



00361

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**RESPUESTA DEL MAÍZ A LA INOCULACION CON *Azospirillum* Y  
COLONIZACION CON MICORRIZAS ARBUSCULARES *IN SITU*,  
EN UN ANDISOL ENCALADO DEL ESTADO DE MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)  
P R E S E N T A**

**BIÓL. MARÍA DE JESÚS SÁNCHEZ COLÍN**

**DIRECTORA DE TESIS: M. en C. ROSA MARÍA RAMÍREZ GAMA**

**MÉXICO, D.F.**

**2000**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A MIS AMADAS HIJAS  
AMABEL PAULA E INDIRA BRUNEI  
POR SER LA FELICIDAD DE MI VIDA

A BRUNO  
POR SU APOYO, COMPRENSIÓN Y AMOR

A MAMÁ  
POR EXISTIR

---

## AGRADECIMIENTOS

- ❖ A mis apreciables amigas Victorina† y Lucila González Esquivel, que me permitieron trabajar en su Rancho con una gran hospitalidad y cariño.
  
- ❖ A la maestra Rosa María Ramírez Gama que me brindo su confianza, apoyo, comprensión y amistad.
  
- ❖ Un agradecimiento muy especial a todos los alumnos que me brindaron su ayuda para la realización del trabajo experimental en campo.
  
- ❖ A los distinguidos maestros que integran mi jurado.
  - M. en C. Alfredo F. Echegaray Alemán
  - Dra. Norma Eugenia García Calderón
  - M. en C. Rosa María Ramírez Gama
  - Dr. David Flores Roman
  - Dr. Ronald Ferrera-Cerrato
  - M. en C. Manuel F. Rico Bernal
  - Dr. Gilberto Hernández Silva

Por las aportaciones a la presente investigación y por compartir conmigo sus conocimientos.

---

---

	Pág.
RESUMEN	8
I.- INTRODUCCION	9
II.- MARCO TEORICO	11
LA RIZOSFERA	11
Características	11
Efectos de la rizosfera sobre los microorganismos	12
<u>Azospirillum</u>	12
Introducción	12
Mecanismos de acción sobre el crecimiento en las plantas	13
Fijación de nitrógeno por <i>Azospirillum</i>	14
Producción de Fitohormonas por <i>Azospirillum</i>	15
Respuestas a la inoculación	15
MICORRIZAS	17
Factores que influyen en la colonización de HMA	17
Aplicaciones de los HMA	19

---

---

<b>EL MAIZ EN MEXICO</b>	<b>20</b>
<b>Origen y características</b>	<b>20</b>
<b>Utilización</b>	<b>21</b>
<b>Descripción Botánica</b>	<b>22</b>
Raíz	22
Tallo	23
Hojas	23
Flores	23
Fruto	24
<b>ANDISOLES</b>	<b>26</b>
Localización	26
Características	27
Efectos de la acidez sobre el suelo	27
<b>ENCALADO</b>	<b>28</b>
Aplicaciones	28
Efectos del encalado	29
<b>III.- HIPOTESIS</b>	<b>31</b>
<b>IV.- OBJETIVOS</b>	<b>32</b>
General	32
Específicos	32

---

---

<b>V.- DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>33</b>
Localización	33
Suelo	33
Clima	33
Vegetación	33
<b>VI.- MATERIALES Y METODOS</b>	<b>35</b>
<b>VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>40</b>
<b>VIII.- CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>IX.- BIBLIOGRAFIA CITADA</b>	<b>78</b>
<b>X.- APENDICES</b>	<b>88</b>

---

## INDICE DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 1	Tratamientos empleados en el experimento	36
Tabla 2	Características físicas y químicas del suelo antes y después del encalado	41
Tabla 3	Número de plantas emergidas de maíz en los diferentes tratamientos a los 31 días después de la siembra (mayo)	42
Tabla 4	Porcentaje de colonización radical del maíz por <i>Azospirillum brasilense</i> en los diferentes tratamientos, en suelo sin y con cal en los meses de mayo y junio	44
Tabla 5	Porcentaje de colonización micorrízica arbuscular del maíz en los diferentes tratamientos en suelo sin y con cal en mayo y junio	47
Tabla 6	Peso seco foliar promedio (g) del maíz en los diferentes tratamientos a los 31 días después de la siembra, en suelo sin cal y con cal	51
Tabla 7	Promedio de longitud foliar (cm) del maíz a los 31 días en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	52
Tabla 8	Valores promedio de longitud foliar (cm) en maíz a los 65 días, en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	53
Tabla 9	Peso fresco foliar (g) del maíz a los 65 días en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	54
Tabla 10	Peso seco foliar (g) promedio en maíz a los 65 días en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	54
Tabla 11	Promedio de la longitud de la raíz (cm) del maíz en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	55



Tabla 12	Peso fresco de la raíz (g) del maíz en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	56
Tabla 13	Promedio de la longitud foliar (cm) de las plantas de maíz en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	57
Tabla 14	Promedio de número de plantas por mata y número de jilotes por planta de maíz en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	59
Tabla 15	Promedio del porcentaje de nitrógeno total y fósforo foliar acumulado en la hoja bandera del maíz en los diferentes tratamientos	61
Tabla 16	Peso promedio del forraje del maíz en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal ( $\text{ton ha}^{-1}$ )	62
Tabla 17	Longitud promedio de las mazorcas del maíz en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	64
Tabla 18	Número promedio de hileras en la mazorca del maíz en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	65
Tabla 19	Peso promedio de 100 granos de maíz (g) en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	67
Tabla 20	Peso promedio del olote de maíz (g) en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal	69
Tabla 21	Rendimiento promedio de grano seco de maíz en los diferentes tratamientos, en suelo sin cal y con cal ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).	70
Tabla 22	Comparación del rendimiento promedio de grano seco del maíz en los diferentes tratamientos en el suelo sin cal y con cal ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).	73
Tabla 23	Comparación del rendimiento promedio de grano seco de los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro en los diferentes tratamientos en el suelo sin cal y con cal ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).	74

