesio es absorbido por las plantas de la solución del suelo como ion magnesio ( $Mg^{2+}$ ). Este elemento tiene relaciones antagónicas con el calcio y el potasio.

Fuentes (1994), afirma que el magnesio por ser un componente de la clorofila, su escasez se traduce en una reducción de la fotosíntesis. Ejerce un efecto favorable en la formación de proteínas y vitaminas, y aumenta la resistencia de las plantas ante un medio adverso.

## **2.5 Micronutrientes o microelementos**

El término se refiere a aquellos, elementos que son exigidos por las plantas en pequeñas cantidades y que en los suelos existen también en pequeñas cantidades, sus proporciones se dan normalmente en partes por millón (ppm) (Salmerón & García, 1994).

Un exceso de microelementos puede ser tóxico y ocurre además que entre las dosis bajas y las altas donde puede producirse toxicidad, existe poca diferencia (Guerrero, 1990).

### **2.5.1 Hierro**

Según Bowen (1981), es uno de los elementos químicos que más abundan en la naturaleza, sin embargo es también químicamente muy reactivo. El ion ferroso ( $Fe^{2+}$ ) en presencia de oxígeno se oxida fácilmente a ion férrico ( $Fe^{3+}$ ), característica de gran importancia para la nutrición vegetal, pues al parecer las plantas acumulan selectivamente el ion férrico. La concentración de hierro en el suelo varía de 200 ppm (0.2 por ciento) a más de 10 por ciento.

La falta de hierro casi nunca es debido a que no exista suficiente hierro en el suelo (Guerrero, 1990). Las plantas que tienen carencia de hierro carecen de clorofila y son cloróticas (Salmerón & García, 1994).

El hierro disponible en el suelo se presenta principalmente en forma de complejo orgánico. La materia orgánica del suelo influye mucho en la disponibilidad de hierro. Los suelos con deficiencia de materia orgánica se caracterizan por una baja disponibilidad de este elemento (Katyal & Randhawa, 1986).

Aunque este elemento no forma parte de la clorofila, como ocurre con el magnesio, su presencia es esencial, junto con el manganeso y el zinc, para la formación del pigmento clorofílico. Forman parte de muchas enzimas (Fuentes, 1994).

### **2.5.2 Cobre**

El contenido de cobre en el suelo varía entre 10 y 20 ppm. Las funciones del cobre están asociadas con un buen número de enzimas ya sea como activador o formando parte de ellas. Su capacidad de experimentar reducción reversible, al igual que el hierro, le permite intervenir en una gran variedad de procesos redox, también tiene una destacada participación como elemento catalítico, en las síntesis de proteínas (Salmerón & García, 1994).

Los suelos minerales que tienen menos de 6 ppm o los suelos orgánicos que presentan en el análisis menos de 30 ppm de contenido total de cobre, merecen una especial atención (Katyal & Randhawa, 1986).

De los micronutrientes catiónicos (cobre, zinc, manganeso y hierro), el cobre es el que está más fuertemente enlazado a la materia orgánica. Ello explica que la deficiencia de cobre sea más común en suelos orgánicos (Katyal & Randhawa, 1986).

Lees (1980), menciona que el cobre participa en varias funciones vitales como la síntesis de la clorofila y ciertas reacciones productoras de energía como la respiración y la fotosíntesis. También influye en la permeabilidad de la membrana celular y en el proceso por el cual, el nitrógeno en forma de nitratos es reducido a la forma amónica en las plantas.

El maíz es muy sensible a la deficiencia de cobre, pues cuando este elemento falta las plantas no llega a alcanzar un metro de altura; las hojas muestran un rallado amarillo blanco característico y el rendimiento es muy bajo.

Las extracciones de cobre por parte de la planta son muy pequeñas por lo que no suelen presentar carencias. Este elemento debe mantenerse en equilibrio con el hierro, el exceso de cobre provoca una mayor oxidación del hierro, que pasa a formas insolubles, la escasez de cobre provoca una excesiva asimilación del hierro por parte de las plantas (Fuentes, 1994 ).

Los síntomas característicos de la deficiencia de cobre en cereales, incluyen crecimiento atrofiado, marchitez de la punta de las hojas y falta de polinización de las flores, que resulta en espigas vacías (Lees, 1980).

### **2.5.3 Zinc**

La presencia de zinc es imprescindible para la formación de clorofila. Interviene como activador de algunas funciones importantes y participa en la formación de las auxinas y hormonas de crecimientos (Fuentes, 1994).

Los niveles de zinc disponibles para las plantas rigen la nutrición de los cultivos. Solo pequeña fracción del contenido total de zinc está disponible para las plantas, apenas unas cuantas partes por millón y muy frecuentemente menos de una parte por millón (Katyal & Randhawa 1986).

La descomposición de la materia orgánica da origen a ciertos agentes quelatantes que contribuyen a la disponibilidad de zinc para las plantas. Los suelos con bajo contenido de materia orgánica suelen acusar deficiencias de zinc, pues se ha visto que la disponibilidad de este elemento aumenta a medida que aumenta el nivel de materia orgánica del suelo (Katyal & Randhawa 1986).

El estiércol orgánico contiene zinc y algunos otros nutrientes. Su composición es sumamente variable. El estiércol se usa muy raramente como fuente de zinc, pero su uso regular permite evitar el agotamiento de zinc del suelo como resultado de cultivos y cosechas continuas.

Los primeros síntomas de deficiencia en zinc corresponden a una clorosis localizada entre los nervios de las hojas más viejas que se inicia en el ápice y en los bordes (Devlin, 1975).

#### **2.5.4 Manganeso**

El manganeso no forma parte de la clorofila pero su presencia es imprescindible para su formación. Actúa también como catalizador en muchos procesos enzimáticos y se absorbe bajo la forma de ion  $Mn^{2+}$  (Fuentes, 1994).

El manganeso desempeña diversas funciones en las plantas, es esencial para la fotosíntesis y actúa como un agente catalítico en la reducción del nitrato, donde puede ser reemplazado por el hierro. Es un agente constituyente de algunas enzimas respiratorias y de otras enzimas responsables de las síntesis de las proteínas (Salmerón & García, 1994).

La deficiencia de magnesio se pone de manifiesto con la aparición de un color amarillo rojizo entre las nerviaciones de las hojas. Cuando las deficiencias son graves se produce una clorosis generalizada en toda la hoja, que resulta difícil diferenciar de la clorosis férrica (Fuentes, 1994)

## 2.6 Materia orgánica del suelo

La materia orgánica de los suelos de cultivos, representa en sí misma, un sistema complejo integrado por diversos componentes. Su dinamismo está determinado por la incorporación al suelo de restos de origen vegetal, animal y microbiano y la transformación y evolución de estos, mediada por la interacción de múltiples procesos (Labrador, 1996).

La fracción orgánica representa una función muy importante como fuente de reserva de nutrimentos vegetales que se transforman en forma aprovechable mediante la acción microbiológica y química de dicha fracción (Ortega, 1978).

La mayor parte del nitrógeno y del azufre y una proporción apreciable del fósforo se encuentra en forma orgánica en los suelos superficiales del trópico. Además la materia orgánica forma fácilmente complejos con metales pesados, por lo cual puede actuar como fuente y como recipiente de oligoelementos del suelo, controlando de ésta manera hasta cierto punto su ingestión por las plantas (FAO, 1976).

La disponibilidad de nutrimentos en la fracción orgánica es muy variable, comparado con los fertilizantes industriales, denominados fertilizantes químicos o minerales. En el caso de elementos ligados a la materia orgánica, su disponibilidad no es inmediata, ya que requiere una mineralización previa (Kass, 1996).

Cuando se aportan nutrimentos mediante aplicación de materia orgánica al suelo, se incrementa su reserva en el mismo y su fertilidad. La liberación lenta y progresiva, es una garantía de que los elementos móviles dentro del suelo, como el nitrógeno, permanecen retenidos y no se pierden fácilmente por lavado (Kass, 1996).

Según Pastor (1990), el producto de la mineralización son compuestos más sencillos y solubles que pueden ser asimilables por las plantas una vez que pasan a formas inorgánicas bien solubles ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ , etc.) amonio, nitrato, sulfato, fosfato, agua, dióxido de carbono etc. respectivamente.

Por otra parte la síntesis microbiana como segunda forma de transformación de la materia orgánica consiste en la toma de esta por los microorganismos para formar parte de la constitución de sus cuerpos, que al morir toda la materia orgánica de que estaban constituidos sufren una transformación. Así, es posible que al morir, los tejidos microbianos pueden incrementar, en parte apreciable, la materia orgánica resistente (humus) presente en los suelos (Buckman & Brady, 1985).

El humus es una mezcla de sustancias macromoleculares con grupos ionizables, principalmente ácidos, se trata, pues, de un polielectrolito macromolecular y amorfo. Sus sales son llamadas humatos. En el humus existen, además de los grupos ácidos, grupos alcohólicos y amínicos, con propiedades secuestradoras y complejante, pudiendo, por tanto, captar iones pesados y dar lugar a quelatos (Primo & Carrasco, 1981).

Las sustancias húmicas (fracción orgánica) presentes en los suelos, son muy importantes para la producción de cultivos. Ellas representan fuente de lenta solubilización de nitrógeno, fósforo y azufre, para la nutrición de plantas. También aporta al mineralizarse, potasio (K), magnesio (Mg) y cantidades muy pequeñas de micronutrientes (Kass, 1996).

La cantidad de humus presente en el suelo depende del equilibrio dinámico que se alcance entre la formación (humificación) y destrucción (mineralización) del mismo (Domínguez, 1997).

Dominguez (1997), menciona que la mayor parte de la actividad físico química del suelo se desarrolla en el complejo coloidal, las cuales son partículas que tienen el tamaño inferior a dos micras (0.002 mm). También se ha visto que se incluyen dentro de este grupo la fracción de arcilla, la materia orgánica estable o humus y otros complejos minerales.

En el suelo las partículas coloidales se hallan en contacto con la solución acuosa del mismo. Normalmente las partículas coloidales del suelo (arcilla, humus, etc.) se hallan en estado floculado o precipitado, sirviendo de nexo de unión a partículas mayores para formar agregados. En cualquier caso, se encuentra en contacto permanente con la solución del suelo. Por su gran superficie y la carga negativa que se distribuye a lo largo de la misma, el complejo coloidal arcilloso - húmico del suelo tiene una gran capacidad de adsorber cationes (Domínguez, 1997).

## **2.7 Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo**

La influencia de la materia orgánica sobre el suelo ha sido reconocida desde la antigüedad y se mantiene vigente este concepto hoy en día. La materia orgánica tiene un efecto integral en el suelo sobre las propiedades físicas químicas y biológicas, lo cual amplía el valor de su fertilidad (Cairo, 1980).

La materia orgánica presente en los suelos agrícolas, bien en forma de residuos orgánicos más o menos reconocibles, bien en forma humificada y ligada a la fracción mineral, representa en condiciones adecuadas, un seguro de conservación y mejora de los principales parámetros físicos (Labrador, 1996).

### **2.7.1 Estabilidad estructural**

La materia orgánica actúa sobre la estructura del suelo y favorece la aireación, el drenaje, el enraizamiento, la capacidad de retener agua, etc. (Arzola *et al.*, 1981).

La mejora de la estructura está relacionada con la resistencia que ofrece el suelo frente a la acción degradativa de diversos agentes, fundamentalmente el agua y el viento. La materia orgánica en condiciones adecuadas ejerce una acción óptima sobre la estabilidad de la estructura, e indirectamente también, sobre todos los parámetros relacionados con ella, circulación del agua, del aire, del calor, la penetración de las raíces de la planta, etc. Igualmente favorece la resistencia del suelo frente a la erosión (Labrador, 1996).

El intercambio que se produce entre la atmósfera exterior, la atmósfera del suelo y la solución del mismo funciona normalmente cuando su estructura es favorable y porosa (Labrador, 1996).

### **2.7.2 Color del suelo**

Según Pastor (1990), por lo general, el color es una de las características más notables del suelo, especialmente en aquellos lugares donde se revela de modo evidente. Los colores oscuros del suelo son consecuencia en general, de su contenido de humus. Sabemos también, que la cantidad de calor absorbido o reflejado por el suelo depende en gran parte de su color.

Se admite que los suelos oscuros pueden absorber hasta el 80 por ciento de la radiación solar, frente al 30 por ciento en los suelos claros. Como consecuencia los suelos ricos en humus se calientan más y mantienen un régimen térmico más estable (Terrón, 1988; citado por Labrador, 1996).

### **2.7.3 Cohesión**

La fuerza que mantiene unidas entre sí las partículas del suelo recibe el nombre de cohesión y se debe a la atracción que ejercen unas moléculas sobre las otras (Pastor, 1990).

Aunque la cohesión está estrechamente ligada con el contenido de arcilla, las sustancias húmicas actúan sobre la misma como cemento de unión de las partículas minerales, haciendo en este punto más ligeros los suelos arcillosos, favoreciendo la porosidad, la aireación y la circulación del agua y más compactos los arenosos, y dando mayor estabilidad a los agregados (Labrador, 1996).

### **2.7.4 Permeabilidad y retención de agua**

La materia orgánica aumenta la permeabilidad del suelo al agua y al aire, debido a su acción positiva sobre la porosidad y sobre la actividad de la fauna edáfica (grietas, galerías, etc.) (Labrador, 1996).

Pastor (1990), indica que la adherencia y la cohesión son las dos fuerzas que influyen en la retención de la humedad por los suelos minerales. La primera es la atracción que ejercen las superficies sólidas sobre las moléculas de agua. En estas fuerzas los sólidos retienen rápidamente las moléculas de agua, en las intercaras del suelo-gas. La otra fuerza, la cohesión, es la atracción que ejercen las moléculas entre sí.

Estas dos fuerzas hacen posible que los sólidos del suelo retengan el agua y controlen en alto grado el movimiento y la utilización de este por las plantas y organismos. También, propician que dicha energía actúe en las relaciones suelo-agua, y hacen que la tensión con que el agua está retenida varíe de acuerdo con la distancia entre las moléculas de esta y los sólidos del suelo, es decir, que a mayor distancia existirá menor fuerza de retención del agua (Pastor, 1990).

Por otra parte, la gran hidrofilia de los coloides húmicos, hace aumentar la capacidad del suelo para retener agua, esta propiedad tiene un doble efecto práctico, pues permite almacenar más agua durante las estaciones húmedas, y reducir en períodos cálidos las pérdidas por evaporación, con el consiguiente interés para el balance hídrico del suelo (Terrón, 1988; citado por Labrador, 1996).

## **2.8 Efecto químico de la materia orgánica sobre el suelo**

Los efectos de la materia orgánica humificada sobre las propiedades químicas del suelo se manifiestan entre otros, sobre los siguientes parámetros:

### **2.8.1 Poder amortiguador o tampón**

Según Arzola *et al.*, (1981), el poder amortiguador del suelo consiste en la capacidad de éste para poner resistencia a los cambios de pH. Este poder amortiguador es tanto mayor cuanto mayor sea la capacidad de cambio catiónica del suelo, dependiendo de la clase y cantidad de intercambiadores.

### **2.8.2. Capacidad de intercambio catiónico**

Se define capacidad de intercambio catiónico a la máxima cantidad de cationes que los coloides del suelo pueden intercambiar con la disolución del suelo, esta capacidad depende de la cantidad y tipo de coloide existente en el medio; a su vez este fenómeno es de vital importancia para la nutrición de las plantas (Cairo, 1980).

Si los demás factores permanecen iguales, existe una estrecha correlación entre la capacidad de intercambio catiónico de los suelos y su productividad. Los estudios han indicado que no es la cantidad de nutrientes en el suelo, en un momento dado, lo que indica su productividad, sino la capacidad del suelo para

renovar las existencias una vez que han sido utilizados los nutrientes en solución (Arzola *et al.*, 1981).

La capacidad de intercambio catiónico depende directamente de la naturaleza de su complejo absorbente, sustancias húmicas y arcillas presentes (Labrador, 1996).

Las sustancias húmicas, tienen una alta capacidad de cambio, lo cual aumenta la potencialidad para la absorción e intercambio iónico del suelo, como consecuencia el poder de retención de macroelementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio, etc. aumenta, con el considerable efecto beneficioso que esto supone para la fertilidad global de los suelos agrícolas (Labrador, 1996).

### **2.8.3. Contenido de elementos nutritivos**

El humus aporta elementos minerales tales como el nitrógeno, fósforo, potasio y oligoelementos (Guerrero, 1990). Estos nutrientes son liberados y satisfacen las necesidades de las plantas cuando las condiciones son favorables para una rápida liberación de nutrientes de la materia orgánica (Ortiz & Ortiz, 1990).