## INDICE DE FIGURAS

			Pág.
Figura	1	La planta de maíz	25
Figura	2	Ubicación de los Andisoles en México	26
Figura	3	Localización de la zona de estudio	34
Figura	4	Número de plantas emergidas en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro a los 31 días después de la siembra, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con <i>Azospirillum</i> (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.	43
Figura	5	Porcentaje de colonización radical de los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro por <i>Azospirillum brasilense</i> en el mes de mayo, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con <i>Azospirillum brasilense</i> (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.	45
Figura	6	Porcentaje de colonización radical de los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro por <i>Azospirillum brasilense</i> en el mes de junio, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con <i>Azospirillum brasilense</i> (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.	46
Figura	7	Porcentaje de colonización micorrízica arbuscular en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro en el mes de mayo, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con <i>Azospirillum brasilense</i> (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.	49
Figura	8	Porcentaje de colonización micorrízica arbuscular en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro en el mes de junio, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con <i>Azospirillum brasilense</i> (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.	50

Figura	9	Longitud foliar total de los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con <i>Azospirillum brasilense</i> (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.	58
Figura	10	Peso de forraje en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con <i>Azospirillum brasilense</i> (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.	63
Figura	11	Número de hileras de granos en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con <i>Azospirillum brasilense</i> (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.	66
Figura	12	Peso de 100 granos (g) de maíz en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con <i>Azospirillum brasilense</i> (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.	68
Figura	13	Rendimiento de grano seco en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro (ton ha <sup>-1</sup> ), en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con <i>Azospirillum brasilense</i> (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.	71

## RESUMEN

El incremento en el rendimiento de las plantas por efecto de la inoculación con rizobacterias promotoras del desarrollo vegetal como *Azospirillum* en condiciones de campo, es variable e inconsistente debido a la diversidad de climas, condiciones y tipos de suelo. Por ello cuando se realizan enmiendas a un suelo ácido (Andisol) para mejorar sus propiedades químicas mediante un encalado, se crean condiciones especiales que tienen efecto sobre las poblaciones microbianas como *Azospirillum* y hongos micorrízicos que realizan simbiosis con plantas de importancia agrícola como el maíz, ya que ayudan a la absorción más eficiente de nutrimentos y mejor desarrollo vegetal.

Con base en lo anterior surgió el interés por realizar la presente investigación que tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense* y la colonización de la micorriza arbuscular nativa, en tres maíces criollos en suelo encalado y sin encalar en el Estado de México.

En condiciones de campo se estableció un diseño experimental con una distribución completamente al azar, en el que se probaron nueve tratamientos en dos bloques (uno sin cal y otro con cal), con cuatro repeticiones, aplicando el equivalente a 2 ton ha<sup>-1</sup> de CaO. Se probaron tres genotipos de maíz, Blanco, Pico de Gorrión y Negro; fertilizando con 100 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amonio y 80 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato de calcio triple, los que se aplicaron en la siembra y primer escarda.

Se inoculó las semillas con 60 x 10<sup>6</sup> ufc g<sup>-1</sup> de la cepa de *Azospirillum brasilense* VS7, se sembró a mano y los resultados se analizaron estadísticamente utilizando la prueba de Tukey con una alfa de 0.05 %.

Se encontró que el encalado eleva el pH, mejora el desarrollo de biomasa de los diferentes genotipos de maíz, ya que permite una mayor disponibilidad de nutrimentos y aumenta la colonización micorrízica "in situ", no presentó un efecto marcado sobre la inoculación con *Azospirillum brasilense*. Sin embargo las plantas presentan rangos bajos de nitrógeno y suficiencia de fósforo en ambos bloques.

La mayor colonización por *Azospirillum brasilense* se presenta en la variedad Pico de Gorrión en el bloque sin cal y la variedad Negra en el bloque encalado, además de tener el mayor peso de forraje y rendimiento. La inoculación resultó eficiente, ya que todas las plantas inoculadas manifestaron un incremento en su rendimiento de materia seca entre un 20 y 30 %, con respecto a las fertilizadas.

## I.- INTRODUCCIÓN

En la República Mexicana se localizan cerca de 7.3 millones de hectáreas con suelos clasificados como Andisoles, los cuales son considerados como poco productivos debido a su acidez; con elevados porcentajes de materia orgánica con lenta o nula mineralización, así como altos contenidos de silicatos amorfos de aluminio hidratados (alofano), que producen alta retención de fosfatos, que provocan la disminución de los rendimientos de los cultivos.

Se han realizado experimentos que han demostrado que se pueden eliminar o minimizar las limitaciones del rendimiento de los cultivos, mediante el encalado de suelos ácidos (Wild, 1992). El encalado modifica características del suelo como el pH, creando condiciones más favorables para la asimilación del N, P y Ca, entre otros, para las plantas; además, aumenta la actividad de los microorganismos, y por consiguiente, la velocidad de mineralización de la materia orgánica en el suelo.

Actualmente se trata de evitar el uso o abuso de sustancias no naturales (agroquímicos), que no solo modifican las características del suelo sino que también lo contaminan. Esta tendencia se puede lograr mediante la aplicación de principios ecológicos y prácticas agrícolas tradicionales que conduzcan a una agricultura sostenible y a la conservación del ambiente. De este modo, el estudio y manipulación de los microorganismos del suelo son de gran importancia, ya que estos participan en los ciclos biogeoquímicos y promueven o limitan el desarrollo de las plantas. La biotecnología y la inoculación con simbiontes han abierto nuevas posibilidades para la introducción de microorganismos benéficos en suelos con el fin de promover el crecimiento de plantas y aumentar su rendimiento.

En la rizosfera existen millones de bacterias en donde, muchas de ellas son importantes ya que se asocian a las raíces y se les conoce como "bacterias promotoras de crecimiento en plantas", entre las que se encuentran las del género *Azospirillum*, que se caracterizan por fijar nitrógeno atmosférico y producir sustancias promotoras del desarrollo vegetal (Holguin *et al.*, 1996); también es posible encontrar hongos micorrízicos que posibilitan a las plantas a efectuar mayor absorción de nutrimentos, principalmente fósforo y otros como Mg, Ca, K, S, Fe, Cu, B, Zn y Mn (Carlson, 1990; Ferrera-Cerrato, *et al.* 1993; Azcón, 2000).

Hace más de 15 años por primera vez, se probó el potencial de *Azospirillum* como biofertilizante en cereales. A pesar de los resultados optimistas iniciales, la inoculación en campo de esta bacteria, ha demostrado ser inconsistente e impredecible, debido al desconocimiento de los factores básicos que intervienen en la interacción planta - bacteria, así como al efecto de los factores ambientales sobre el desarrollo y sobrevivencia de la bacteria en el suelo. Por ello, actualmente la investigación se enfoca en analizar la doble inoculación de *Azospirillum* con otros microorganismos, como los hongos micorrízicos (Bashan *et al.*, 1993).