Hodgson (1963), citado por Steveson & Ardakani (1983), en Morvet *et al.*, (1983), mostró que a menudo la retención de micronutrientes está bien correlacionada con el contenido de materia orgánica. La cantidad de micronutrientes disponibles para las plantas en un momento dado es afectada no solamente por la producción y destrucción de sustancias quelatantes, si no también por la descomposición de residuos de cosechas y desperdicios orgánicos por los microorganismos que permiten la liberación de cantidades significativas de elementos traza, con lo cual se completa el ciclo de los microelementos.

## **2.9 Efecto biológico de la materia orgánica sobre el suelo**

La materia orgánica humificada tiene una acción determinante en todos los aspectos relacionados con la dinámica de la vida edáfica.

Labrador (1996), afirma que la materia orgánica estimula la actividad biológica y el desarrollo vegetal, actuando globalmente sobre los procesos fisiológicos y bioquímicos unidos al desarrollo del organismo vegetal.

### **2.9.1 Estado óxido-reductor de la materia orgánica**

Los ácidos húmicos regulan el estado óxido-reductor del medio en el que se desarrollan las plantas. De esta forma, cuando el oxígeno es insuficiente, facilitan la respiración radicular de la planta en forma de humatos. Indirectamente la materia orgánica mejora las propiedades físicas del suelo, con lo que se favorece la respiración radicular, la germinación de la semilla, y el estado subterráneo de los vegetales (Terrón, 1988; citado por Labrador, 1996).

### **2.9.2 El intercambio gaseoso**

Dos gases juegan un importante papel en los intercambios gaseosos que se producen en el medio suelo. El oxígeno, que condiciona la respiración de las raíces y de los organismos que viven en el suelo y que intervienen también en las reacciones de oxidación características de la edafogénesis y el dióxido de carbono, producto de la actividad respiratoria vegetal y microbiana, necesario entre otras cosas para que los organismos autótrofos realicen sus síntesis orgánicas (Duchaufour, 1987; citado por Labrador, 1996).

A este respecto, la forma más importante de asegurar la producción de dióxido de carbono en el suelo, es reponiendo las reservas de materia orgánica

fresca y regulando los procesos de su descomposición (Kononova, 1982; citado por Labrador, 1996).

## **2.10 Abonos orgánicos**

Se denomina abono orgánico a toda sustancia de origen animal, vegetal o mixto que se añade al suelo con el objeto de mejorar su fertilidad.

Los fertilizantes orgánicos ejercen multilateral efecto sobre las propiedades agronómicas de los suelos y en caso de su utilización correcta elevan de manera adecuada la cosecha de los cultivos agrícolas. Ante todo, sirven de fuente de nutrientes para los vegetales. Con los fertilizantes orgánicos entran en el suelo todos los elementos nutritivos (macro y micronutrientes) indispensables para las plantas (Yágodin *et al.*, 1986).

Los abonos orgánicos contienen todas las sustancias que las plantas necesitan para su normal desarrollo, pero a veces, la proporción de nutrientes no es la más adecuada, por lo que requieren correcciones mediante abonos minerales (Deffis, 1989).

### **2.10.1 Gallinaza**

La gallinaza es un abono orgánico de excelente calidad. La gallinaza se compone de las deyecciones de las aves de corral y del material usado como cama que por lo general es la cascarilla de arroz mezclada con cal que en pequeña proporción la cual se coloca en el piso.

Es un apreciado fertilizante orgánico, relativamente concentrado y de rápida acción. Lo mismo que el estiércol, contiene todos los nutrientes básicos

indispensables para las plantas, pero en mucha mayor cantidad (Yagodín *et al.*, 1986)

Este abono orgánico se diferencia de todos los demás estiércoles en el sentido de que su contenido de nutrientes es más alto, pero al igual que todos los estiércoles de granja, su composición es variable en dependencia de su ordenación, almacenamiento y de la cantidad de camas que se utilice.

Según Yagodín el contenido medio de nutrientes de la gallinaza fresca es de 1.42 por ciento de nitrógeno, 1.06 por ciento de  $P_2O_5$  y 0.47 por ciento de  $K_2O$ .

La gallinaza se puede utilizar en la mayoría de los cultivos, pero por su alto contenido de nitrógeno, es importante ajustar el empleo de fertilizantes nitrogenados para evitar los excesos. Por el contrario, el contenido de potasio es bajo, por lo que deberá ser especialmente necesario utilizar un fertilizante potásico (FAO, 1986).

### **2.10.2 Compost**

Compuesto o compost, es una mezcla de materia orgánica de origen animal o vegetal, o de ambos parcialmente desintegradas y pueden contener sustancias tales como ceniza, cal y sustancias química (Ignatieff & Pague, 1967).

La composición química del compost varía según la procedencia de los materiales empleados. Una composición aproximada en sustancias nutritivas es 0.3 por ciento de nitrógeno, 0.2 por ciento de  $P_2O_5$  y  $K_2O$ .

En los suelos tropicales y subtropicales es necesario reciclar grandes cantidades de materiales orgánicos de desechos para aumentar su productividad. Estos desechos pueden tener muchos orígenes: desechos de cosecha, malas hiervas, hojas y ramas de árboles, abonos animales, desechos humanos,

desechos de diversos procesos industriales y basura clasificada de pueblos y ciudades (Dalzell *et al.*, 1991).

El compostaje de desechos orgánicos ha sido practicado en alguna medida durante cientos de años por parte de agricultores y horticultores en muchas partes del mundo.

### **2.11. Análisis foliar**

En muchos suelos el crecimiento de las plantas o la producción de un cultivo es limitado por la falta de algún nutrimento, la cual ocasiona lo que se conoce como deficiencia de nutrimentos en la planta, o la concentración excesiva de éstos, ocasionando una toxicidad. Para poder corregir estos problemas nutricionales es esencial primero diagnosticar correctamente cual elemento se encuentra en forma deficiente o tóxica (Howeler, 1983).

### **2.12 Interpretación de los análisis foliares**

#### **2.12.1 Concentración baja**

Indica una grave escasez y una aguda reducción del rendimiento; el nivel por debajo del cual esto se produce se indica con el término concentración crítica.

#### **2.12.2 Nivel óptimo**

Concentración que corresponde a una nutrición suficiente

### **2.12.3 Alta concentración**

Enriquecimiento que puede ser debido a un elevado nivel de nutrientes en el suelo, en realidad la concentración de un elemento es el cociente entre la cantidad absorbida y la masa vegetal ya producida, si el crecimiento es restringido por otro factor limitante, la concentración será relativamente alta, a pesar de la baja absorción del elemento considerado.

### **2.12.4 Nivel crítico**

El nivel crítico de cualquier nutriente en el suelo se define como el contenido de dicho nutriente abajo del cual las probabilidades de respuestas de un cultivo dado a la aplicación de dicho nutriente en forma de fertilizante es alta Hunter (1997) citado por Quintana *et al.*, (1992). Es la concentración por debajo de la cual se producen reducciones del rendimiento, como consecuencia de la escasez de nutriente.

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del ensayo

El experimento se estableció durante la época de primera entre los meses de Junio a Octubre de 1997 en la finca experimental La Compañía localizada en el kilómetro 45 de la carretera San Marcos – Masatepe.

Tabla 1. Ubicación y ecología de la zona

Latitud Norte	11°54'30"
Longitud Oeste	86°10'50"
Altura m.s.n.m	480
Temperatura media anual (°C)	24
Precipitación media anual (mm)	1200-1500
Humedad relativa (%)	85

Fuente: INETER, 1997.

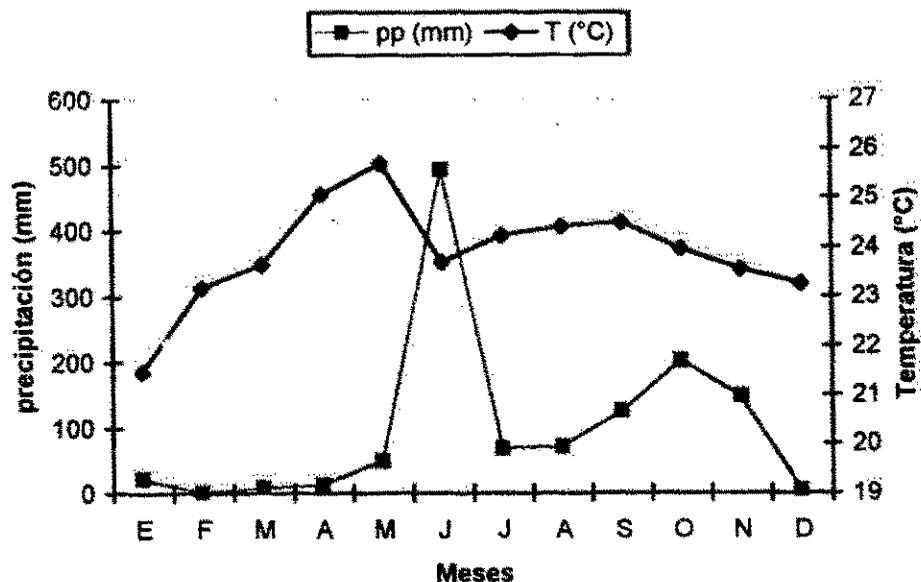


Figura 1. Precipitaciones y temperatura de la zona en estudio.

Fuente: (INETER, 1997).

De acuerdo a la clasificación ecológica basada en zonas de vida hechas por Holdridge (1987), esta localidad se encuentra comprendida en la zona de bosques húmedos tropical premontano.

### **3.2 Tipo de suelo**

El suelo de La Compañía en el cual se realizó esta investigación es de textura franco – limoso desarrollado a partir de cenizas volcánicas. Desde hace muchos años este suelo ha estado siendo cultivado con maíz y frijol principalmente (Talavera, 1989).

Estos suelos pertenecen a la serie Masatepe, son suelos moderadamente profundos a profundos, bien drenados, su pH está considerado de medianamente ácido a neutro derivado de cenizas volcánicas, se encuentran en pendientes casi planas a moderadamente escarpadas, tienen permeabilidad y capacidad de humedad disponible moderada, zona radicular moderadamente profunda y densidad aparente baja. El contenido de materia orgánica es alto y los suelos están bien provistos con bases, pero son deficientes en fósforo. El contenido de potasio asimilable es de alto a medio (Catastro, 1971). Estos suelos se clasifican taxonómicamente como:

Orden:	Andisol
Suborden:	Andepts
Gran grupo:	Durandepts
Sub grupo:	Typic Durandepts

### 3.3 Descripción del trabajo experimental

Se utilizó un arreglo unifactorial en diseño de Bloques Completos al Azar (B.C.A.), con diez tratamientos y cuatro repeticiones, como se observa en la Tabla 3.

La dimensión total del ensayo, como aparece en la Tabla 2, fue de 2066.64 m<sup>2</sup> (87.20m \* 23.70m). Dentro de esta superficie se ubicaron cuatro bloques, en cada bloque se agruparon diez tratamientos dispuestos al azar, cada bloque contó con 4.8 metros de ancho por 87.20 metros de largo.

**Tabla 2. Dimensiones del ensayo**

<b>Componentes</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>
Unidad experimental	8.00	4.80	38.40
Parcela útil	4.80	4.00	19.20
Bloque	87.20	4.80	418.56
Area total	87.20	23.70	2066.64

La distancia entre los bloques fue de 1.5 metros y entre parcelas o unidades experimentales de 0.80 metros.

#### 3.3.1 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos estudiados consistieron en tres niveles de aplicación de abono orgánico gallinaza procedente de la granja avícola La Esperanza ubicada en el mismo sector de la finca experimental La Compañía y es originada por la producción de pollos de engorde y tres niveles de aplicación de compost proveniente del centro de acopio municipal de recolección de basura del departamento de Masaya. Este último pasa por un proceso de selección manual en el que separan los restos vegetales que en un tiempo de tres meses son degradados. El resto de los tratamientos consistieron en tres niveles de fertilizante industrial de fórmula 12-30-10, y un testigo absoluto que no recibió aplicación alguna.

**Tabla 3. Descripción de los diez tratamientos en el diseño de bloque completamente al azar**

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>FERTILIZANTE</b>	<b>DOSIS</b>
1	Gallinaza	5 tm/ha
2	Gallinaza	10 tm/ha
3	Gallinaza	15 tm/ha
4	Compost	5 tm/ha
5	Compost	10 tm/ha
6	Compost	15 tm/ha
7	Químico	1 qq/ha
8	Químico	2 qq/ha
9	Químico	3 qq/ha
10	Testigo	sin aplicación

### **3.4 Manejo Agronómico**

Las labores de manejo se efectuaron de igual manera para todas las unidades experimentales.

#### **3.4.1 Preparación del suelo**

Se inició con la limpia del terreno, un pase de arado, dos pases de grada para disgregar la estructura del suelo. El surcado se realizó utilizando cultivadora con un distanciamiento de 0.80 metros. Estas labores se realizaron entre el 14 y 17 de junio de 1997.

#### **3.4.2 Siembra**

Se realizó el 17 de junio de 1997, utilizando semilla mejorada variedad NB-6 que corresponde a una variedad intermedia de 110 días, recomendada para la siembra de primera, postrerón y postrera, por su alto potencial de rendimiento y su tolerancia al achaparramiento (INTA, 1995). Esta labor se realizó manual con dos semillas por golpe con una distancia de 20 cm entre planta y 80 cm entre surco para una densidad poblacional de 86,000 plantas por hectáreas.

### 3.4.3 Aplicación de fertilizantes

La fertilización se realizó al momento de la siembra, la aplicación de gallinaza se hizo al boleó y la aplicación de compost por surco, lo mismo que el fertilizante químico. Para este experimento se utilizó fertilizante completo de la fórmula 12-30-10. Los fertilizantes orgánicos fueron aplicados en dosis de 5, 10 y 15 tm/ha y el fertilizante químico en dosis de 1, 2 y 3 qq/ha.

A inicio de junio antes de establecer el ensayo se realizó un análisis químico para los abonos orgánicos en estudio, los cuales fueron analizados por el laboratorio de suelos y agua de la U.N.A. Los resultados se muestran en la siguiente Tabla.

**Tabla 4. Características químicas de los abonos orgánicos gallinaza y compost**

	C/N	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	
		%					ppm				
Gallinaza	8	3.23	0.30	0.18	0.20	0.05	37.5	112.5	212.5	287.5	
Compost	2	3.28	0.44	0.17	0.10	0.09	7125	475	337.5	1625	

Fuente: laboratorio de suelos y agua de la U.N.A. (1997).

### 3.4.4 Control de plagas

La incidencia de plagas fue reducida, el control fitosanitario se llevó a cabo durante las primeras dos semanas de establecido el cultivo, afectando principalmente el zompopo (*Atta sp.*) el cual se controló mediante aplicaciones de clorpirifos (Lorsban granulado) al 10 por ciento.

#### **3.4.5 Control de malezas**

Se realizó dos veces durante el ciclo del cultivo el primer control se hizo a los 30 días y el segundo a los 55 días después de la siembra, esta labor se hizo manualmente utilizando azadón.

#### **3.4.6 Aporque**

Se llevó a cabo al mismo tiempo que se hizo el primer control de malezas, a los 30 días después de la siembra.

#### **3.4.7 Doblado de maíz**

Esta práctica se hace con el objetivo de prevenir que el agua penetre en el fruto y provoque pudriciones del grano, evitándose pérdidas en la cosecha. Esta labor se efectuó a los 100 días después de la siembra, quebrando las plantas en el entrenudo inferior al fruto y fue necesaria debido a que en ese período las precipitaciones fueron intensas.

#### **3.4.8 Cosecha**

Se realizó cinco días después que el cultivo había alcanzado su madurez fisiológica, esta actividad se hizo manual al igual que el destuce y desgrane.

### 3.5 Variables evaluadas

#### 3.5.1 Análisis químico de suelo

Previo al establecimiento del ensayo, se realizó un análisis químico de suelos en el laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria, (U.N.A.), el cual se presenta en la Tabla 5.

El muestreo de suelo para este análisis se realizó en junio de 1997, antes de establecer el experimento. Se tomaron varias sub muestras por tratamiento en cada uno de los bloques, formándose una muestra compuesta para cada unidad experimental. La muestra se tomó a los 20 cm de profundidad.

**Tabla 5. Características químicas del suelo de La Compañía y su rango de clasificación**

H2O	%	ppm	meq/100 g de suelo			ppm			
pH	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
6.5	0.63	8.65	0.70	20.50	11.44	37.35	1.85	3.10	1.53
Rango	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo

Fuente : Laboratorio de Suelos y Agua, U.N.A., 1997.