Aproximadamente, un 79 % de la superficie del municipio de Villa Victoria, Estado de México se dedica al cultivo de maíz (INEGI, 1991), y para mejorar su rendimiento se recurre al encalado (Sánchez *et al.*, 1997); sin embargo, se desconoce el efecto de esta práctica sobre otros microorganismos de los que se considera de particular importancia a *Azospirillum*, debido a que es una rizobacteria promotora del desarrollo de plantas, la que además, se asocia al maíz.

## II.- MARCO TEÓRICO

### LA RIZOSFERA

#### Características

La rizosfera es la región del suelo que se relaciona biológicamente con las raíces de las plantas. En la parte apical de la raíz, se producen una serie de sustancias que son exudadas por ella; éstas quedan incluidas en el mucigel que es un polisacárido secretado por la coifa de la raíz y por las células epidérmicas y corticales (Grant y Long, 1989). Estos exudados se liberan de la planta por los efectos físicos y ambientales como luminosidad, temperatura, pH, daños a la raíz y contenido de agua del suelo (Clapp *et al.*, 1990; Azcón, 2000).

La mayor parte del mucigel es agua, pero contiene compuestos orgánicos como: carbohidratos del tipo de los monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos. También se tienen factores de crecimiento que son necesarios para el desarrollo de algunos microorganismos, entre ellos se encuentran la biotina, niacina, tiamina e inositol (Ferrera-Cerrato, 1995). Las poblaciones bacterianas que rodean a la raíz se ubican dentro de éste, por lo que no es posible definir la parte del mismo, producida por la raíz y la elaborada por las bacterias.

Las bacterias que viven en el mucigel influyen, sin duda, en sus propiedades y tienen mucho que ver con la disponibilidad de nutrientes y movimiento de iones a través del mismo (Thompson y Troeh, 1982; Alexander, 1990).

La asociación entre los microorganismos y las raíces, puede ser dañina, neutral o benéfica. Por tal razón, la manipulación de la rizosfera debe tender a incrementar el balance de los efectos benéficos sobre las plantas (Lynch, 1990). Una de las mayores contribuciones benéficas de los microorganismos del suelo al desarrollo de la planta, es el abastecimiento de nutrimentos esenciales, particularmente N y P, ya que estos son los nutrimentos que comúnmente limitan el crecimiento de la planta (Barea y Azcón, 1983; Azcón, 2000).

## Efectos de la rizosfera sobre los microorganismos

Los cambios de pH en la rizosfera afectan a las poblaciones microbianas, en ocasiones basta inducir un cambio en el pH del suelo para favorecer algunos grupos microbianos (Alexander, 1990). Existen compuestos que inducen cambios de pH en la raíz, dentro de ellos se encuentran algunos ácidos orgánicos como acético, cítrico y málico, nucleótidos, flavononas y enzimas, así como fitohormonas.

Al considerar a la rizosfera como una comunidad comensalística, en donde los microorganismos (bacterias, actinomicetos y hongos) son los únicos beneficiarios, se supone una situación muy simplista, ya que generalmente también las plantas reciben beneficios. Las ventajas potenciales que repercuten sobre las plantas han obtenido atención reciente, a partir del descubrimiento de la existencia de bacterias que fijan nitrógeno atmosférico en la rizosfera, tales como *Azotobacter paspali* y *Azospirillum brasilense*, además de otros organismos que participan en el intercambio de nutrientes como el fósforo hacia las plantas, a través de la simbiosis que se establecen con los hongos micorrízicos (Ferrera-Cerrato, 1995; Azcón, 2000).

Durante el proceso de evolución de las plantas y los microorganismos, los fenómenos más importantes son las diferentes simbiosis entre la bacteria *Rhizobium* y Leguminosas; el actinomiceto *Frankia* y Gimnospermas, la cianobacteria *Anabaena* y *Azolla* y los hongos micorrízicos con diferentes plantas; recientemente las asociaciones con fijadores de nitrógeno como *Azospirillum* y gramíneas.

## Azospirillum

### Introducción

Las bacterias del género *Azospirillum* fueron aisladas en Holanda por Beijerinck en 1925, en suelos arenosos y pobres en nitrógeno.

Mediante estudios de diferencias morfológicas y fisiológicas en experimentos sobre homología de ADN se han descrito las siguientes especies: *A. brasilense*, *A. lipoferum*, *A. amazonense*, *A. halopraeferans* y *A. irakense* (Bashan y Levanony, 1990).



*Azospirillum* coloniza la parte interna o externa de la raíz. En esta última las bacterias tienden a formar pequeños agregados, aunque se les puede encontrar aisladamente distribuidas a lo largo de la superficie radical, embebidas en la capa mucilaginosa que cubre la raíz. En el proceso de colonización interna, las células de *Azospirillum* penetran a través de los espacios intercelulares (Andreeva, *et al.*, 1991).

En cereales, la colonización ocurre principalmente en las zonas de elongación de la raíz y de los pelos absorbentes (Zamudio y Bastarrachea, 1994). Se desconoce el mecanismo de penetración de *Azospirillum* a los espacios intercelulares. Las diversas teorías, propuestas son:

- a) Invasión bacteriana vía tejidos corticales, en la zona en donde emergen las raíces laterales en raíces principales.
- b) Invasión a través de pelos radicales lisados y heridas mecánicas ocasionadas durante el crecimiento de la planta.
- c) Penetración directa a través de lamelas intermedias seguidas de degradación de la pectina una vez que la bacteria logra penetrar por hendiduras de la zona cubierta por la epidermis en donde emerge la raíz (Bashan *et al.*, 1996).

Se reportan dos mecanismos de adhesión de *Azospirillum*. El primero consiste en una adhesión rápida y débil que depende de proteínas superficiales bacterianas, las que al ser lavadas con agua liberan fácilmente a la bacteria. El segundo mecanismo llamado "anclaje", se ha verificado en condiciones *in vitro* y es independiente del primero, éste consiste en un anclaje firme, caracterizado por la producción de fibrillas largas, que forman una red que conecta las células de *Azospirillum* entre sí y a la superficie radical (Michiels *et al.*, 1991).