La clasificación de fertilidad presentada en la Tabla 5, se basa en los diferentes niveles de nutrientes en suelos de Nicaragua propuestos por Quintana *et al.*, (1983); citado por el Laboratorio de Suelos y Agua de la U.N.A. (1997). Estos mismos rangos son utilizados en las Tablas 11 y 14, indicando las letras A, M, y B niveles considerados como alto, medio y bajo, respectivamente.

#### 3.5.2 Análisis foliar

Se tomaron diez hojas por parcela útil. Las primeras muestras se colectaron al momento de la floración siendo estas las hojas banderas. Las siguientes muestras recogidas fueron las hojas por debajo de la mazorca a la madurez fisiológica.

### **3.5.3 Variables de crecimiento y desarrollo**

#### **3.5.3.1 Altura de planta (cm)**

Para la medición de esta variable se tomó una muestra al azar de seis plantas establecidas dentro de la parcela útil, se midió desde la superficie del suelo hasta la base de la lígula superior, registrándose los datos cada diez días hasta 65 días después de la siembra.

#### **3.5.3.2 Número de hojas**

Se registraron todas las hojas completamente formada, dentro de las seis plantas ubicadas en la parcela útil. Estos datos se registraron cada 10 días.

#### **3.5.3.3 Diámetro del tallo (mm)**

Estos datos se tomaron en las seis plantas establecidas en la parcela útil a la altura del segundo entrenudo de la planta mediante el uso del vernier. Se registraron los datos con intervalos de 10 días desde los 35 hasta los 65 días después de la siembra.

#### **3.5.3.4 Altura de inserción de la mazorca (cm)**

Se tomó una muestra de diez plantas ubicadas en la parcela útil, incluyendo las seis plantas que llevaron el control de las variables antes descritas. Esta se realizó a los 66 días después de la siembra y se midió desde la superficie del suelo hasta la altura de la primera mazorca.

### **3.5.3.5 Componentes del rendimiento**

Los datos registrados de longitud de la mazorca, número de granos por hilera y número de hileras por mazorca se tomaron de diez mazorcas al azar dentro de la parcela útil.

### **3.5.3.6 Rendimiento (kg/ha)**

La producción de grano para cada una de las parcelas fue pesada y ajustadas al 14 por ciento de humedad y reflejada en kg/ha, mediante la ecuación propuesta por Gómez *et al.*, (1990) :

$$Pf (100 - Hf) = Pi (100 - Hi)$$

Donde:

**Pf:** Peso final (kg/ha)

**Hf:** % Humedad a la que se desea ajustar el rendimiento (14%)

**Pi:** Peso inicial de campo (kg/ha)

**Hi:** %de humedad inicial en el grano

## **3.6 Análisis estadísticos**

Los datos procedentes de las variables evaluadas en el estudio se analizaron por medio de procedimientos de análisis de varianza. Para cada una de las variables se realizó separación de medias a través de la prueba de rangos múltiples de DUNCAN con un 95 por ciento de confianza con el objetivo de determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados.

### 3.7 Análisis económico

Los resultados agronómicos se sometieron a una evaluación económica para evaluar la rentabilidad de los tratamientos con el fin de brindar información acerca de cual alternativa es más adecuada económicamente para el pequeño productor. Se utilizó la metodología de análisis según el CIMMYT (1988). Considerando para ello los siguientes aspectos:

- 1- Rendimiento medio (kg/ha): Es el rendimiento obtenido en la parcela experimental.
- 2- Rendimiento ajustado (kg/ha): Es el rendimiento medio reducido en un cierto porcentaje con el fin de reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y el que el agricultor podría lograr con ese tratamiento.
- 3- Beneficio bruto de campo (C\$/ha): El beneficio bruto de campo de cada tratamiento se calcula multiplicando el precio de campo por el rendimiento ajustado.
- 4- Total de los costos que varían (C\$/ha): Es la suma de todos los costos que varían para un determinado tratamiento.
- 5- Beneficio neto (C\$/ha): Se calcula restando el total de los costos que varían del beneficio bruto de campo, para cada tratamiento.
- 6- Taza de retorno marginal: Indica lo que el agricultor puede esperar ganar, en promedios, con su inversión cuando decide cambiar una práctica o conjuntos de prácticas por otra, y es igual al beneficio neto marginal dividido por el costo marginal expresada en un porcentaje.

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Altura de la planta

La altura de planta es un carácter genético influenciado por diversos factores como clima, suelo y manejo agronómico del cultivo (Somarriba, 1997).

Los análisis estadísticos realizados en diferentes etapas fenológicas del cultivo mostró que no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos evaluados, sin embargo, la prueba de DUNCAN realizada con un 95 por ciento de confianza presenta resultados más específicos.

La prueba de rangos múltiples de DUNCAN realizada a los datos recopilados 15 días después de la siembra, no presentan diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, numéricamente el tratamiento ocho cuya dosis de aplicación fue de dos quintales por hectárea de fertilizante completo, presentó mayor altura de planta respecto al resto de los tratamientos, Todos los tratamientos superaron al testigo a excepción del tratamiento dos que comprende una dosificación de 10 tm/ha de gallinaza, el cual presentó menor altura que el testigo.

En esta etapa la planta de maíz no tiene una demanda importante de elementos nutritivos provenientes del suelo, sin embargo, las plántulas hacen uso de pequeñas cantidades de nutrientes que se encuentran disponibles en el suelo y en este caso el fertilizante completo de fórmula 12-30-10 con dosis de dos quintales por hectárea proporcionó las cantidades requeridas por el cultivo en este periodo.

La prueba de rangos múltiples de DUNCAN realizada a los 25 y 35 días después de la siembra clasifica a los tratamientos en tres categorías estadísticas, los tratamientos ocho y nueve los cuales corresponden a 2 y 3 qq/ha de fertilizante completo de la fórmula 12-30-10 fueron los tratamientos que alcanzaron mayor altura superando notablemente al resto de los tratamientos. El testigo presentó un comportamiento inferior al compararlo con todos los resultados.

Arzola *et al.*, (1981), plantea que los fertilizantes completos tienen la propiedad de ser higroscópicos, es decir, absorben agua del medio que los rodea produciéndose reacciones de hidrólisis y liberación de sales que pasan directamente a la solución del suelo para ser aprovechados por los cultivos.

En este período la planta de maíz posee un sistema radical bien formado demandando una cantidad de elementos nutritivos que solamente pueden ser suplidos por el fertilizante químico el cual está disponible en la solución del suelo, mientras que los abonos orgánicos necesitan mayor tiempo para liberar nutrientes por medio de la mineralización.

La altura de planta según DUNCAN a los 45 y 55 días después de la siembra, se clasifica en tres categorías estadísticas obteniéndose los mejores resultados con el tratamiento tres, que corresponde al abono orgánico gallinaza con dosis de 15 tm/ha. En esta etapa el tratamiento testigo fue superado notablemente por el resto de los tratamientos (ver Tabla 6).

Thienhaus (1988), determinó que los abonos maduros obtenidos por medio de compostaje poseen un mayor efecto estructural sobre el suelo y pueden lograr una acumulación de las huminas porque su mineralización es más lenta, a la vez, esto significa que los nutrientes de un abono de menor tiempo de compostaje sufren en el campo una mineralización más rápida proporcionando a las plantas elementos nutritivos a corto plazo.

El abono orgánico gallinaza presentó una relación carbono nitrógeno de 8:1 lo cual favorece la mineralización rápida sin asimilación de nitrógeno por parte de los microorganismos, lo cual permite una alta disponibilidad de macro y microelementos esenciales para el cultivo del maíz.

En cambio el compost posee una relación carbono-nitrógeno muy baja, por lo que la inmovilización de nitrógeno por parte de los microorganismos es casi nula y las cantidades aportadas de elementos nutritivos es baja debido a que ha sido sometido a una descomposición previa y por lo tanto es un producto estable de difícil descomposición que ejerce una mayor acción como mejorador de las propiedades físicas del suelo que como suplidor de nutrientes.

En esta etapa los contenidos de nutrientes en el suelo suministrados por el fertilizante químico decrecen como consecuencia de las pérdidas por lixiviación y por volatilización principalmente de nitrógeno.

Según datos proporcionados por The Potash Institute of North America y reportados por la FAO (1984), en esta etapa el cultivo de maíz es cuando presenta los requerimientos más altos de nutrientes por acercarse el período de floración.

La planta de maíz necesita para su crecimiento del elemento nitrógeno; elemento que participa directamente en la elongación del tallo en los cereales. Las mayores alturas registradas en las dos últimas fechas de observación están influenciadas por la cantidad de nitrógeno que la gallinaza aporta y que se observa claramente en la Tabla 4, donde los contenidos de este elemento son considerablemente altos, lo mismo que los valores de nitrógeno que presenta este suelo y que se muestran en la Tabla 5.

Por otro lado, a los 65 días después de la siembra (período en el que se podrían esperar diferencias más notables), la prueba de DUNCAN realizada

mostró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí se observan diferencia numéricas entre ellos (ver Tabla 6) siendo el testigo superado por todos, alcanzando la mayor altura el tratamiento dos que corresponde a 10 tm/ha de gallinaza.

**Tabla 6. Altura de la planta de maiz en diferentes etapas fenológicas del cultivo ( cm)**

Tratamiento	OBSERVACIONES					
	15dds	25 dds	35 dds	45 dds	55 dds	65 dds
Gallinaza 5 tm/ha	5.42 a	15.42 ab	31.96 ab	65.84 abc	144.42 ab	195.54 a
Gallinaza 10 tm/ha	4.65 a	15.25 ab	33.00 ab	70.48 bc	153.09 ab	208.75 a
Gallinaza 15 tm/ha	5.25 a	15.06 ab	32.79 ab	74.35 c	156.75 b	197.71 a
Compost 5 tm/ha	5.17 a	15.29 ab	30.77 ab	65.29 abc	141.63 ab	200.79 a
Compost 10 tm/ha	5.34 a	14.96 ab	30.62 ab	59.21 ab	133.63 ab	192.45 a
Compost 15 tm/ha	5.29 a	15.19 ab	30.54 ab	62.46 abc	128.29 a	192.29 a
Químico 1 qq/ha	5.44 a	15.00 ab	30.11 ab	63.20 abc	135.13 ab	189.09 a
Químico 2 qq/ha	5.65 a	16.00 b	34.02 b	70.83 bc	149.08 ab	191.63 a
Químico 3 qq/ha	5.27 a	16.21 b	35.46 b	71.00 bc	148.71 ab	195.58 a
Testigo	4.77 a	13.69 a	27.77 a	55.38 a	127.59 a	190.25 a
ANDEVA	NS	NS	NS	NS	NS	NS
%CV	12.65	8.87	10.70	12.82	11.47	6.69

#### 4.2 Número de hojas

El número de hoja por planta de maíz es variable, encontrándose plantas desde ocho hojas hasta al rededor de veintiuno. El número más frecuente es de doce a dieciocho hojas, con un promedio de catorce. Este número de hoja obviamente depende del número de nudos del tallo, ya que de cada nudo emerge una hoja (Robles, 1990).

Una vez efectuado el análisis de varianza para el número de hojas a los 15 días después de la siembra, se encontró que no existe diferencia significativa entre los tratamientos en estudio por lo que DUNCAN establece una sola categoría estadística.

A los 25 días después de la siembra, la aplicación de 2 qq/ha de fertilizante químico 12-30-10 se comportó de manera superior a los demás tratamientos obteniéndose tres categorías estadísticas siendo el testigo superado por todos los tratamientos.

La tercera observación efectuada 35 días después de la siembra no presentó diferencias significativas, pero es notorio que el tratamiento tres con aplicación de 15 tm/ha de abono orgánico gallinaza, cómo se observa en la Tabla 7, obtuvo los mejores resultados. Es importante mencionar que el testigo supera numéricamente al tratamiento siete que corresponde a 1 qq/ha de fertilizante completo.

A los 45 días después de la siembra DUNCAN establece diferencias reales entre los tratamientos, ubicando en una primer categoría estadística a la aplicación de tres qq/ha de fertilizante completo 12-30-10. El testigo es ubicado en una tercer y última categoría estadística al ser superado por todos los tratamientos

El análisis de varianza a los 55 y 65 días después de la siembra indica que no existe diferencia significativa en cuanto al número de hojas por plantas por el efecto de los diferentes tratamientos, aunque numéricamente si se aprecian diferencias.

A los 55 días el tratamiento nueve presentó el mayor número de hojas el cual corresponde a una aplicación de 3 qq/ha de fertilizante completo de fórmula 12-30-10, el testigo fue superado por todos los tratamientos a excepción del tratamiento seis que representa una aplicación de 15 tm/ha de compost.

A los sesenta y cinco días después de la siembra el mayor número de hojas se presentó en el tratamiento seis que corresponde a 15 tm/ha de compost. El testigo fue superado por el resto de los tratamientos.

**Tabla 7. Número de hojas en el cultivo de maíz en diferentes etapas fenológicas**

Tratamiento	OBSERVACIONES					
	15 dds	25 dds	35 dds	45 dds	55 dds	65 dds
Gallinaza 5 tm/ha	5.75 a	8.67 ab	10.75 a	13.50 ab	16.88 a	17.54 a
Gallinaza 10 tm/ha	5.46 a	8.54 ab	10.88 a	13.92 ab	16.88 a	17.25 a
Gallinaza 15 tm/ha	5.46 a	8.59 ab	11.21 a	13.84 ab	16.83 a	17.00 a
Compost 5 tm/ha	5.67 a	8.50 ab	10.83 a	13.88 ab	16.92 a	17.42 a
Compost 10 tm/ha	5.75 a	8.50 ab	10.79 a	13.67 ab	16.58 a	17.13 a
Compost 15 tm/ha	5.38 a	8.29 ab	10.63 a	13.25 ab	16.17 a	17.58 a
Químico 1 qq/ha	5.75 a	8.29 ab	10.29 a	13.17 ab	16.34 a	17.25 a
Químico 2 qq/ha	5.79 a	8.92 b	10.79 a	13.63 ab	16.42 a	17.00 a
Químico 3 qq/ha	5.83 a	8.58 ab	11.08 a	14.17 b	17.00 a	17.46 a
Testigo	5.46 a	8.07 a	10.62 a	12.88 a	16.17 a	16.88 a
ANDEVA	NS	NS	NS	NS	NS	NS
%CV	6.19	4.78	5.45	5.14	3.53	2.97

#### 4.3 Diámetro del tallo

De acuerdo a lo expresado por Zaharan y Garay (1990), el diámetro del tallo depende de la variedad y de las condiciones ambientales y nutricionales del suelo, la resistencia al acame depende en gran medida del diámetro del tallo.

Las altas densidades de siembra y la competencia por luz con las malezas provocan una elongación de los tallos, entrenudos más largos, plantas más altas y reducción del grosor de los tallos favoreciendo el acame de las plantas. Los tallos delgados es un síntoma de raquitismo por deficiencia nutricional del vegetal (Alvarado y Centeno, 1994).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza con relación al diámetro del tallo, no se presentan diferencias significativas entre los distintos tratamientos en diferentes etapas fenológicas, los mismos resultados fueron encontrados con DUNCAN a los 35, 45 y 65 días después de la siembra, únicamente se presentan diferencias numéricas entre los tratamientos, alcanzando

el mayor diámetro el tratamiento de 15 tm/ha de gallinaza en las tres etapas. Es de hacer notar que el testigo no fue superado por todos los tratamientos.

**Tabla 8. Diámetro del tallo en el cultivo de maíz en diferentes etapas fenológicas (mm)**

Tratamiento	OBSERVACIONES			
	35dds	45dds	55dds	65dds
Gallinaza 5 tm/ha	23.75 a	24.79 a	25.92 a	26.84 a
Gallinaza 10 tm/ha	25.29 a	27.46 a	28.79 ab	29.46 a
Gallinaza 15 tm/ha	26.54 a ✓	28.50 a ✓	29.50 b ✓	30.83 a
Compost 5 tm/ha	24.13 a	27.38 a	27.92 ab	28.46 a
Compost 10 tm/ha	23.29 a	25.63 a	26.96 ab ✗	28.17 a
Compost 15 tm/ha	24.71 a	26.59 a	27.71 ab	28.88 a
Químico 1 qq/ha ✗	23.09 a	25.54 a	26.34 a ✗	27.75 a
Químico 2 qq/ha ✗	23.59 a	24.63 a	25.75 a ✗	26.84 a
Químico 3 qq/ha ✗	26.13 a	27.79 a	28.34 ab	29.58 a
Testigo	23.59 a	26.08 a	27.58 ab	29.34 a
ANDEVA	NS	NS	NS	NS
%CV	8.85	9.77	23.07	7.17

A los 55 días después de la siembra DUNCAN establece tres categorías estadísticas ocupando el primer lugar el tratamiento de 15 tm/ha de gallinaza, el testigo superó a los tratamientos uno, cinco, siete y ocho, como se observa en la Tabla 8.