### **Mecanismos de acción sobre el crecimiento en las plantas**

No se ha definido el mecanismo principal por medio del cual *Azospirillum* promueve el crecimiento vegetal. Pero se tienen los siguientes mecanismos de acción:

- A) Fijación de nitrógeno, lo que contribuye con nitrógeno a la planta.
- B) Efectos hormonales, los cuales promueven el metabolismo y crecimiento vegetal.

- C) Incremento en el crecimiento del sistema completo de raíces, lo que puede estar relacionado con cambios hormonales y origina una mayor capacidad de absorción de agua y minerales.
- D) Alteración del funcionamiento de la membrana por moléculas de bajo peso molecular.
- E) La hipótesis aditiva en la que se propone la intervención de todos los mecanismos arriba mencionados (Bashan *et al.*, 1996).

### Fijación de nitrógeno por *Azospirillum*

En la naturaleza, la fijación biológica de nitrógeno sólo es una facultad reservada a unos cuantos géneros de bacterias, actinomycetos y cianobacterias. Ningún organismo superior ha desarrollado esta capacidad, aún cuando varios participan indirectamente formando asociaciones simbióticas con bacterias fijadoras de nitrógeno (FAO, 1995).

Todas las cepas silvestres de *Azospirillum* fijan nitrógeno atmosférico ya sea como bacterias libres o en asociación con plantas y participan en varias transformaciones relacionadas con el ciclo del nitrógeno. Después de la inoculación hay un incremento en el nitrógeno total de brotes y granos de plantas inoculadas. La contribución de la fijación de nitrógeno bacteriana al balance de nitrógeno de las plantas, está fundamentada en el hecho de que la actividad de la nitrogenasa en raíces, medida a través de la técnica de reducción de acetileno, se ve significativamente incrementada.

Si todo el nitrógeno fijado por actividad bacteriana fuese incorporado a la planta, se incrementaría su rendimiento. Estudios sobre inoculación de trigo y maíz indican que del 5 al 10% y hasta 18% del N total de la planta se deriva de la fijación del mismo; además, las plantas inoculadas crecieron normalmente con solo una cantidad parcial del fertilizante requerido para tal crecimiento, aún en zonas templadas (donde *Azospirillum* es menos efectivo) y bajo cultivo intensivo.

Bashan *et al.*, (1996), indican que existen trabajos en los que se ha demostrado baja, y a veces, insignificante actividad de la nitrogenasa en plantas que responden positivamente a la inoculación. Aún más, de todo el nitrógeno fijado por *Azospirillum*, menos del 5 % fue incorporado a las plantas huésped. La cantidad de nitrógeno fijado es insuficiente como para explicar incrementos totales en el contenido de nitrógeno de las plantas inoculadas. Niveles altos de fertilización nitrogenada, que inhiben la fijación de nitrógeno, no suprimen la respuesta positiva de la planta a la inoculación.

## Producción de fitohormonas por *Azospirillum*

Cepas de *Azospirillum* producen diversas hormonas vegetales cuando son cultivadas en medios líquidos; una de las más sobresalientes es el ácido indol-3-acético (IAA); se observa que *A. brasilense* libera más IAA que *A. irakense* y se requiere de oxígeno para la conversión de triptófano a IAA.

Otras hormonas detectadas en niveles más bajos, pero igualmente importantes, son el ácido indoláctico, ácido indol-3- butírico (IBA), indol -3- etanol, indol -3- metanol y compuestos de indol no identificados. También varias giberelinas, ácido absícico y citoquininas.

Fallik *et al.*, (1989), reportan un incremento en la longitud de las raíces, número de pelos radicales, una elevada tasa de división celular y diferenciación en tejidos meristemáticos; además, observaron que plantas inoculadas con *Azospirillum* mantienen un estado hormonal óptimo durante más tiempo que las plantas no inoculadas, encontrando concentraciones más altas de IAA y IBA en raíces de maíz inoculadas, lo que contribuyó a obtener una mayor producción.

*Azospirillum* puede afectar muchos parámetros en follaje, además de los parámetros en raíces. Estos cambios se deben directamente a efectos positivos en la absorción de minerales que incrementan la materia seca foliar y la acumulación de minerales en tallos y hojas como:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$  y  $\text{Fe}^{+2}$  (Bashan *et al.*, 1996).

## Respuesta a la inoculación

En las simbiosis asociativas se ha demostrado ampliamente que las bacterias pueden aportar nitrógeno y además modificar el desarrollo de las raíces; por tanto, favorecen la absorción de agua y nutrimentos, lo que se traduce en la acumulación de materia seca y aumento de la producción. No obstante, la liberación de estos microorganismos dentro del suelo, no siempre produce los efectos esperados.

En un análisis general de los ensayos realizados a nivel mundial, se tiene que el 65% de estos fueron exitosos. En Estados Unidos de América el 50 % de los experimentos dieron respuesta positiva y en la India el 25%. Mientras en Israel en

algunos experimentos la respuesta es nula o no significativa, en donde los suelos son de fertilidad moderada, con poca materia orgánica y población de *Azospirillum* reducida, se han encontrado respuestas a la inoculación, grandes y agronómicamente significativas (Fallik y Okon, 1996).

En virtud de que en numerosos estudios se ha establecido cierta especificidad en la invasión de raíces de pastos y cereales por *Azospirillum*; asimismo se han realizado numerosos experimentos para establecer si las cepas aisladas de un huésped, al ser inoculadas en la misma especie, son capaces de restablecerse. Al inocular trigo con cepas aisladas de la endorrizosfera de trigo y cepas aisladas de maíz, se favoreció en mayor proporción la acumulación de nitrógeno y materia seca; esto se relacionó con el número de azospirilla de raíces estériles, lo que indica que ellas penetran a las raíces promoviendo la respuesta a la inoculación (Ramírez- Gama y Luna, 1995).

Después de su incorporación al suelo, las células de *Azospirillum* se deben adaptar rápidamente a las condiciones siempre cambiantes de la rizosfera, mismas que incluyen modificaciones frecuentes en la disponibilidad de nutrimentos, así como la interacción con bacterias nativas, las cuales compiten también por los nutrimentos disponibles. Las interacciones pueden ser antagonistas, sinergistas o del tipo de depredador - presa, en las cuales *Azospirillum* puede ser presa disponible para la macro y micro-fauna necesitada de nutrimentos.

La cantidad de inóculo tiene efecto sobre el nivel de infección o colonización y la producción de materia seca por la planta. La cantidad de inoculante puede afectar la dispersión, la rapidez y la intensidad de la infección, lo que influye positivamente en la efectividad de la simbiosis.