El diámetro del tallo puede verse influenciado por varios factores, entre ellos se destaca el contenido de nitrógeno en el suelo y la densidad de población usada (Cuadra, 1988).

#### **4.4 Altura de inserción de la mazorca**

Robles (1990), plantea que esta variable, es un elemento que contribuye notablemente al rendimiento del grano en el maíz ya que las hojas superiores y las

del medio de la planta son las principales suplidoras de carbohidratos a la mazorca y al grano. Mientras menor sea la altura de inserción de la mazorca, ésta tendrá más hojas que la provean de nutrientes y por consiguiente se traduce en un mayor rendimiento del grano.

El análisis estadístico según DUNCAN, de la altura de inserción de la mazorca tomada a los 66 días después de la siembra, mostró diferencias significativas entre los distintos tratamientos. Las plantas bajo el tratamiento con 10 tm/ha de gallinaza, alcanzaron mayor altura de inserción de la mazorca al compararlos con el resto de tratamientos.

Es notable que todos los niveles de aplicación de los abonos orgánicos y del fertilizante químico superaron al testigo, a excepción de la aplicación de 15 tm/ha de compost que se ubica estadísticamente igual con este tratamiento aunque no numéricamente (ver Tabla 9).

#### **4.5 Longitud de la mazorca**

El tamaño de la mazorca es uno de los componentes de mayor importancia en el rendimiento del maíz. Es una variable de mucha importancia, debido a que tiene relación directa en la obtención de máximos rendimientos, así a mayor longitud de mazorca, mayor número de granos por hilera y por consiguiente mayores rendimientos (Centeno & Castro, 1993). A medida que incrementa la fertilización la longitud de mazorca aumenta (Berger, 1985).

En los resultados del ANDEVA no se encontró diferencias significativas en la longitud de la mazorca para los diferentes tratamientos, sin embargo, con la prueba de DUNCAN se aprecia una tendencia en el aumento de la longitud de la mazorca bajo la aplicación de abonos orgánicos, producto de lo cual la dosis de gallinaza de 15 tm/ha produjo mazorcas de mayor longitud, seguido por los

tratamientos con aplicaciones de 5 tm/ha de gallinaza y 10 tm/ha de compost. En esta variable el testigo superó a los tratamientos 8 y 6 que corresponden a aplicaciones de 2 qq/ha de fertilizante químico y 15 tm/ha de compost, respectivamente.

Se sabe que altos niveles de nitrógeno tienen una influencia positiva sobre los componentes del rendimiento entre ellos la longitud de mazorca (Cuadra, 1988). La longitud de mazorca está influenciada por factores edáficos, ambientales y nutricionales. La máxima longitud de mazorca depende de la humedad del suelo, nitrógeno y radiación solar (Adetiloye, *et al.*, 1984).

#### **4.6 Número de granos por hilera**

El rendimiento está en dependencia de la calidad, cantidad y tamaño de los granos, sobre todo cuando está fuertemente influenciado por el suministro de Nitrógeno (Lencoff & Loomis, 1985; citado por Rodríguez 1997). El número de granos está determinado por la longitud y el número de hileras por mazorca (Jugenheimer, 1981).

Con respecto al número de granos por hilera, según DUNCAN se apreciaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, situando en una misma categoría estadística a los tratamientos 1 y 3, que corresponden a dosis de 5 y 15 tm/ha de gallinaza. En este caso el testigo superó a las aplicaciones de abonos orgánicos con dosis de 10 tm/ha de gallinaza y 15 tm/ha de compost.

INPOFOS (s. f.), afirma que el rendimiento total puede ser influenciado en muchas formas por la nutrición de potasio. En cultivos de grano se puede mejorar el número de mazorcas llenas por unidad de área, así como el número de granos por mazorca y peso de grano.

#### 4.7 Número de hileras por mazorca

Esta variable depende de la longitud, diámetro de la mazorca, y de la variedad. En la evaluación de esta variable, el tratamiento 1, con 5 tm/ha de gallinaza, refleja un mayor efecto sobre el número de hileras por mazorca. Sin embargo, podemos apreciar con la prueba de DUNCAN que el testigo es inferior a todos los tratamientos (ver Tabla 9) excepto por la aplicación de 2 qq/ha de fertilizante químico de fórmula 12-30-10, correspondiente al tratamiento 8.

#### 4.8 Rendimiento en kg/ha

En el año 1997, la entrada tardía de las lluvias, como efecto del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), que agravó el nivel de vida de los campesinos más pobres de los departamentos de Chinandega, León, Matagalpa, Río San Juan y Región Autónoma del Atlántico Sur, incidió en la reducción de áreas cosechadas de maíz en el ciclo 1997/1998 si se compara con el ciclo agrícola 1996/1997 como se indica en la Tabla 10.

**Tabla 9. Efecto de los diferentes tratamientos sobre las variables del rendimiento y la altura de inserción de la mazorca.**

	Alt. Ins./ Mazorca	Longitud/ Mazorca	Granos/ Hilera	Hileras/ Mazorca	Rendimiento
Tratamiento	cm	cm			kg/ha
Gallinaza-5 tm/ha	88.75 ab	14.35 bc	33.39 b	14.83 b	4409.26 b
Gallinaza-10 tm/ha	93.90 b	13.46 abc	30.39 ab	14.21 ab	4447.20 b
Gallinaza-15 tm/ha	88.65 ab	14.75 c	32.90 b	14.33 ab	4461.91 b
Compost-5 tm/ha	86.88 ab	13.45 abc	32.58 ab	14.28 ab	4178.91 ab
Compost-10 tm/ha	84.93 ab	14.24 bc	31.55 ab	14.45 ab	4199.37 ab
Compost-15 tm/ha	82.65 a	12.30 a	28.23 a	14.03 ab	3333.98 ab
Químico-1 qq/ha	89.50 ab	13.61 abc	31.33 ab	14.53 ab	4370.99 b
Químico-2 qq/ha	87.23 ab	12.91 ab	31.40 ab	13.68 a	3271.27 ab
Químico-3 qq/ha	85.90 ab	13.39 abc	31.20 ab	14.28 ab	4129.97 ab
Testigo	82.13 a	13.06 abc	30.60 ab	13.90 ab	3052.74 a
ANDEVA	NS	NS	NS	NS	NS
%CV	6.81	8.06	8.42	4.36	18.85

**Tabla 10. Actividad agrícola. Comparación de los resultados de los ciclos 1996/97 y 1997/98 para el cultivo de maíz**

Cultivo	Actividad Agrícola Ciclo 1996/1997			Actividad agrícola Ciclo 1997/1998		
	Area (miles/Mz)	Producción (miles/qq)	Rend. (qq/Mz)	Area (miles/Mz)	Producción (miles/qq)	Rend. (qq/Mz)
Maíz	398.5	7,103.3	17.83	364.7	6,436.2	17.65

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, (1998).

En orden descendente sin diferir estadísticamente entre ellos, los mejores rendimientos del grano se obtuvieron bajo la dosificación de 15 tm/ha de gallinaza seguido por la aplicación de 10 y 5 tm/ha del mismo abono y 1 qq/ha de fertilizante mineral de fórmula 12-30-10, siendo este último, el tratamiento químico que presentó el mejor comportamiento.

El resto de los tratamientos, o sea, las distintas dosis de compost y fertilizante mineral, se comportan estadísticamente iguales aunque no numéricamente, exceptuando al tratamiento testigo.

El maíz al igual que otras plantas no puede producir altos rendimientos a menos que exista una disponibilidad de nutrientes en cantidades suficientes en el suelo (Somarriba, 1997).

La gallinaza es un fertilizante relativamente concentrado y de rápida acción, lo mismo que el estiércol contiene todos los nutrientes básicos indispensables para la planta, pero en mucha mayor cantidad (Yagodin *et al.*, 1986).

El período transcurrido desde la aplicación de gallinaza hasta la floración del cultivo, es tiempo suficiente para que se produzca una mineralización y por consiguiente una aportación de nutrimento que puede coincidir con el período de mayor demanda de nutrientes, lo cual permite alcanzar mayores rendimientos.

#### **4.9 Análisis químico de suelo**

El análisis del suelo es fundamental para racionalizar el abonado ya que al conocer la disponibilidad de elementos nutritivos rápidamente asimilables por las plantas permite abonar de una forma más ajustada a las necesidades de los cultivos (Fuente, 1994).

El propósito de un análisis de suelo es indicar el o los nutrientes limitantes para la producción, y permitir calcular las dosis de aplicación para corregir dichas limitantes (Quintana *et al.*, 1992).

La práctica de la fertilización debe ser un complemento para compensar el déficit entre las necesidades de las plantas y las condiciones de elementos nutritivos, proporcionados por las reservas del suelo. No se debe por un lado elevar las dosis por encima del nivel máximo, para evitar el desequilibrio entre los nutrientes en el suelo y por otro, que al disminuir las dosis, el rendimiento de los cultivos se reduce.

La recomendación de fertilizante es una receta general que no considera cuánto de cada nutriente el suelo puede aportar y cuanto se puede producir. En todas las regiones de Nicaragua y bajo diferentes condiciones de suelo, clima y productividad potencial se usa una cierta cantidad y una fórmula de fertilizante establecida generalmente por la tradición (Valente & Rodríguez, 1990).

#### **4.10 Contenidos de macronutrientes en el suelo de La Compañía**

##### **4.10.1 Nitrógeno**

Su alto contenido en nitrógeno total (0.63%) hace pensar que no es necesaria la aplicación de nitrógeno en estos suelo, sin embargo, en el campo se ha

demostrado que las plantas han respondidos de manera positiva a las adiciones de nitrógeno, lo cual indica deficiencias de este elemento disponibles para las plantas.

En el suelo de La Compañía, las alófanos forman complejos con la materia orgánica y la mineralización del nitrógeno es disminuida. Como consecuencia, estos suelos, pueden tener deficiencias de este nutriente a como se evidencia por la positiva respuesta del maíz a aplicaciones del nitrógeno, ya reportados por Cuadra (1988) en ensayos realizados en el suelo de La Compañía.

#### **4.10.2 Fósforo**

Los suelos de Nicaragua contienen cantidades medias y bajas de fósforo disponible. En la región IV, Valente & Rodríguez (1991) determinaron que más del 70 por ciento de los suelos contienen menos de 10 ppm de fósforo coincidiendo este valor con los obtenidos en los análisis del suelo de La Compañía y clasificados según Quintana *et al.* (1983); citado por el Laboratorio de Suelos y Agua de la UNA (1997), como bajos.

Según Talavera (1989), a pesar de las buenas cualidades de estos suelos, cuando no es fertilizado principalmente con fósforo su productividad es baja. La fertilización con fósforo, al contrario del potasio debe ser una práctica común.

Según Quintana *et al.*, (1992), un nivel crítico tentativo del elemento fósforo para suelos de Nicaragua respecto al cultivo del maíz es de 6 ppm.

#### **4.10.3 Potasio**

Los suelos de Nicaragua son en lo general ricos en potasio. Según el MAG/FAO (1990), las clases de disponibilidad de potasio para granos básicos en algunos países como Brasil y Finlandia se consideran adecuadas a valores que oscilan

entre 0.4 y 0.6 meq/100 gramos de suelo. En Nicaragua el nivel crítico de suficiencia de potasio ha sido estimado en 0.2 meq/100 gramos de suelo.

Valente y Rodríguez (1991), plantean que más del 95 por ciento de los suelos muestreados en Nicaragua contienen más de 0.2 meq/100 gramos de suelo y que el 82 por ciento contienen más de 0.5 meq/100 gramos de suelo. También indican que en la región IV, lugar donde se llevó a cabo este experimento, más del 90 por ciento de 160 muestras analizadas presentaron contenidos de potasio mayores que 0.5 meq/100 gramos de suelo. Por lo que concluyen que en un primer momento el potasio no debe constituirse en problema mayor para la fertilización de los cultivos.

El suelo de La Compañía presenta valores que se sitúan de acuerdo a la clasificación hecha por Fuentes, (1994) entre alto y muy alto al encontrarse valores entre 0.5 y 0.85 meq/100 gramos de suelo lo que indica que no deberían de existir problemas nutricionales de este elemento. Sin embargo, si tomamos en cuenta los valores clasificados como muy altos del elemento Magnesio y por consiguiente una relación Mg/K de 16.34 considerada por Mazanares (1990); citado por García (1998), como muy amplia, por efectos de antagonismo entre estos dos nutrientes se ocasionaría una reducción en la absorción del ion potasio.

Debido a esta conclusión, si debiese considerarse una fertilización potásica para disminuir ese rango de amplitud entre dicha relación y lograr un equilibrio entre estos dos elementos.

#### **4.10.4 Calcio y Magnesio**

Estos nutrientes generalmente se encuentran presentes en cantidades consideradas como altas en los suelos de origen volcánico del pacífico de Nicaragua. El contenido de estos nutrientes decrece a medida que se avanza

hacia el interior central del país y son muy bajos en los suelos aluviales de la llanura del Atlántico con altas precipitaciones (Quintana *et al.*, 1992).

Más del 90 por ciento de los suelos contienen más de 5.0 meq Ca/100 gramos de suelo y un 59%, 74% y 88% de los suelos de las regiones I, II y IV, respectivamente, contienen más de 10 meq Ca/100 gramos de suelo. Los valores más bajos corresponden a los suelos arenosos; los suelos arcillosos contienen más de 20 y hasta 30 meq Ca/100 gramos de suelo.

De acuerdo con los niveles críticos definidos en Brasil y Costa Rica que es de 4.0 meq/100 gramos de suelo, los contenidos de calcio en los suelos de Nicaragua son altos y no constituyen problema para la producción agrícola. Casi el 100 por ciento de las muestras de suelos colectadas en las tres regiones contienen más que 1 meq Mg/100 gramos de suelo. Además el 62%, el 78% y el 96% de las muestras provenientes de las regiones I, II y IV, respectivamente, contienen más que 2 meq Mg/100 gramos de suelo.

Se puede considerar, por lo tanto, que los suelos de Nicaragua contienen cantidades adecuadas de magnesio, de acuerdo con los niveles críticos definidos para este nutriente en Brasil (0.8 meq/100 gramos de suelo). La relación Ca/Mg es importante en cuanto a la disponibilidad de estos nutrientes se refiere. Si hay mucho calcio en proporción a la cantidad de magnesio, las plantas sufrirán por deficiencia de este último.

Es importante señalar que en la mayoría de los suelos muestreados en Nicaragua, la relación Ca/Mg varía entre 2 y 5 que es el rango óptimo para los principales cultivos agrícolas. En algunos suelos de Nicaragua la relación Ca/Mg es más amplia pudiendo llegar a 9 ó 10. En estos suelos podrá ocurrir deficiencia de magnesio, principalmente, si se aplica calcio o si los suelos contienen mucho potasio y se fertilizan con fertilizantes potásicos. En estos mismos suelos la relación Mg/K es menor que 3, considerado como un nivel mínimo adecuado. En

algunos suelos se ha detectado que la relación Mg/K es menor que 1, lo que significa que hay más potasio disponible que magnesio. En suelos con contenidos de potasio disponible altos y relación Mg/K menor que 3 no se debe fertilizar con potasio para evitar deficiencias de magnesio. Si el potasio disponible es bajo y se requiere aplicar fertilizante potásico, se debe tener el cuidado de fertilizar con magnesio, si la relación Mg/K es mucho menor que 3.