Pruebas de campo e invernadero han demostrado que una inoculación simultánea de *Azospirillum* y *Rhizobium* o el inocular *Azospirillum* a leguminosas colonizadas de manera natural por los rizobios, da como resultado incremento en la fijación de nitrógeno, mayor número de nódulos, incremento en el contenido de aminoácidos de raíces y brotes, y eventualmente en rendimiento. Este incremento en la susceptibilidad de las leguminosas a la infección por *Rhizobium* fue atribuido al efecto estimulador de las hormonas secretadas por *Azospirillum* (Guzmán - Plazola y Ferrera -Cerrato, 1990).

La inoculación mixta con *Azospirillum* y hongos micorrízicos arbusculares origina una interacción sinergista, obteniéndose un incremento significativo en crecimiento y en el contenido de fósforo de las plantas. Esta inoculación doble podría reemplazar la aplicación de fertilizantes de nitrógeno y fósforo, además de promover la colonización de hongos micorrízicos en plantas, incrementando la germinación de esporas de *Glomus* sp. ( Bethlenfalvay, 1996 ; Arroyo *et al.*, 1996).

La doble inoculación de *Azospirillum lipoferum* y el hongo micorrízico *Glomus intraradices* en plantas de sorgo, incrementó las variables de crecimiento de las plantas, los niveles de fosfatasas en raíces, así como la absorción de minerales, al compararse con inoculaciones únicas. Al inocular trigo con *A. brasilense* y *Glomus* sp., se incremento el peso fresco y seco de brotes y raíces (Villareal, 1990).

## MICORRIZAS

Las micorrizas son asociaciones mutualistas que se establece entre las raíces de las plantas y hongos específicos de suelo; tienen un papel fundamental en la nutrición vegetal, ya que incrementan la capacidad de translocación de nutrimentos como el P, Zn, Ca, S, Cu y Mg (Gómez, 1995; Azcón, 1998). Los principales tipos de micorriza son la micorriza arbuscular (MA) y la ectomicorriza. La ectomicorriza tiene importancia forestal y la endomicorriza arbuscular importancia agrícola y frutícola.

Las micorrizas arbusculares son las más abundantes en el reino de las plantas, se caracterizan por formar estructuras intracelulares llamadas arbusculos, que se distribuyen en el tejido parenquimatoso sin invadir los haces vasculares cerca del cilindro vascular, ya que su función es la transferencia de nutrimentos desde el suelo hacia la planta huésped. Además, forma estructuras de forma ovoide a esférica, llamadas vesículas; su función probable es la de almacén de nutrimentos y pueden estar inter o intracelularmente (Guzmán –Plazola y Ferrera -Cerrato, 1990; Espinosa-Victoria, 2000).

González – Chavez (1995), menciona que se establece una cooperación sinérgica entre los hongos micorrízicos y microorganismos asociativos fijadores de nitrógeno como *Azospirillum*, los que proveen un medio para que las gramíneas que no forman nódulos y compensen las condiciones de deficiencia nutrimental, particularmente del nitrógeno. Debido a que ambos habitan la zona rizosférica, ocurren entre ellos interacciones que dan como resultado un aumento en el crecimiento de las plantas.

### Factores que influyen en la colonización de HMA

Hay diversos factores que tienen influencia sobre la colonización de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) al inocularse, como las características propias de

la planta, el hongo, condiciones del medio, influencia de otros organismos, tipo y manejo del suelo, entre otras.

- Factores propios de la planta

Las características de la planta como su morfología y fisiología pueden ser factores importantes en la dependencia hacia la micorrización. El grado de dependencia está relacionado con el tipo de raíz; entre mayor número de pelos radicales y raíces que produzca la planta, mayor será la independencia de los endófitos fúngicos para crecer y reproducirse. También se sabe que la colonización micorrízica puede variar con la etapa fenológica de la planta, (Guzmán –Plazola y Ferrera -Cerrato, 1990).

- Factores del hongo

Una característica muy importante es la habilidad del hongo para dispersarse en la raíz de su hospedero, así como la velocidad para crecer, formar arbusculos y longevidad de los mismos, la cantidad de hifas externas, su eficiencia de absorción de fósforo y su demanda de carbohidratos (Bago *et al.*, 2000). Además de lo anterior, influyen las características de las esporas como: germinación, madurez y "dormancia", tipo de hifas, densidad y localización, tipo de materia orgánica y efectos de los exudados de la raíz, interacción con otros microorganismos, así como las propiedades físicas y químicas del suelo.

- Factores edáficos

La adaptación del hongo a diversas condiciones de suelo modifica su respuesta al contenido de fósforo asimilable, el pH, el contenido de nutrimentos o de elementos tóxicos ejercen influencia directa sobre la eficiencia de la colonización. Los hongos endomicorrízicos presentan diferencias en su tolerancia a determinado pH del suelo, el cambio de estas características induce a la modificación en la respuesta a la micorrización (Sieverding, 1991).

El contenido de fósforo en un suelo es un factor determinante de la respuesta a la micorrización (Charest *et al.* 1997), por esto, es importante realizar estudios que permitan conocer las interacciones entre la forma de inoculación, la aplicación de fertilizante, el manejo del suelo y posibles variaciones en el genotipo del hongo (Guzmán –Plazola y Ferrera -Cerrato, 1990).

La adición de fertilizantes fosfatados puede tener efectos variados y complejos en la micorrización, ya que niveles altos de fósforo pueden perjudicar la colonización de la raíz y afecta la actividad de asimilación de nutrimentos (como nitrógeno, potasio) por estos hongos hacia la planta y diferentes niveles de fósforo tienen

efectos sobre la disminución en la producción de esporas (Bethlenfalvay and Linderman, 1992).

La adición de herbicidas (cloroprofam), inhibidores de la fotosíntesis, disminuye la colonización afectando el metabolismo del carbono en el hongo. La aplicación de agua contaminada con metales pesados puede afectar la colonización micorrízica, aunque la condición micorrizada puede ayudar a la planta a recuperarse de los efectos nocivos de estos productos (Bethlenfalvay, 1996; García *et al.*, 2000).

- Factores biológicos en el suelo

Las micorrizas tienen una capacidad selectiva por ciertos grupos microbianos, además de que juegan un papel importante en el control de enfermedades de hábitos radicales, debido a la barrera física formada por el manto fúngico y la producción de sustancias antibióticas por el hongo simbiote (ectomicorriza). Los HMA tienen un papel fundamental en la ecofisiología de las leguminosas noduladas y los microorganismos que habitan la rizosfera, sus hifas se conectan con la rizosfera de las plantas y se establece un flujo de nutrimentos como la transferencia del nitrógeno y fósforo (Ferrera-Cerrato, 1995).

### Aplicaciones de los HMA

Las micorrizas mejoran sustancialmente el desarrollo de las plantas, sobretodo en suelos de baja a moderada fertilidad, ya que aumenta la capacidad de la raíz de la planta para tomar los nutrimentos. Incrementando el insumo de potasio, hierro, cobre, calcio, nitrógeno, azufre, zinc y en particular el Fósforo. Además de aumentar la absorción de agua, la sanidad y longevidad de las raíces, incrementa la tolerancia a la sequía, a las altas temperaturas del suelo, a la toxicidad por metales pesados, a pH extremos y al estrés al trasplante, pueden producir metabolitos desde una planta a otra que pueden proteger a las raíces de la invasión de patógenos (González – Chavez , 1995).

Su función como agente de productividad de las plantas cultivadas y manejo del suelo en la agricultura sustentable, desempeña un papel muy útil, pero a pesar de ello, tienen factores que limitan la utilización de su gran potencial, debido a la falta de información suficiente sobre especificidad, selección del mejor inóculo dentro de una gran gama de poblaciones del suelo, por lo que resulta muy complicado. Por ello, se requiere investigar los diversos ambientes y problemáticas que encierran el desarrollo de estudios de la micorriza arbuscular (MA) y así poder dar recomendaciones de uso (Holguin *et al.*, 1996).

## EL MAÍZ EN MÉXICO

### Origen y características

Hasta el momento no se sabe con precisión la época y el lugar exacto de la aparición del maíz. Algunos científicos consideran que el maíz es nativo de Asia, otros piensan que es de América; esto último es lo más aceptado, ya que se tienen suficientes testimonios que lo avalan.

Así pues, quedan muy pocas dudas acerca del origen americano del maíz, pero es discutible en qué lugar. Se mencionan: México, Guatemala, Colombia, región Andina, Paraguay, Uruguay, Argentina, Bolivia y Brasil. Se tienen evidencias que indican que México fue el centro primario de origen, domesticación y dispersión del maíz; que ocurrió hace más de 6 mil años y las migraciones lo llevaron a Sudamérica, después se dispersó hacia el norte del continente y luego hacia Europa y Asia.

Los indígenas domesticaron e iniciaron la selección del maíz, contribuyendo relevantemente en la formación de variedades y razas; los agricultores las han conservado por siglos y los científicos las han estudiado y clasificado para su conservación, mantenimiento y mejoramiento.

Las variedades agronómicas son producto de la selección humana que tienden a formar grupos de plantas similares con fines de explotación económica. El nombre común de una variedad es por su lugar de origen, hay variedades nativas y criollas. Las nativas son las que se originaron en un lugar determinado y ahí evolucionaron; las criollas son las introducidas y adaptadas a las condiciones existentes en el lugar de adopción con las que se han logrado producciones aceptables para los agricultores.

El maíz es una de las plantas más útiles al hombre. Una de sus principales características es su gran adaptación, ya que se cultiva desde el Ecuador a diferentes latitudes norte y sur; desde el nivel del mar hasta más de 3 200 m.s.n.m. en suelos y climas muy variados y con una tecnología diversa.

La composición química es variable y está relacionada con: estadio, raza, variedad, tecnología de cultivo y clima. En general tiene un valor nutritivo alto, constituye una excelente fuente de energía, por su alto contenido de carbohidratos; en cambio, el contenido proteico es bajo, tanto en cantidad como en calidad, por ser incompleto en dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano; además, es insuficiente en niacina y en minerales. Su forraje es excelente al consumirse verde, ensilado, heneficado o en rastrojo (Hodges *et al.* 1995).



## Utilización

El maíz tiene múltiples usos que se pueden agrupar en:

### 1) GRANO

- ◆ Alimentación humana
- ◆ Alimentación del ganado
- ◆ Materia prima en la industria
- ◆ Semilla

### 2) PLANTA

- ◆ Forraje verde
- ◆ Ensilado
- ◆ Rastrojo, forraje seco
- ◆ Materia orgánica al suelo

### 3) MAZORCA

- ◆ Elote, alimento
- ◆ Forraje tosco
- ◆ Olote (combustible)

El maíz es el cereal más importante en la alimentación del mexicano (tortillas, bollos, arepa, elote, tamales, etc.), además de utilizarse como materia prima en la industria alimentaria (harina, maicena, aceite, mieles, etc.). Se estima que son más 800 artículos, que utiliza la humanidad, en los que interviene el maíz. En México, la mayor parte de la producción del maíz es para uso del grano como alimento humano en la fabricación de tortilla y/o la fabricación de harina de maíz nixtamalizado (González, 1995).

El maíz significa trabajo, moneda, pan y religión para grandes poblaciones de humanos; asimismo, representa un bienestar social, ya que su cultivo es una actividad y alimento en grandes áreas de México.

## Descripción Botánica

El maíz es un cereal que tiene múltiples clasificaciones, es una planta monoica, con flores unisexuales y alógama, con la siguiente clasificación taxonómica (Según Reyes, 1990).

<b>Reino</b>	<b>Vegetal</b>
<b>División</b>	<b>Tracheophyta</b>
<b>Sub-división</b>	<b>Pterapside</b>
<b>Clase</b>	<b>Angiosperma</b>
<b>Sub-clase</b>	<b>Monocotiledoneae</b>
<b>Orden</b>	<b>Graminales</b>
<b>Familia</b>	<b>Gramineae</b>
<b>Tribu</b>	<b>Maydeae</b>
<b>Género</b>	<b><i>Zea</i></b>
<b>Especie</b>	<b><i>Z. mays</i></b>

Se adapta mejor en suelos húmedos y fértiles, en regiones subtropicales templadas y en regiones tropicales altas, con temperaturas altas durante el día y bajas temperaturas nocturnas (Figura 1). Requiere de suelos bien drenados, con alto contenido de nitrógeno y un pH óptimo, entre 6.0-7.0 (Reyes, 1990).