**Tabla 11. Análisis químico de macroelementos por cada unidad experimental y sus rangos de clasificación**

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
	%	ppm	meq/100 g de suelo		
Trat-1	A 0.65	B 8.00	A 0.75	A 20.38	A 10.83
Trat-2	A 0.61	B 7.50	A 0.69	A 19.00	A 10.62
Trat-3	A 0.63	B 10.25	A 0.60	A 20.70	A 11.25
Trat-4	A 0.61	B 9.00	A 0.68	A 21.68	A 11.55
Trat-5	A 0.59	B 6.00	A 0.60	A 20.75	A 11.45
Trat-6	A 0.62	B 10.25	A 0.68	A 20.20	A 13.30
Trat-7	A 0.69	M 12.75	A 0.85	A 21.80	A 12.75
Trat-8	A 0.61	B 6.50	A 0.70	A 19.38	A 11.00
Trat-9	A 0.65	B 9.25	A 0.84	A 21.70	A 12.48
Trat-0	A 0.63	B 7.00	A 0.66	A 19.23	A 11.15

#### 4.11 Microelementos en los suelos de La Compañía

En general los micronutrientes no se han utilizado corrientemente en combinación con fertilizantes comunes, y el fertilizar suelos únicamente con micronutrientes es probable que produzca desequilibrio entre los grupos de nutrientes utilizados y también entre unos nutrientes y otros. Además, los esfuerzos por obtener mejores rendimientos con sistemas de cultivos intensivos y a base del empleo de variedades de alto rendimiento, las pérdidas de micronutrientes a causa de la lixiviación, el empleo de cal, la proporción cada vez menor de estiércol natural que se usa en comparación con el volumen de fertilizantes químicos, el grado de pureza cada vez más alto de estos últimos y algunos otros factores contribuyen a acelerar el agotamiento de las existencias de micronutrientes disponibles en el

suelo (Katyal & Randhawa, 1986). Para las condiciones reales de Nicaragua, probablemente no existe información acerca de los valores críticos de micronutrientes tanto para suelos como para los diferentes cultivos. En la Tabla siguiente se presenta una combinación de los niveles críticos tentativos propuestos por Honter (1977) y los rangos de niveles críticos presentados por Sánchez (1976); citados por Quintana *et al.*, (1992).

**Tabla 12. Niveles críticos tentativos del contenidos de algunos microelementos en suelos tropicales.**

Elemento	Valores críticos
Cobre	1 ppm
Manganeso	5 ppm
Zinc	3 ppm
Azufre	12 ppm
Boro	0.2 ppm

Fuente: Quintana *et al.*, (1992).

Cuando se interpreten datos de los nutrientes del suelo debe entenderse que la clasificación presentada en la Tabla 13 es estadística, basada en las frecuencias relativas de los valores de los nutrientes del suelo de la colección más grande de muestras de suelos disponibles en el mundo, la cual ha sido analizada usando igual metodología.

**Tabla 13. Clasificación de micronutrientes en cinco clases de fertilidad expresados en mg/l**

clase de fert./ elemento	muy bajo	bajo	medio	alto	muy alto
Cobre	0.7	2	6	18	
Hierro	30	75	200	500	
Manganeso	4	14	50	170	
Molibdeno	0.003	0.014	0.065	0.3	
Zinc	0.2	0.7	2.4	8	
Boro	0.15	0.35	0.8	2	

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1990.

**Tabla 14. Análisis químico de microelementos por cada unidad experimental y sus rangos de clasificación**

Tratamiento	Fe	Cu	Zn	Mn
	ppm			
Trat-1	A 38.40	A 2.00	B 2.65	B 1.25
Trat-2	A 34.68	B 1.00	M 3.48	B 2.00
Trat-3	A 34.35	M 2.00	M 3.50	B 1.50
Trat-4	A 34.98	A 4.00	M 3.73	B 1.50
Trat-5	A 39.95	A 2.25	B 2.60	B 1.25
Trat-6	A 37.48	M 1.75	M 3.65	B 1.75
Trat-7	A 29.98	B 1.20	M 3.28	B 1.50
Trat-8	A 41.85	B 1.00	B 2.60	B 1.50
Trat-9	A 33.40	B 1.50	B 3.03	B 1.50
Trat-0	A 43.43	M 1.75	B 2.53	B 1.50

Fuente: Laboratorio de suelos y agua de la UNA.

#### 4.12 Análisis de tejido vegetal

El análisis de tejido vegetal tiene la ventaja de medir el contenido total del nutrimentos y no solamente la fracción denominada disponible como sucede en los análisis de suelo.

Las alteraciones producidas por deficiencias nutritivas se pueden detectar, de un modo indirecto, conociendo el contenido de elementos nutritivos del suelo.

Aparentemente el análisis de la planta pudiera eliminar muchos inconvenientes que presenta el análisis de suelo, eligiéndose para ello la hoja por ser el órgano donde se realiza la fotosíntesis y se regula el trasiego de nutrientes; sin embargo, el análisis foliar presenta también sus inconvenientes ya que el contenido de un determinado elemento en las hojas varía mucho a lo largo del ciclo vegetativo, de tal forma que un determinado valor puede significar normalidad o deficiencia, según el período que se considere (Fuentes, 1994).

Los niveles críticos publicados en la literatura agrícola para cada cultivo son muy importantes como una guía para interpretar los datos de los análisis foliares obtenidos. Pero estos datos solamente deben utilizarse como una guía, porque los contenidos de nutrimento varían con las variedades, con el estado del tiempo, y con el suelo (Howeler, 1983).

#### **4.13 Hoja bandera**

La hoja bandera es la más alta, las hojas más bajas de la planta mueren primero debido a la sombra, la sequía, las enfermedades, por deficiencia de nutrientes o por madurez normal. La hoja de bandera es la última que permanece verde y responde cerca del 80 por ciento del llenado del grano (Urbina, 1983; citado por Tapia y García, 1983).

#### **4.14 Concentración de elementos nutritivos en el tejido foliar**

Todas las plantas necesitan los mismos elementos minerales para completar su ciclo de vida, pero las cantidades requeridas de cada uno de esos elementos y la proporción que deben guardar entre sí son diferentes de unas especies a otras (García & García, 1982).

#### **4.15 Contenido de macroelementos en hoja de bandera**

##### **4.15.1 Concentración de nitrógeno**

El maíz es una planta muy sensible a la acción de los fertilizantes, tanto por aumento de producción como por calidad del grano, pues de él depende el contenido de proteínas de este. Cuando la planta padece hambre de nitrógeno disminuye el vigor, las hojas son pequeñas, las puntas de las hojas toman color

amarillo, que poco a poco se va extendiendo a lo largo de la nervadura central dando lugar a una especie de dibujo en forma de V.

El análisis de varianza realizado a las diferentes concentraciones de nitrógeno en las hojas banderas no muestran diferencias estadísticas, sin embargo, se observa que el mayor contenido de este elemento, con 4.33 por ciento se localiza en el tratamiento 7, que corresponde a una dosificación de 1 qq/ha de fertilizante mineral 12-30-10, y una concentración inferior al resto de observaciones en el testigo absoluto con 2.29 por ciento de nitrógeno total como se muestra en la Tabla 15.

Según Chapman (1973), los valores de nitrógeno se sitúan comúnmente entre 0.2 y 4.0 por ciento sobre la base de la materia seca, por lo que los contenidos encontrados en estos análisis están considerados como normales.

La absorción de nitrógeno tiene lugar, especialmente, en las cinco semanas que transcurren desde diez días antes de la floración hasta veinticinco o treinta días después de ella. Durante estas cinco semanas la planta extrae el 75 por ciento de sus necesidades totales (Guerrero, 1990).

Entre los órganos vegetativos los más ricos en nitrógeno son las hojas, sobre todo las jóvenes, mientras que su contenido es menor en los tallos y raíces (Yagodin, 1986).

#### **4.15.2 Concentración de fósforo**

El principal compuesto energético de todo ser vivo es a base de fósforo. El fósforo puede existir en el suelo en muchas formas, de las cuales la disponible para la planta se denomina ortofosfato ( $H_2PO_4^-$ ). Sin embargo, la tendencia de la mayoría de los suelos es convertir el fósforo disponible a otras formas menos aprovechables por las plantas.

El análisis de tejidos (hojas) es útil para determinar si las plantas obtienen suficiente cantidad de fósforo aplicado. Los tejidos de las hojas contienen generalmente entre 0.3 y 0.4 por ciento de fósforo (3000 a 4000 ppm) (Griffith, 1986).

En los cereales el fosfato se concentra en los granos al momento de la cosecha. El contenido promedio del tejido vegetal oscila entre 0.1 y 1.4 por ciento de fósforo, lo que representa concentraciones 100 a 1000 veces más altas que la que se encuentra disponible en la solución del suelo (Salmerón & García, 1994).

Según Chapman (1973), el contenido total de fósforo en el material de planta va comúnmente de 0.03 a 0.30 por ciento, mientras que Griffith (1986) establece un nivel promedio de 0.33 por ciento y un nivel crítico de 0.20 por ciento para las concentraciones de este elemento en hojas de maíz al momento de formación de panoja.

Estos resultados nos permiten afirmar de acuerdo a los datos obtenidos en el experimento que para esta variable evaluada, y que según el análisis de varianza el cual, no establece diferencia significativa, los contenidos de fósforo en los tejidos de hojas banderas tomados en el período de formación de la panoja están considerados por encima del nivel crítico propuesto por Griffith (1986), exceptuando a los resultados obtenidos en los tratamientos 1, correspondiente a 5 tm/ha de gallinaza y los tratamientos 4, y 5, que representan aplicaciones de 5 y 10 tm/ha del abono orgánico compost, respectivamente, que presentan contenidos inferiores al nivel crítico antes propuesto.

Aunque no se presentan diferencia significativa entre los tratamientos, numéricamente las mayores concentraciones y muy cercanas al nivel promedio (0.33 %), se observan en los tratamientos bajo aplicaciones de 10 y 15 tm/ha de gallinazas.

Contrario a lo que ocurre en el suelo, el fosfato presenta gran movilidad en el interior de planta, es fuertemente distribuido a los órganos aéreos y se concentran en los frutos y semillas.

En los cereales el fosfato se concentra en los granos al momento de la cosecha. El contenido promedio del tejido vegetal según Salmerón & García (1994), oscila entre 0.1 y 1.4 por ciento de fósforo, ubicándose los valores obtenidos en el estudio dentro de estos niveles.

#### **4.15.3 Concentración de Potasio, Calcio y Magnesio**

El maíz necesita grandes cantidades de potasio, esencialmente para su crecimiento vigoroso, aunque nunca forma parte de las proteínas ni de los compuesto orgánicos. Puesto que el potasio circula libremente dentro de la planta por ser un elemento muy móvil, los síntomas de deficiencia son más visibles en las hojas viejas.

El calcio y el magnesio son absorbidos de la solución del suelo como cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  principalmente, aunque el magnesio puede ser absorbido a través del intercambio de contacto, lo mismo que el calcio pero en menor grado.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 15 y según, el análisis de varianza para los contenidos de potasio, calcio y magnesio se observa que no existe diferencia significativa en ninguna de estas variables por lo que podemos concluir que la cantidad de elementos presentes en la hojas se comportan de manera muy similar para los diferentes tratamientos.

**Tabla 15. Concentración de macronutrientes en hoja bandera**

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
Tratamientos	%				
Gallinaza 5 Tm/ha	3.58 ab	0.15 a	0.32 a	0.06 a	0.02 a
Gallinaza 10 Tm/ha	3.76 ab	0.30 a	0.32 a	0.05 a	0.02 a
Gallinaza 15 Tm/ha	3.74 ab	0.32 a	0.32 a	0.05 a	0.02 a
Compost 5 Tm/ha	3.47 ab	0.17 a	0.34 a	0.04 a	0.02 a
Compost 10 Tm/ha	2.87 ab	0.19 a	0.35 a	0.05 a	0.02 a
Compost 15 Tm/ha	3.26 ab	0.24 a	0.32 a	0.04 a	0.02 a
Químico 1 qq/ha	4.33 b	0.23 a	0.34 a	0.05 a	0.02 a
Químico 2 qq/ha	3.48 ab	0.28 a	0.31 a	0.04 a	0.02 a
Químico 3 qq/ha	3.61 ab	0.24 a	0.32 a	0.05 a	0.02 a
Testigo	2.29 a	0.22 a	0.31 a	0.04 a	0.02 a
ANDEVA	NS	NS	NS	NS	NS
%CV	35.0058	31.0643	13.6485	32.1444	15.3988

El mayor contenido de potasio se ubica bajo el tratamiento cuya aplicación fue de 10 tm/ha de compost, obteniéndose un total de potasio en el tejido de 0.35 por ciento mientras que para el tratamiento cero se registra la menor concentración de potasio con un valor de 0.31 por ciento con base en la materia seca.

#### **4.16 Concentración de micronutrientes en hoja de bandera**

Dentro de los microelementos que consideraremos para este análisis están el hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), y manganeso (Mn). Aunque existen otros micronutrientes esenciales, que por el hecho de no considerarse como parte de la investigación, solo son mencionados. Estos microelementos son: boro (B), molibdeno (Mo), y el cloro (Cl).

La Tabla siguiente refleja las variaciones de las concentraciones de los distintos micronutrientes considerados como habituales en los tejidos de las plantas.

**Tabla 16. Variación de las concentraciones de los micronutrientes encontrados habitualmente en hojas maduras de plantas con suministro adecuado de estos elementos.**

<b>Elemento</b>	<b>Concentración en ppm a excepción del cloro</b>
Hierro	50 – 250
Cobre	5 – 20
Zinc	25 – 150
Manganeso	20 – 500
Molibdeno	0.2 – 1
Boro	20 – 100
Cloro	0.2 – 1.8%

Fuente: Adaptado de J. Benton Jones, Jr. en *Micronutrientes en Agricultura* (eds. J.J. Mortvedt *et al.*, 1983).

#### 4.16.1 Contenido de hierro

La concentración de hierro en una planta puede variar considerablemente. Comparado con su presencia abundante en los suelos, el contenido de hierro en las plantas es escaso, aunque en la mayoría de los casos es más elevado que el de otros elementos (Sillampää, 1972).

El efecto más característico de la deficiencia de hierro en las plantas es la falta de producción de clorofila en las hojas jóvenes, y por ello el principal síntoma visual de la deficiencia es un moteado clorótico de la hoja.

Los contenidos de hierro encontrados en el análisis foliar son considerados como muy altos si se toma en cuenta que Belger *et al.*, (s.f.), plantea, que los contenidos promedios en las hojas de maíz oscilan entre 50 y 180 ppm de hierro; por otro lado Gorsline *et al.*, (1965); citado por Jones (1983), encontraron valores de hierro de 350 ppm en plantas jóvenes de maíz, los cuales disminuyeron a menos de 100 ppm justo antes de la floración.

La prueba de rangos múltiples de DUNCAN nos indica, como se observa en la Tabla 19, que existen diferencias significativas entre los tratamientos

presentándose las mayores concentraciones de hierro en el tratamiento 8, cuya dosis de aplicación es de 2 qq/ha de fertilizante de fórmula 12-30-10, con 1303.13 ppm y los valores más bajos con 553 ppm para el testigo.

Es normal esperar un contenido alto de hierro, si se toma en cuenta que los suelos de origen volcánicos presentan alto contenidos de este elemento.

Si observamos en la Tabla 19, las mayores concentraciones se sitúan en los tratamientos que recibieron niveles de fertilizantes químicos, esto es debido al estímulo que ejerce el potasio en la absorción de hierro. También se observa que los tratamientos bajo las aplicaciones de las diferentes dosis de compost, presentan grandes cantidades de hierro y es debido posiblemente al alto contenido de este elemento en el material, como se observa en la Tabla 4.

Aunque estos valores son considerados como tóxicos, es muy probable que sus altas concentraciones se deban a que las muestras recogidas no se trataron con especial atención y se encontraran contaminadas con suelo. Los análisis de hierro probablemente no son válidos a menos que el material foliar haya sido lavado en ácido diluido o en detergente.

Cuando se tomen hojas para el análisis de micronutriente se deberán lavar a fondo, puesto que el polvo que se encuentra sobre ellas puede contener mucho más hierro que la hoja misma (Belger *et al.*, s. f.).

Jones (1970); citado por Jones (1983), notó que el hierro tiende a acumularse en cierto grado en los márgenes de las hojas de maíz.

**Tabla 17. Contenido de hierro en ppm en hojas maduras de maíz**

<b>cultivo</b>	<b>Parte de la planta</b>	<b>Deficiente</b>	<b>Normal</b>
Maíz	Hoja de maduración reciente	24 – 56	56 – 178

Fuente: Wallihan (1966), citado por Katyal & Randhawa FAO, (1986).

El maíz es considerado como un cultivo de tolerante a moderadamente sensible a la carencia de hierro.

#### **4.16.2 Contenido de Zinc**

El rol de los micronutrientes en el suelo y las plantas es un tópico de menor consideración en recomendaciones generales de fertilización. De éstos, un aspecto de especial interés es la susceptibilidad del cultivo de maíz a las deficiencias de zinc en el suelo (Cuadra, 1991).

La concentración de zinc en las plantas refleja el nivel disponible en los suelos (Katyal & Randhawa, 1986). Por lo tanto, el análisis de los tejidos de plantas puede ser de gran ayuda para demostrar o confirmar la carencia de zinc.

Barben & Olson (1968); citado por Sillanpää (1972), consideraron que una concentración de 20 a 70 ppm en la hoja de la espiga en el momento de diseminar, era un nivel adecuado de zinc para el maíz.

Los síntomas de deficiencia de zinc en el maíz incluyen la clorosis y el achaparrado de las plantas; también las hojas que brotan muestran unas bandas amarillas a descoloridas blancuzcas en la parte inferior de las hojas.

Gorsline *et al.*, (1965); citado por Jones (1983), encontraron que el zinc en hojas de maíz disminuía con la madurez. Este comportamiento se puede apreciar al comparar la Tabla 19 con la Tabla 22, en la que los contenidos encontrados en las muestras recogidas a la floración presentan mayores valores que las muestras tomadas a la madurez.

Los contenidos de zinc presentados en la Tabla 19 muestran valores muy próximo a las concentraciones antes indicadas. La prueba de rangos múltiples de DUNCAN, indica que hubo diferencia en los distintos tratamientos. Chapman

(1973), plantea que la gama habitual de zinc en las plantas varía de menos de 5 a 75 ppm en el material seco de planta.

Las concentraciones de zinc más corrientes oscilan entre 20 y 100 ppm, aunque para el caso del maíz valores hasta de 150 ppm como se muestra en la Tabla 18 son considerados como tóxicos.

**Tabla 18. Clasificación en cinco clases de fertilidad para el elemento zinc con respecto al cultivo de maíz expresado en ppm**

Cultivo	Fase de desarrollo	Deficiente	Bajo	Normal	Alto	Tóxico
Maíz	Crecimiento vegetativo	0 - 10	11 - 20	21 - 70	71 - 150	150

Fuente: Katyal & Randhawa (1986).

#### **4.16.3 Contenido de Manganeso**

El manganeso, metal pesado, constituye otro elemento menor de importancia para la nutrición de los cultivos agrícolas.

El manganeso interviene en la formación de la clorofila y en el control enzimático de los procesos de óxido- reducción (Brockman, 1992).

Según la variedad de planta, puede variar en ésta fuertemente el contenido de manganeso. Ello se debe atribuir a capacidades distintas de absorción de mineral por parte de la planta, lo cual a su vez, puede ser ocasionado por otros nutrientes o elementos menores.

El contenido normal de manganeso en las plantas varía entre 20 y 500 ppm sobre la base en peso seco (Salmerón & García, 1994).

El ANDEVA, estadísticamente no mostró diferencia significativa en los contenidos de manganeso, sin embargo, se notan valores diferentes entre los tratamientos, registrándose concentraciones que oscilan desde 18 ppm hasta 74.88 ppm.

La deficiencia de manganeso según Jones (1983), ocurre normalmente cuando la concentración en los tejidos de la planta es menor a 20 ppm. Concentraciones amplias pero no excesivas oscilan de 20 a 500 ppm de manganeso para que se sitúen en niveles óptimos en la planta por lo que el rango de este experimento se puede considerar como débilmente deficiente y normal.

**Tabla 19. Concentración de micronutrientes en hoja bandera**

Tratamiento	Fe	Zn	Mn
	ppm		
Gallinaza 5 Tm/ha	634.38 a	62.50 ab	74.88 a
Gallinaza 10 Tm/ha	786.75 ab	68.75 ab	25.00 a
Gallinaza 15 Tm/ha	834.38 ab	81.25 ab	25.00 a
Compost 5 Tm/ha	1084.38 ab	65.63 ab	25.00 a
Compost 10 Tm/ha	903.13 ab	68.76 ab	21.88 a
Compost 15 Tm/ha	1059.25 ab	78.13 ab	18.75 a
Químico 1 qq/ha	1096.75 ab	53.13 a	15.63 a
Químico 2 qq/ha	1303.13 b	90.63 b	21.88 a
Químico 3 qq/ha	1265.63 b	59.38 a	18.75 a
Testigo	553.00 a	71.88 ab	28.13 a
ANDEVA	NS	NS	NS
%CV	35.42	25.83	34.86

Gorsline *et al.*, (1965); citado por Jones (1983), encontraron que las concentraciones de manganeso en la plantas de maíz tendía a disminuir con el desarrollo y que la concentración de manganeso de las hojas varía de una hoja a otra, incrementándose los contenidos en aquellas ubicadas en niveles más elevados.

## **4.17 Concentración de elementos nutritivos en hoja por debajo de la mazorca**

### **4.17.1 Contenido de nitrógeno**

Este elemento constituye un dos por ciento aproximadamente, del peso total seco de la planta, concentrándose en los tejidos jóvenes, en donde el porcentaje puede alcanzar el 6 por ciento. A medida que avanza la edad de la planta disminuye el porcentaje de nitrógeno, a la vez que aumenta el contenido de celulosa. Las hojas suelen ser las partes de las plantas más ricas en nitrógeno disminuyendo su contenido a partir de la floración.

Los valores del elemento nitrógeno encontrados en el análisis de la hoja por debajo de la mazorca se consideran deficiente, esto lo afirmamos tomando en cuenta que Jones (1967); citado por Howeler (1983), encontró que las concentraciones por debajo de 2.45 por ciento se clasifican como deficiente al analizar las materias secas de estas hojas, y nuestros valores oscilan entre 1.04 y 1.58 por ciento, por lo tanto, se ubican dentro de esta clasificación.

Al analizar esta variable encontramos diferentes categorías estadísticas. El tratamiento tres bajo la dosis de 15 tm/ha de gallinaza, presenta un contenido de nitrógeno significativamente mayor. Se puede observar que el contenido de este elemento es similar entre los demás tratamientos, aunque, las plantas bajo el tratamiento seis con 15 tm/ha de compost, presentaron valores más bajos.

En la fase de formación de semilla, la materia orgánica contenida en las hojas se somete a una desintegración intensa. Los productos de esta degradación son principalmente aminoácidos que se trasladan a las semillas que maduran, donde de nuevo pasan a proteínas. Por esto aumenta el contenido de nitrógeno en la semilla, disminuyendo en los órganos vegetativos (Yagodin *et al.*, 1986).

#### **4.17.2 Contenido de fósforo**

Los compuestos oxidados de ácido fosfórico son, indudablemente, necesarios para todos los organismos vivos. Sin ácido fosfórico no puede existir ni una sola célula viva (Yágodin *et al.*, 1986).

En la planta, el fósforo se localiza principalmente en los órganos jóvenes, los estados iniciales de desarrollo del maíz son, por tanto, el periodo más crítico respecto a este elemento.

Los contenidos de fósforo encontrados en las hojas por debajo de la mazorca como aparecen en la Tabla 20, se consideran según Jones (1969) citado por Loué (1984), de bajos a deficientes, quien clasifica a los valores comprendidos entre 0.15 y 0.24 por ciento dentro de esta clasificación. Los contenidos que se obtuvieron de este elemento en nuestros análisis, se ubican entre 0.10 a 0.22 por ciento.

El análisis de variación del contenido de fósforo, no muestra diferencia significativa. Las muestras que presentan mayor concentración de este elemento, son las tomadas del tratamiento ocho, con una dosis de 2 qq/ha de 12-30-10 y el tratamiento cuatro con 5 tm/ha de compost, siendo el tratamiento uno que comprende una dosis de 5 tm/ha de gallinaza y el testigo (sin aplicación), las que presentaron promedios más bajos comparados con el resto de los tratamientos.

Después del agua y el nitrógeno, los dos elementos nutritivos limitantes más comunes en los trópicos son probablemente el fósforo y el azufre (Sánchez, 1981).

Sánchez (1981), indica que en la mayoría de los suelos Andepts de los trópicos, como los de la finca experimental La Compañía, son deficientes en

fósforo. Debido a su alto contenido de óxidos de aluminio, poseen una capacidad muy alta de fijación de este elemento.

#### **4.17.3 Contenido de potasio**

La repuesta del maíz a aplicaciones de potasio son reducidas debido al suficiente contenido de este elemento en la mayoría de los suelos de las áreas productoras de maíz y la buena movilidad de este nutriente en el suelo (Tapia & García, 1983).

Se ha dicho que el nitrógeno es el nutriente más importante en incrementar el rendimiento pero el potasio es el más significativo en estabilizar el rendimiento (INPOFOS, s.f. ).

Este elemento juega un papel vital en la fotosíntesis, transporte de productos de la fotosíntesis, controla la economía hídrica de la planta, la apertura y cierre de los estomas, es activador de los catalizadores de la planta (enzimas) y muchos otros procesos.

Las concentraciones de potasio oscilan entre 0.26 y 0.31 por ciento en las muestras de los diferentes tratamientos, estos valores están por debajo de los encontrados por Jones (1967); citado por Howeler (1983), quien encontró valores en los tejidos de la hoja por debajo de la mazorca de maíz a la iniciación de formación de cabellos (pistilos), considerados deficientes por debajo de 1.25 por ciento de potasio.

El ANDEVA realizado al contenido de potasio indica que no existen diferencias significativas; el tratamiento que mostró mayor contenido de potasio es el número uno que corresponde a 5 tm/ha de gallinaza siendo el tratamiento ocho con 2 qq/ha de fertilizante de fórmula 12-30-10 el que presenta un promedio más bajo comparado con el resto de los tratamientos, este valor es igual en el tratamiento cinco y en el testigo.

En términos generales, podemos decir que para las condiciones de los suelos de Nicaragua, este elemento no presenta una limitante con relación a los contenidos, pues nuestros suelos poseen altos valores de potasio (García, 1998).

#### **4.17.4 Contenido de calcio**

Hay que distinguir entre la función de calcio en el suelo y su función en la planta. Desde el punto de vista práctico, la mayor importancia es la del calcio como mejorador del suelo para mantener a un nivel adecuado, la vida microbiana, la estabilidad estructural, así como los procesos de descomposición y formación del humus.

El contenido de calcio en la planta no es, en la mayoría de los casos, tan alto como el del potasio. Las gramíneas poseen frecuentemente menos de 1 por ciento de calcio en la materia seca (Arzola *et al.*, 1981).

El análisis de varianza de los datos obtenidos en esta variable, nos indican que no existen diferencias significativas entre las distintas muestras analizadas que corresponden a cada uno de los tratamientos. Sin embargo, numéricamente el contenido más bajo con 0.03 por ciento de calcio se registra bajo el tratamiento ocho, presentando valores similares el resto de los tratamientos.

Las concentraciones de este elemento están entre 0.03 y 0.06 por ciento, pero Jones (1969); citado por Loué (1984), establece que, valores por debajo de 0.10 por ciento son considerados como deficientes lo que significa que nuestros valores están por debajo de lo normal.

Este comportamiento es posible que se deba a la alta cantidad de hierro presente en el suelo, ya que una alta concentración de este elemento dificulta la absorción de calcio.

#### 4.17.5 Contenido de magnesio

Aproximadamente el 20 por ciento del magnesio presente en la planta se encuentra en la clorofila, y buena parte del resto se localiza en sistemas enzimáticos o está asociado con el movimiento de aniones.

Al analizar los datos que se obtuvieron de las concentraciones del elemento magnesio, nos indica que no existen diferencias significativas y en todos los tratamientos, los valores se comportan de manera muy similar.

Al igual que el elemento calcio, los valores encontrados por Jones (1967); citado por Howeler (1983), demuestran que las concentraciones obtenidas en este ensayo están por debajo del nivel de deficiente siendo este menor que 0.10 por ciento de magnesio.

**Tabla 20. Concentración de macronutrientes en hoja por debajo de la mazorca**

	N	P	K	Ca	Mg
Tratamientos	%				
Gallinaza 5 tm/ha	1.42 ab	0.10 a	0.30 a	0.06 a	0.04 a
Gallinaza 10 tm/ha	1.54 ab	0.20 a	0.29 a	0.05 a	0.04 a
Gallinaza 15 tm/ha	1.58 b	0.16 a	0.28 a	0.04 a	0.04 a
Compost 5 tm/ha	1.49 ab	0.22 a	0.29 a	0.06 a	0.04 a
Compost 10 tm/ha	1.23 ab	0.14 a	0.27 a	0.06 a	0.04 a
Compost 15 tm/ha	1.04 a	0.08 a	0.28 a	0.05 a	0.04 a
Químico 1qq/ha	1.40 ab	0.16 a	0.29 a	0.06 a	0.04 a
Químico 2 qq/ha	1.31 ab	0.22 a	0.27 a	0.03 a	0.05 a
Químico 3 qq/ha	1.32 ab	0.14 a	0.29 a	0.05 a	0.05 a
Testigo	1.47 ab	0.10 a	0.27 a	0.05 a	0.05 a
ANDEVA	N.S	NS	NS	NS	NS
%CV	22.39	29.83	11.05	22.86	14.50

Es importante remarcar, que los contenidos de macroelementos tanto primarios como secundarios obtenidos a partir de los diferentes tratamientos, son clasificados en términos de concentración como deficiente. Estos contenidos bajos

son debidos, a que el muestreo de las hojas se realizó a la madurez fisiológica, periodo en el cual la fase de desarrollo vegetativo ha cesado y toda la acumulación de materia seca ocurre en el grano.

#### 4.17.6 Contenido hierro

De los micronutrientes el hierro es el que más abunda en el suelo (Katyal & Randhawa, 1986). Bowen (1981), plantea que la absorción de hierro está determinada por la cantidad de elementos disponibles y no por la cantidad existente en el suelo.

Fuentes (1994), afirma que la forma ferrosa es fácilmente asimilada por las plantas, mientras que las formas férricas son poco solubles a no ser que exista un medio ácido que las solubilice, por este motivo, ciertas raíces pueden hacer asimilables las formas férricas.

El análisis de los datos obtenidos no muestra diferencia significativa entre los distintos tratamientos, pero sí se observa que los contenidos de estos elementos son excesivos. Los valores se encuentran entre 182 y 1666 ppm, según Jones (1983); citado por Mortvedt *et al.*, (1983), determinó que la concentración de hierro en plantas jóvenes puede ser extremadamente alta 300-400 ppm y en rango de suficiencia entre 50-250 ppm.

Según Jones (1967); citado por Howeler (1983), el tratamientos dos, que corresponde a una aplicación de 10 tm/ha de gallinaza, así como el tratamiento testigo presentan niveles altos de hierro, mientras que el tratamiento bajo la aplicación de 15 tm/ha de gallinaza presenta concentraciones clasificadas dentro del rango de suficiencia. El resto de los tratamientos presentan concentraciones que son consideradas tóxicas. Esta comparación se hizo con muestras tomadas en plantas que iniciaban la formación del cabello (ver Tabla 22).

Es importante mencionar que durante el ciclo vegetativo no se presentaron síntomas visibles de toxicidad o deficiencia de hierro. Los valores elevados del hierro se deben posiblemente al origen de estos suelos. Los suelos de origen volcánicos generalmente presentan altos contenidos de hierro y aluminio disponible. Aunque otra causa posible se explica en la sección 4.16.1.

#### **4.17.7 Contenido cobre**

El cobre participa en varias funciones vitales como la síntesis de la clorofila y ciertas reacciones productoras de energía como la respiración y la fotosíntesis.

Estadísticamente no se presentan diferencias al analizar las concentraciones de cobre en cada una de las muestras analizadas de los diferentes tratamientos, sin embargo, numéricamente el tratamiento 3 que representa una aplicación de 15 tm/ha de gallinaza presenta el valor más alto. La concentración de este elemento en la planta son considerados por Jones (1983); citado por Mortvet *et al.*, (1983) como normales, siendo las concentraciones de este elemento en el tejido vegetal entre 5 y 20 ppm, situándose los valores de nuestros análisis entre 6 y 16 ppm.

Cuando las concentraciones de cobre en las plantas es menor de 4 ppm en la materia seca, lo más probable es que ocurran deficiencias. Cuando los niveles de cobre exceden 20 ppm en hojas maduras, se puede presentar casos de toxicidad aunque para el caso del cultivo del maíz valores hasta de 30 ppm son considerados normales como se muestra en la Tabla 21.

Gorsline *et al.*, (1965); citado por Jones (1983), encontraron que el cobre en plantas de maíz tendía a permanecer bastante constante en gran parte del período de crecimiento. Jones (1970); citado por Mortvet *et al.*, (1983), encontró que el cobre estaba distribuido en forma bastante homogénea en las hojas de maíz.