## Raíz

El maíz tiene un sistema radical bien definido en tres estadios. Al germinar, emergen las raíces temporales o embrionales que nacen en el primer nudo; las raíces permanentes que nacen en el segundo nudo de la plántula o nudo superior del mesocotilo y las raíces adventicias que emergen de los nudos basales de la planta en crecimiento activo. Las raíces permanentes son ramificadas en forma horizontal cerca de la superficie, alcanzando un diámetro de 1.8 metros y en profundidad más de 2 metros, intervienen en el anclaje y nutrición de la planta en crecimiento activo hasta la madurez fisiológica.

## Tallo

Su tallo es una caña formada por nudos e internudos macizos, de longitud variable, gruesos en la base y de menor grosor en los entrenudos superiores. El número de nudos es variable en las diferentes razas y variedades con un rango de 8 a 26. En cada entrenudo hay una depresión que se extiende a lo largo del mismo, en la base del entrenudo hay yemas florales femeninas, que pueden ser 10 ó más, pero únicamente 1, 2 o 3 yemas llegan a formar el grano de maíz, inhibiéndose el desarrollo de las yemas inferiores. La altura del tallo es variable y depende de su genética y ambiente (0.3 a 5.5 m).

## Hojas

Las hojas tienen vainas que envuelven al internudo y cubren la yema floral. La lámina o limbo es de tamaño variable en el largo y ancho, con una nervadura central, el haz con pequeñas vellosidades, el envés liso sin vellosidades. Nacen en los entrenudos en la parte inferior inmediata a las yemas florales femeninas, se distribuyen en forma alternada a lo largo del tallo.

Las hojas debajo de la mazorca son determinantes en el desarrollo del sistema radical; las de arriba, en el desarrollo de la mazorca y llenado de grano.

Reyes, (1990) menciona que la defoliación de las hojas superiores y medias o inmediatas a la mazorca son las principales contribuyentes de carbohidratos a la mazorca.

## Flores

El maíz es una planta monoica de flores unisexuales muy separadas. Las flores que producen los granos de polen, en donde está el gameto masculino, se localizan en la inflorescencia terminal llamada panícula, espiga o miahuatl.

La panícula está estructurada por un eje central, ramas laterales primarias, secundarias y terciarias; las de clima caliente son largas, muy ramificadas y producen abundante polen; las de clima frío son más cortas, menos ramificadas y producen poco polen. Forman millones de granos de polen, que son muy ligero.

Las flores pistiladas se localizan en las yemas florales que emergen en las axilas de las hojas y que se denominan: yema floral pistilada, jilote, elote y mazorca.

Se agrupan en pares a lo largo de la inflorescencia femenina, que es una espiga cilíndrica, con un raquis central u olote, cubierta por brácteas, cuyo conjunto forman el "totomoxtle".

Las flores tienen un ovario con pedicelo unido al raquis u olote; un óvulo único, estilo muy largo con propiedades estigmáticas, es decir, en toda su longitud es receptivo y germina el grano de polen. Los estilos se extienden y desarrollan desde el ovario hasta emerger fuera del totomoxtle. El olote es el resultado de la fecundación y desarrollo del óvulo.

## Fruto

Se conoce con el nombre de grano o cariósipide, según los botánicos y los agricultores le denominan semillas. Se encuentran insertadas en el raquis u olote constituyendo hileras de granos o carreras cuyo conjunto forman la mazorca.

La mazorca tiene una amplia variación en tamaño, forma y número de hileras. Las hay desde escasos 5 cm de largo hasta de 50 cm. En México las razas de mazorcas más largas son: la raza Jala de Nayarit, raza Comiteco de Chiapas y una variedad de la raza Tuxpeño, conocida como Bejuco.

La mazorca es la infrutescencia o espiga cilíndrica formada por el grano, el olote, el pedúnculo y la cubierta o totomoxtle. El contenido del olote varía de 8 a 30 % y los agricultores prefieren los olotes delgados porque son más fáciles de cosechar, desgranar, secar el grano y en general, más precoces; además se les puede utilizar de muy diversas formas como: combustible, forraje tosco, para pipas, papel, disolventes y explosivos (Poelhman, 1979).

En la mazorca hay una amplia variación en forma, tamaño y número de hileras. La magnitud de ella y su número son de mayor importancia por ser elementos relacionados con el rendimiento del grano; tales componentes son: longitud, número de hileras, peso del grano y número de mazorcas por planta. Todas estas características de la mazorca tienen baja heredabilidad, es decir, se ven afectadas por el ambiente (Reyes, 1990).

Carácter	Heredabilidad
Longitud de mazorca	De 10 - 30 %
Número de mazorcas	De 15 - 40 %

Fuente: Reyes, 1990.