**Tabla 21. Contenido de cobre en el cultivo del maíz bajo tres niveles de fertilización expresados en ppm**

Planta de Cultivo	Parte de la Planta	Deficiente	Normal	Excesivo
Maíz	Hoja de la Mazorca	< 5	5 – 30	> 30

Fuente: Jones (1972); citado por Katyal & Randhawa (1986).

De acuerdo con Lucas & Knezer (1972); citado por Katyal & Randhawa (1986), el cultivo del maíz es de sensibilidad media a la carencia de cobre.

#### 4.17.8 Contenido de zinc

Este elemento es absorbido de la solución del suelo como  $Zn^{2+}$ , juega un papel importante como catalizador y como regulador del metabolismo de las plantas. Interviene en la formación de auxinas y síntesis de proteínas.

El zinc no es traslocado en la planta, de ahí que sus síntomas de deficiencias aparezcan primero en las hojas más jóvenes y otras partes de la planta en crecimiento activo (Salmerón & García 1994).

El análisis de varianza para estos datos, indican que no existe diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, pero los valores promedios más altos se registran en las parcelas con los niveles de aplicación de abonos orgánicos, obteniéndose los valores más bajos en los tratamientos cuyas aplicaciones fueron de fertilizante completo de fórmula 12-30-10.

Las concentraciones de zinc entre 21 y 70 ppm son consideradas por Jones (1967); citado por Howeler (1983), como suficiente. Debido a esta clasificación podemos ubicar en este rango de clasificación a los valores obtenidos en nuestros análisis por situarse en niveles comprendidos entre 21 y 37 ppm.

Massey & Loeffel (1967); citado por Tiffin (1983), presentaron datos para la distribución de zinc en maíz. El tallo contribuyó con la mayoría, perdiendo casi la mitad de su zinc hacia la mazorca. Las hojas debajo de la mazorca perdieron un cuarto de su zinc.

#### **4.17.9 Contenido de manganeso**

El manganeso es absorbido como ion  $Mn^{2+}$ , desempeña diversas funciones en las plantas. Es esencial para la fotosíntesis, actúa como agente catalítico en la reducción de nitratos y es constituyente de algunas enzimas respiratorias y de enzimas responsables de la síntesis de proteínas.

Los resultados obtenidos al analizar las concentraciones de manganeso, muestran que no existe diferencia significativa entre los distintos tratamientos, sin embargo, de acuerdo a la separación de medias realizadas por DUNCAN podemos agrupar tres categorías estadísticas (ver Tabla 22), presentando el mayor contenido de este elemento en las parcelas bajo el tratamiento siete, seguida por las distintas aplicaciones del fertilizante orgánico compost y ubicando en una última categoría al resto del tratamiento.

La concentración de manganeso en las plantas refleja directamente el rendimiento. En términos generales se plantea que un contenido inferior a 20 ppm indica carencia de este elemento y concentraciones mayores de 500 ppm se consideran tóxicos (Salmerón & García 1994). Por lo tanto, los contenidos presentados en la Tabla 22 son considerados como normales al situarse en un rango comprendido entre 31 y 218 ppm.

**Tabla 22. Concentración de micronutrientes en hoja por debajo de la mazorca**

	Fe	Cu	Zn	Mn
Tratamiento	ppm			
Gallinaza 5 tm/ha	405.99 a	9.36 a	34.33 a	40.58 a
Gallinaza 10tm/ha	318.18 a	6.25 a	37.45 a	37.45 a
Gallinaza 15 tm/ha	182.95 a	15.60 a	37.45 a	31.20 a
Compost 5 tm/ha	774.50 a	12.49 a	37.45 a	56.20 ab
Compost 10 tm/ha	930.80 a	12.48 a	28.09 a	87.48 ab
Compost 15 tm/ha	1249.50 a	12.48 a	31.20 a	118.70 ab
Químico 1 qq/ha	1421.43 a	12.48 a	24.97 a	218.70 b
Químico 2 qq/ha	1665.35 a	12.49 a	24.95 a	28.09 a
Químico 3 qq/ha	353.03 a	9.36 a	21.84 a	28.09 a
Testigo	324.86 a	12.49 a	28.09 a	42.70 a
ANDEVA	NS	NS	NS	NS
%CV	60.6641	34.1526	20.2938	53.2757

#### 4.18 Análisis económico

##### 4.18.1 Presupuesto parcial

Este es un método que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos y los beneficios de los tratamientos alternativos (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y trigo, 1988).

Así pues, el presupuesto parcial es una manera de calcular el total de los costos que varían y los beneficios netos de cada tratamiento de un experimento en finca. El presupuesto parcial incluye los rendimientos medios para cada tratamiento, los rendimientos ajustados y el beneficio bruto de campo, basados de acuerdo al precio de campo del cultivo. Asimismo, toma en cuenta todos los costos que varían para cada tratamiento. Las dos últimas líneas son el total de los costos que varían y los beneficios netos, como se observa en la siguiente Tabla.

**Tabla 23. Presupuesto parcial de los distintos tratamientos**

Indicadores	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
Rend. Medio kg/ha	3052.74	4409.26	4447.20	4461.91	4178.91	4199.37	3333.98	4370.99	3271.17	4129.98
Rend. Ajustado kg/ha	2747.47	3968.33	4002.48	4015.72	3761.02	3779.43	3000.58	3933.89	2944.14	3716.97
Benef. bruto de campo C\$/ha	5439.98	7857.30	7924.91	7951.12	7464.82	7483.28	5941.15	7789.10	5829.40	7359.61
Costo del fertil. C\$/ha	0.00	300.00	600.00	900.00	1000.00	2000.00	3000.00	128.00	256.00	384.00
Costo del transp. C\$/ha	0.00	150.00	150.00	300.00	200.00	400.00	400.00	35.00	60.00	85.00
Costo de aplica. C\$/ha	0.00	50.00	75.00	100.00	50.00	75.00	100.00	25.00	25.00	25.00
Total de costos que varían C\$/ha	0.00	500.00	825.00	1300.00	1250.00	2475.00	3500.00	188.00	341.00	494.00
Beneficios netos C\$/ha	5439.98	7357.30	7099.91	6651.12	6196.82	5008.28	2441.15	7601.10	5488.40	6865.61

#### 4.18.2 Análisis de dominancia

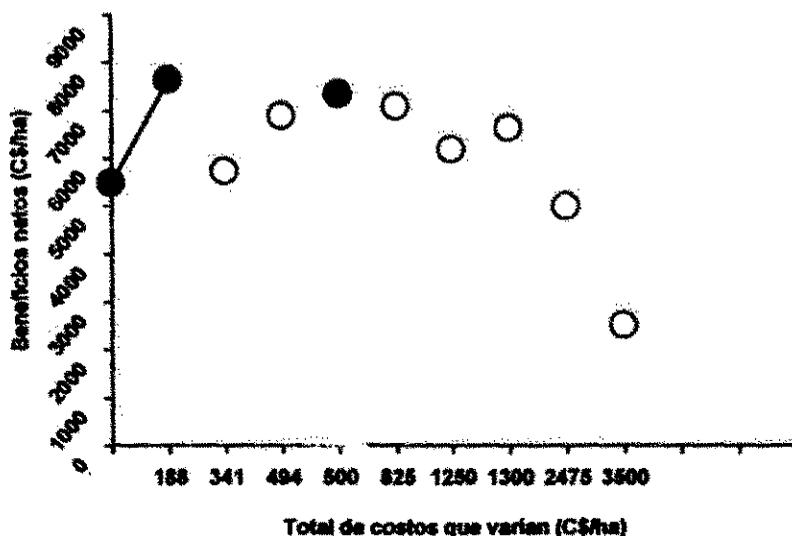
Por medio del presupuesto parcial realizado según la metodología del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, (1988) el único tratamiento que se comporta como no dominado, es el que corresponde a la aplicación de 1 qq/ha de fertilizante químico de fórmula 12-30-10, como se muestra en la Tabla 24. Un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de menores costos que varían.

Con estos resultados, y según el análisis económico realizado, es recomendable utilizar el tratamiento 7, cuya dosis de aplicación es de 1 qq/ha de fertilizante químico con una tasa de retorno marginal de 1150%, pero desde el punto de vista sostenible y agrobiológico es más recomendable cambiar del tratamiento cero al tratamiento 1, que representa una dosificación de 5 tm/ha de abono orgánico gallinaza con una tasa de retorno marginal de 383%, mayor que

marginal mayor que la tasa de retorno mínima establecida para este ensayo que es de 100 por ciento.

**Tabla 24. Análisis de dominancia para los distintos tratamientos**

Tratamiento	Total de costos que Varían (C\$/ha)	Beneficios netos (C\$/ha)	Tratamiento dominado
Testigo	0.00	5439.98	
Químico 1 qq/ha	188.00	7601.10	
Químico 2 qq/ha	341.00	5488.40	Dominado
Químico 3 qq/ha	494.00	6865.61	Dominado
Gallinaza 5 tm/ha	500.00	7357.30	Dominado
Gallinaza 10 tm/ha	825.00	7099.91	Dominado
Compost 5 tm/ha	1250.00	6196.82	Dominado
Gallinaza 15 tm/ha	1300.00	6651.12	Dominado
Compost 10 tm/ha	2475.00	5008.28	Dominado
Compost 15 tm/ha	3500.00	2441.15	Dominado



**Figura 2. Curva de beneficios netos.**

Teóricamente la curva de beneficios netos y el análisis de retorno marginal (TRM) no debería de realizarse, cuando existe únicamente un tratamiento no dominado, sin embargo, se presenta la curva de beneficios netos en la Figura 2 con el fin de mostrar el comportamiento de los diferentes tratamientos en relación a los beneficios netos obtenidos y los costos totales que varían.

## V CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo realizado en la finca experimental La Compañía, concluimos lo siguiente:

- 1.- Con la aplicación de 15 tm/ha de gallinaza se obtuvieron los mejores resultados en el diámetro del tallo registrado a los 65 días después de la siembra, la mayor longitud de mazorca, el mayor número de granos por hilera, la mayor concentración de nitrógeno, zinc y cobre en la hoja por debajo de la mazorca, así como los, mayores rendimientos de grano.
- 2.-Bajo la aplicación de 10 tm/ha de gallinaza correspondiente al tratamiento dos se registró la mayor altura de planta y la mayor altura de inserción de la mazorca registradas a los 65 y 66 días después de la siembra respectivamente, así como la mayor concentración de zinc en la hoja por debajo de la mazorca.
- 3.- Bajo la aplicación de 5 tm/ha de gallinaza se presentaron el mayor número de granos por hilera, el mayor número de hilera por mazorca, la mayor concentración de calcio y manganeso en la hoja de bandera y la mayor concentración de potasio en la hoja debajo de la mazorca
- 4.-La mayor concentración de fósforo y zinc en la hoja debajo de la mazorca se registraron bajo la aplicación de 5 tm/ha de compost. La mayor concentración de potasio en la hoja bandera bajo la aplicación de 10 tm/ha de compost y el mayor número de hojas registrado a los 65 días después de la siembra se presentó bajo la aplicación de 15 tm/ha de compost.
- 5.- La mayor concentración de nitrógeno y manganeso en la hoja de bandera se presentó bajo la aplicación de 1 qq/ha de fertilizante completo de fórmula 12- 30- 10, la mayor concentración de hierro y zinc en al hoja de bandera y la mayor

concentración de hierro en la hoja por debajo de la mazorca se presentaron con la aplicación de 2 qq/ha de fertilizante completo.

6.- Los contenidos de nitrógeno en el suelo de La Compañía pueden considerarse como altos, sin embargo, los cultivos responden a las aplicaciones de este elemento. Existe baja disponibilidad del fósforo en este suelo por lo que se hace necesario aplicar productos que contengan a este elemento. Los contenidos de potasio, calcio y magnesio son altos y no constituyen un problema para la producción agrícola. Los contenidos de microelementos en este suelo son considerados como muy altos para el hierro, para el cobre y zinc como medios y para el manganeso como bajo.

7.- El análisis económico determinó que el tratamiento más rentable es el tratamiento bajo la aplicación de 1 qq/ha de fertilizante completo de fórmula 12-30-10.

## VI RECOMENDACIONES

- 1.- Fundamentados en los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda usar como fertilizante la dosis de 5 tm/ha del abono orgánico gallinaza, con la cual se obtendrán rendimientos satisfactorios.
- 2.- Realizar análisis de suelo después de la cosecha para evaluar el efecto de los abonos orgánicos usados sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- 3.- Realizar análisis foliares en tres épocas distintas que pueden ser 15 días antes de la floración, 15 después de la floración y a la madurez fisiológica para evaluar las concentraciones de los elementos según el desarrollo de la planta.
- 4.- Realizar análisis del contenido de los elementos en el grano para evaluar su comportamiento con respecto a los registrados en los análisis foliares.
- 5.- De acuerdo con el análisis económico realizado se recomienda aplicar 1 qq/ha de fertilizante completo 12- 30- 10 por ser el tratamiento más rentable, pero desde el punto de vista sostenible, agronómicamente es recomendable la aplicación de 5 tm/ha de abono orgánico gallinaza.

## VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abaunza, B. M. 1990. Diagnóstico sobre producción, consumo, generación y transferencia de tecnología para los granos básicos. Programa regional de reforzamiento a la investigación agronómica sobre los granos básicos en Centro América. Convenio CORECA – CEE – IICA – ALA. Managua, Nicaragua. 105 pp.
- Adetiloye, P. O.; Okigbo, B. N.; Vezedinma E. O. 1984. Responce maize and ear shoot caracteres growth. Factors in southern Nigeria field, crop research and international journal. EUA. 265-277 pp.
- Alvarado, E. F.; Centeno, A. A. 1994. Efectos de sistemas de labranza, rotación y control de malezas sobre la cenocis de las malezas y el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L. moench). Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 100 pp.
- Arzola, P. N.; Fundora, H.O.; Machado, A.J. 1981. Suelo, Planta y Abonado. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 461 pp.
- Bartolini, R. 1990. El Maíz. 2da ed. Madrid, España. Mundi - Prensa. 280 pp.
- Berger, E. U. ; Fritz, A.; Irschick, H. (s. f.). La importancia de los nutrientes secundarios y elementos menores en la agricultura. ed. BASF. 56 pp.
- Berger, J. 1985. Maíz : Su producción y abonamiento. Editorial Científico Técnico. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 204 pp.

- Bolaños, J. 1997. Síntesis de resultados experimentales del programa regional del maíz para Centro América y el Caribe. 1993-1995. CIMMYT-PRM, Guatemala. V.5.
- Bowen, J. E. 1981. Hierro: elemento vital para plantas y animales. En Agricultura de las Américas. Febrero 1981. Año 30. Nº 2. p 14, 16 y 28.
- Brockman, J. S. 1992. Nutrición de los cultivos. En Halley, R. J. Enciclopedia de Agricultura y Ganadería. 1er ed. Grupo Noriega. Tomo I. México, D. F. p 121-147.
- Buckman, H. C. & Brady, N. C. 1985. Naturaleza y propiedades de los suelos. México, D. F. 590 pp.
- Cairo, P. 1980. Suelos. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 367 pp
- Catastro e inventario de recursos naturales de Nicaragua. 1971. Levantamiento de suelos de la región del pacífico de Nicaragua. Parte 2, Descripción de suelos. Volumen II. Managua, Nicaragua. 591pp.
- Centeno, J. C.; Castro, V. L. 1993. Influencia de cultivos antecesores y métodos de control de malezas sobre la cenosis de las malezas y el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. 74 pp. ✕
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México, D. F. México: CIMMYT.

Chapman, H. D. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. ed. Trillas, M. A. E. C. México DF. 195 pp.

Cuadra, R. M. 1988. Efecto de diferentes niveles de nitrógenos, esparcimiento y población sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) Var. NB-6. Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua. ISCA. 39 pp.

1991. Respuesta del maíz a la aplicación de fertilizante en suelos de Nicaragua; experimento en el campo con nitrógeno en aplicaciones simples y fraccionadas. Congreso Nacional de Granos Básicos, Managua, Nicaragua. 19-21 junio 1991.

Dalzell, H. W.; Biddlestone, A. J.; Gray, K. R.; Thurairajan, K. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Servicio de recursos, manejo y conservación de suelos. Dirección de fomento de tierras y aguas. Boletín de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (Roma). No. 56. 178 pp.

Deffis, A. 1989. La basura es la solución. Ed. Concepto. México D. F.

Devlin, R. M. 1975. Fisiología Vegetal. Editorial pueblo y educación. La Habana, Cuba. 468 Pág.

Domínguez, V. A. 1990. El abonado de los cultivos. Ediciones Mundi - prensa. Madrid, España. 184 pp. ✕

1997. Tratado de fertilización. 3ra ed. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid, España. 613 pp.

- Fuentes, J. L. 1994. El suelo y los fertilizante. 4ta. ed. Mundi - Prensa. Madrid, España. 327 pp.
- García, F. J.; García, del Caz. R. 1982. Edafología y fertilización agrícola. 1ra ed. Editorial Aedos. Barcelona, España. 246 pp.
- García, L. 1998. Fertilidad de suelo. 1er ciclo de actualización en Ciencias Agrarias. División de capacitación Grupo Revista Pecuaria de Nicaragua. Managua, Nicaragua 11 –15 de Mayo 1998.
- Griffith, L. 1986. El fósforo: elemento nutritivo vital de reacción compleja y a menudo escaso en el suelo. En Agricultura de las Américas. Año 35. N° 9. p 16-21.
- Gómez, O. ; Minelli, M. 1990. La producción de semillas. Texto básico para el desarrollo del curso de producción de semillas en la universidad de Nicaragua. ISCA. Escuela de producción vegetal. Managua, Nicaragua Pag. 76. ✕
- Guerrero, G. A. 1990. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Mundi - Prensa. Madrid, España. 206 pp.
- Holdridge, L. R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. IICA. Colección de libros y materiales educativos. No 83. 216 pp.
- Howeler, R. H. 1983. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales: algunos cultivos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 28pp.
- Ignatieff, V. & Pague, H. 1967. El uso eficaz de los fertilizantes. Colección FAO, Estudios agropecuarios. Editorial Nacional de Cuba.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. 1997. Resumen meteorológico.

Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. 1995. Guía tecnológica 4. Cultivo del maíz.

Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). (s. f.) Potasa; Su necesidad y uso en agricultura moderna. Saskatchewan, Canadá. 44 pp.

Jones J. J. 1983. Análisis de los tejidos de las plantas para micronutrientes. En Mortvedt, J. J.; Giordano, P. M.; Lindsay, W. L. Micronutrientes en agricultura. 1er Ed. En Español. Ed. AGT, SA. p 349 – 378.

Jugenheimer, R. W. 1981. Maíz: Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla. México, D. F. Limusa. 841 pp.

Kass Donald, C. L. 1996. Fertilidad de suelos. Ed Jorge Nuñez Solís. 1Ed. San José, Costa Rica. 272 pp.

Katyal, J. C. ; Randhawa. N. S. 1986. Micronutrientes. Fertilizantes y nutrición vegetal. Servicio de fertilizante y nutrición de las plantas. Dirección de fomento de tierras y aguas. Boletín de la FAO (Roma). N° 7.

Laboratorio de Suelos y Agua. 1997. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

Loué, A. 1984. Maize. En: Martin-prével, P.; Gagnard, J.; Guatier, P. Plant analysis as a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. ed. Lavoisier. p 531 – 561.

Labrador, M. J. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Madrid, España. 174 pp.

Lees, P. 1980. El cobre: indispensable para la vida. En Agricultura de las Américas. Octubre 1980. año 29. N° 12. p 14, 44, 45, 52, y 54.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (D. G. T. A.) / Organización de las Naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1990. Fórmulas alternativas de fertilizantes para granos básicos en la región del Pacífico. Programa Nacional de suelos. Managua, Nicaragua. 7 pp.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1998. Boletín trimestral. Julio 1998. Año 1. No 1.

Mortvedt, J. J.; Giordano, D. M.; Lindsay, W. L. 1983. Micronutrientes en Agricultura. 1ra ed. en español. ed. AGT, SA. México, D. F. p. 87 – 126, 349 – 378.

National Plant Food institute. 1982. Manual de fertilizantes. 2da. Edición, Editorial Limusa. Mexico, D.F.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1976. Materias orgánicas fertilizantes. Documentos seleccionados del informe de la consulta de expertos FAO/SIDA, celebrado en Roma, 2-6 de Diciembre de 1974. N° 27.183 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1984. Guía técnica sobre la tecnología de la semilla. Roma, Italia. 172 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1986. Guía de fertilizantes y nutrición vegetal. Fertilizantes y nutrición vegetal. Servicio de fertilizantes y nutrición de las plantas. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, FAO. (Roma). N° 9. 198 pp.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1990. Micronutrients assessment at country level: an international study. Boletín de suelo, FAO. (Roma). N° 63. P 16.
- Ortega, T. E. 1978. Química de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 152 pp.
- Ortiz, V. B. 1977. Fertilidad de suelo. Universidad Autónoma de Chapingo. México. pp 210.
- Ortiz, V. B. ; Ortiz, S. C. 1990. Edafología Universidad Autónoma de Chapingo. 7ma ed. Ed. V. A. Gómez Cuevas. México, D. F. 394 pp.
- Pastor, M. J. 1990. Suelos y Agroquímica, Editorial Pueblo y Educación. Playa, Ciudad de La Habana. V1. 224 pp.
- Pérez M. A. 1994. Efecto del compost sobre las propiedades físico – químicas de un suelo vitrandepts. Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. 59 pp.
- Primo, Y.; Carrasco, D. 1981. Química agrícola: Suelos y fertilizantes. Madrid, España. 472 pp.
- Qintana, B.O. 1983. Suelos y fertilización. En Tapia , B. H.; Gacía, A. G. Técnicas para la producción de maíz. Dirección General de Técnicas Agropecuarias. Managua, Nicaragua. 91-107 pp.
- Quintana, J. O.; Blandón, J.; Flores, A.; Mayorga, E. 1992. Manual de fertilización para suelos de Nicaragua. Universidad Nacional Agraria (UNA) Y Consultora Profesional Indígena. (INDOCONSUL S.A.). Managua Nicaragua.

- Robles Sánchez, R. 1990. Producción de granos y forrajes. 5ta ed. Limusa. México 600 pp.
- Rodríguez, T. R. 1997. Producción de maíz (*zea mays* L.) bajo dos sistemas de labranza y tres métodos de control de malezas, efecto sobre la dinámica de las malezas y el crecimiento y rendimiento del cultivo. Trabajo de tesis. Universidad Nacional Agraria, Managua Nicaragua. 48 pp.
- Salmerón, F.; García, L. 1994. Fertilidad y fertilización de suelos. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 141 PP.
- Sillampää, M. 1972. Los oligoelementos en los suelos y en la agricultura. Boletín de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Roma). N° 17.
- Somarriba, C. 1997. Texto de Granos Básicos. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 197 pp.
- Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico; Características y manejo. 1ed. San José, Costa Rica. IICA. Serie de libros y materiales educativos. 634 pp.
- Talavera S, F. T. 1989. Assesment of the impacts of P and N fertilizer on common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in a volcanic soil in pot and field experiments. Swedish University of Agricultural Sciences, Upssala (Suecia). Tesis (Mag. Sc.). 81 pp.
- Urbina, R. 1983. Morfología de la planta de maíz. En Tapia, B.H.; García, A.J. Técnicas para la producción de maíz. Dirección general de técnicas agropecuarias. Managua, Nicaragua. 36-56 pp.

- Thienhaus, S. 1988. Efecto de diferentes dosis de tres tipos de abonos orgánicos en maíz como planta indicadora. Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. pp.
- Tiffin, L. O. 1983. Translocación de micronutrientes en plantas. En Mortvedt, J. J.; Giordano, P. M.; Lindsay, W. L. Micronutrientes en agricultura. 1re ed. En español. ed AGT, SA. México D.F. p 217 – 252.
- Valente, M.J.; Rodríguez O.L. 1990. Programa de fertilización en Nicaragua. Programa Nacional de suelos. Managua, Nicaragua. 16 pp.
- \_\_\_\_\_ 1991. Programa de fertilización en Nicaragua. Congreso Nacional de Granos Básicos. Managua, Nicaragua. 19 – 21 de junio 1991. Centro Nacional de investigación de Granos Básicos. 21pp.
- Yágodin, B.; Smirnov, P.; Peterburgski, A. 1986. Agroquímica. Tomo I y II. Editorial Mir. Moscú. 416 pp.
- Zaharan S. M.; Garay J. R. 1990. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno, fraccionamientos y momentos de aplicación sobre el crecimiento y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) var. NB-6. Tesis Ing. Agr. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. 32 pp.

## **VIII ANEXOS**

### Altura de planta

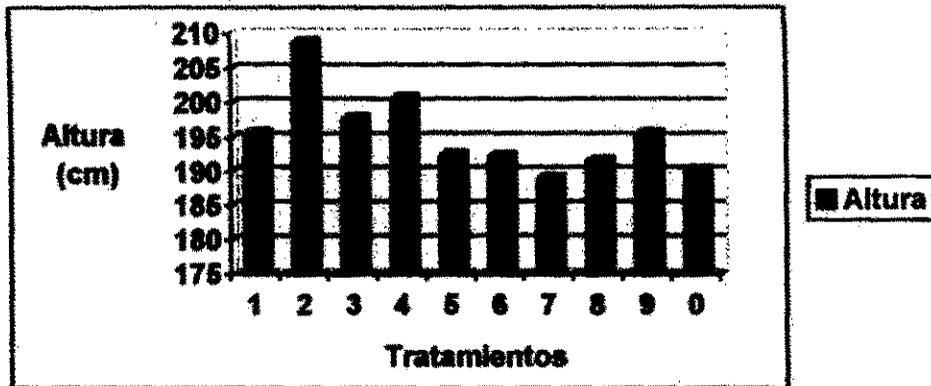


Figura 3. Comportamiento de la altura de planta por efecto de los diferentes tratamientos a los 65 dds

### Número de hojas

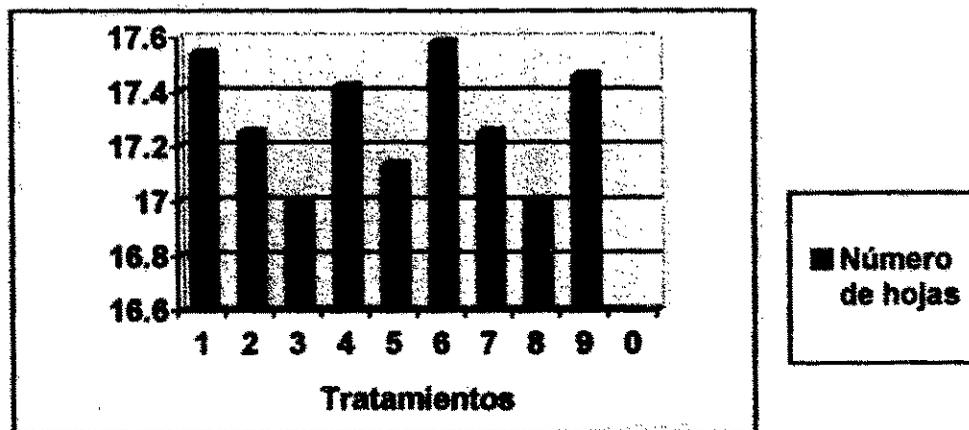


Figura 4. Comportamiento del número de hojas por efecto de los distintos tratamientos a los 65 dds

### Diámetro del tallo

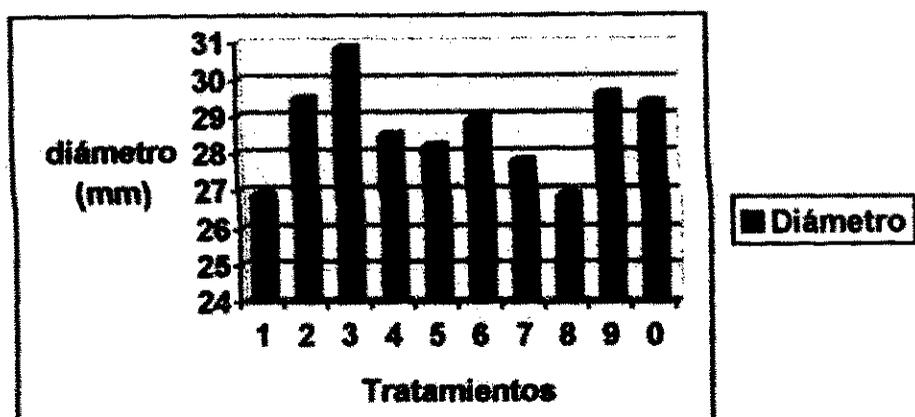


Figura 5. Comportamiento del diámetro del tallo por efecto de los distintos tratamientos a los 65 dds

### Rendimiento de grano

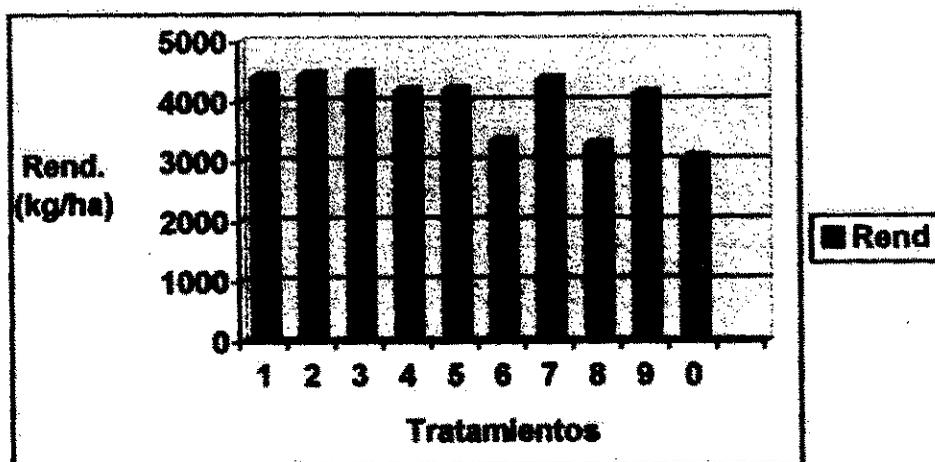


Figura 6. Comportamiento del rendimiento por efecto de los diferentes tratamientos

**Tabla 25. Extracción de macronutrientes por el cultivo de maíz para diferentes niveles de producción.**

Producción tm/ha	N	P	K	Ca	Mg
	Kg/ha				
2.5	40.0	9.0	33.0	7.5	5.0
8.0	100.0	18.0	68.0	18.0	14.0
14.0	200.0	34.0	130.0	31.0	24.0

Fuente: Quintana (1983); citado por Tapia & García, (1983).

**Tabla 26. Concentraciones de macronutrientes encontrados en los análisis foliares.**

Parte de la planta	Fase de crecimiento	N	P	K	Ca	Mg
		%				
Hoja bandera	A la floración	2.29-4.33	0.15-0.32	0.35-0.31	0.04-0.06	0.02
Hoja debajo de la mazorca	Madurez fisiológica	1.04-1.58	0.08-0.22	0.27-0.30	0.03-0.06	0.04-0.05

Fuente: Laboratorio de Suelos y Agua de la U.N.A. (1997).

**Tabla 27. Concentración de micronutrientes encontrados en los análisis foliares.**

Parte de la planta	Fase de crecimiento	Fe	Cu	Zn	Mn
		ppm			
Hoja bandera	A la floración	553-1303	—	53.13-90.63	15.63-74.88
Hoja debajo de mazorca	Madurez fisiológica	182.95-166.35	6.25-12.49	21.84-37.45	28.09-218.70

Fuente: Laboratorio de Suelos y Agua de la U.N.A. (1997).

**Tabla 28. Concentración de nutrimentos en la hoja debajo de la mazorca de maíz a la iniciación de la formación del cabello, que corresponde a varios estados nutricionales de la planta.**

Elemento	Estado nutricional				
	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	Tóxico
N (%)	<2.45	2.46 - 2.75	2.76 - 3.50	3.15 - 3.75	>3.75
P (%)	<0.15	0.16 - 0.24	0.25 - 0.40	0.41 - 0.50	>0.50
K (%)	<1.25	1.26 - 1.70	1.71 - 2.25	2.26 - 2.50	>0.25
Ca (%)	<0.10	0.11 - 0.20	0.21 - 0.50	0.51 - 0.90	>0.90
Mg (%)	<0.10	0.11 - 0.20	0.21 - 0.40	0.41 - 0.55	>0.55
B (ppm)	<2	3 - 5	6 - 25	26 - 35	>35
Mn (ppm)	<15	16 - 19	20 - 150	151 - 200	>200
Fe (ppm)	<10	10 - 20	21 - 250	251 - 350	>350
Cu (ppm)	<2	3 - 5	6 - 20	20 - 50	>50
Zn (ppm)	<10	11 - 20	21 - 70	71 - 100	>100
Mo (ppm)	Siempre suficiente				
Al (ppm)	—	—	<200	201 - 400	>400

Fuente: Jones,(1967); citado por Howeler (1983).