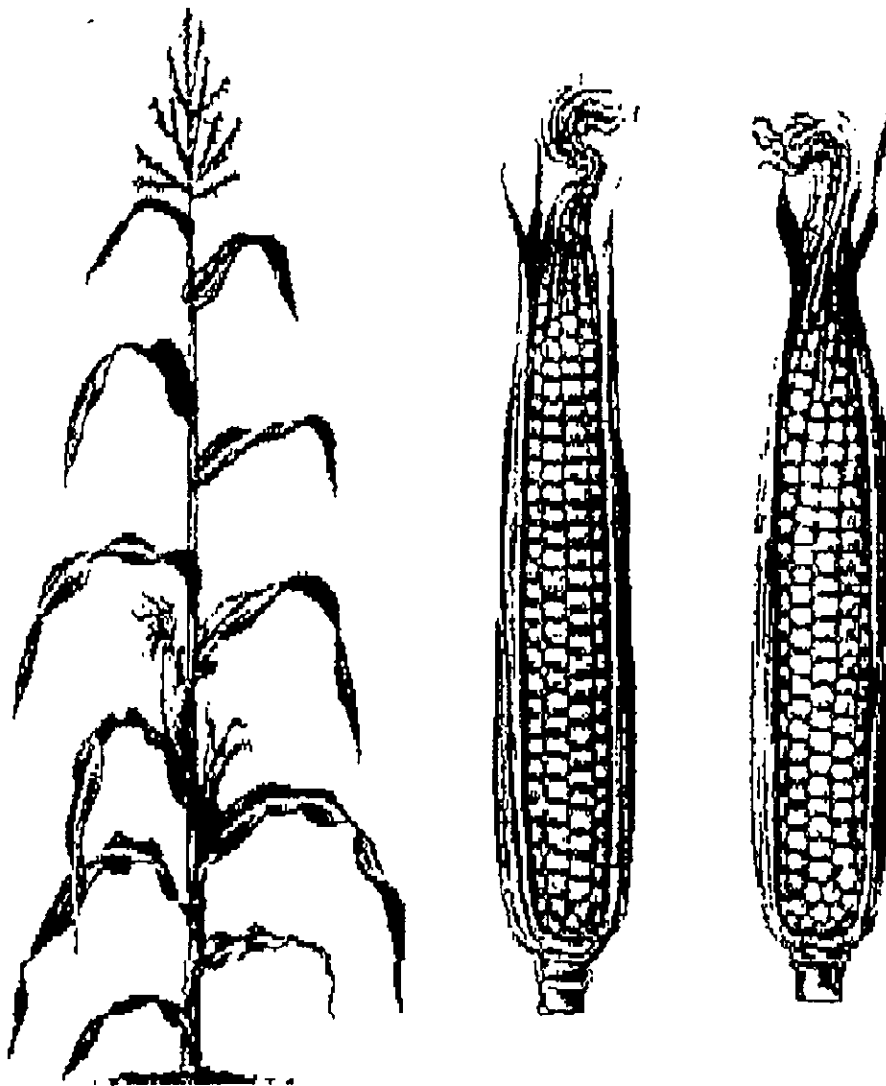


Figura 1 La planta de maíz

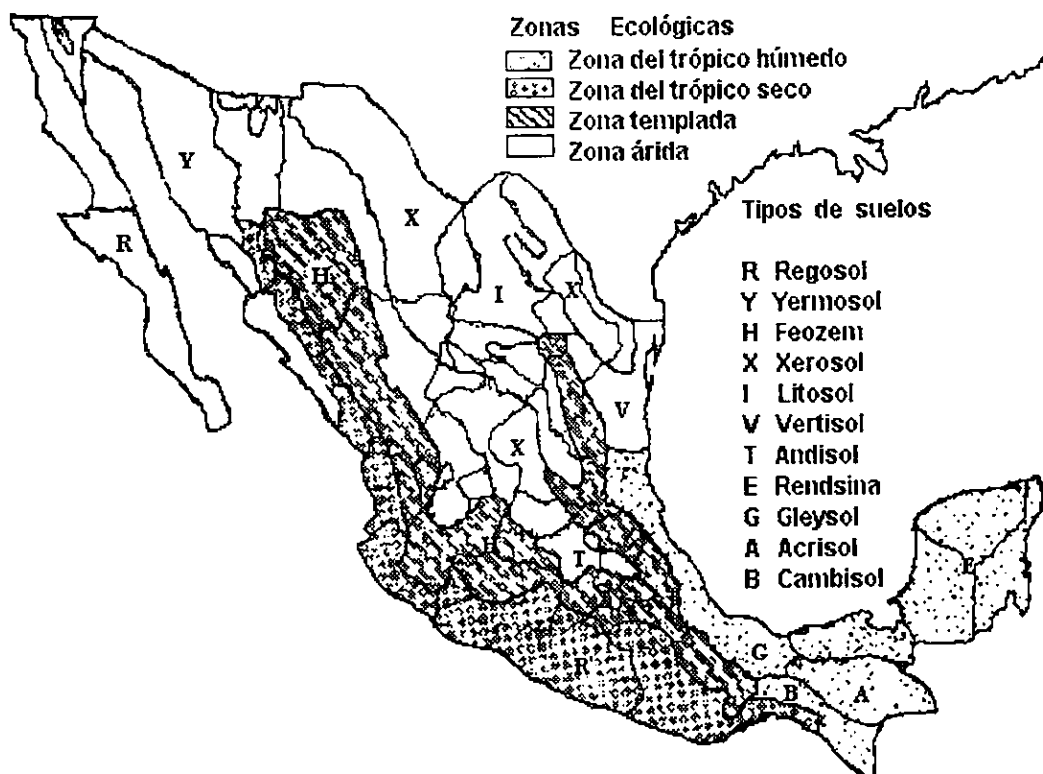
Fuente: Grolier Interactivo Inc. 1997.

## ANDISOLES

### Localización

Los Andisoles ocupan una superficie de 7.3 millones de hectáreas, extendiéndose en una franja irregular desde el Pacífico hasta el Golfo de México (Eje Neovolcánico) y áreas aisladas de Yucatán, Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Jalisco (Ortíz, 1985).

Los suelos ácidos son propios de regiones con alta precipitación pluvial, en las que los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio) se han lixiviado. En general, los suelos minerales ácidos se caracterizan por tener un alto contenido de aluminio activo, el cual es causante de la fijación del fósforo y del molibdeno. En México, los suelos ácidos se ubican principalmente en la zona intertropical y corresponden a las unidades de Andisoles, Gleysoles, Cambisoles, Acrisoles y Nitosoles (Figura 2).



**Figura 2** Ubicación de los Andisoles en México

Fuente: Instituto Nacional de Ecología. 1994.

## Características

Los Andisoles son suelos minerales, en donde la fracción activa está dominada por el material amorfo (50% como mínimo; presentan una gran capacidad de adsorción, un horizonte A relativamente grueso, oscuro, rico en materia orgánica, con baja densidad aparente y poca plasticidad. Presentan altos contenidos de Alofano (material amorfo), que influyen en la fijación del fósforo y en la baja disponibilidad del mismo, por las plantas.

El fósforo es retenido por adsorción en las superficies reactivas del suelo como son: los óxidos de hierro y aluminio, alofano y arcillas, en donde ocurre un intercambio de adsorción entre el ion hidróxilo y los iones fosfato. La especie iónica de fosfatos retenida está determinada por el pH, siendo los iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ , los que se encuentran en mayor proporción a los pH s: ácidos, típicos en estos suelos.

El contenido de materia orgánica en su horizonte superficial varía de 7.5% a 40.3%, la relación carbono / nitrógeno es más alta que en los suelos minerales comunes. Tanaka (1980) menciona que cuando los suelos se abren por primera vez al cultivo la materia orgánica comienza a mineralizarse y suministra nitrógeno para los cultivos. Sin embargo, después de varios años, dependiendo de la intensidad de la explotación, se puede presentar una deficiencia de nitrógeno.

El pH del suelo es ácido y presenta gran cantidad de aluminio activo, lo cual determina en gran medida la poca disponibilidad de fósforo, pérdida de potasio, amonio, con bajos contenidos de calcio intercambiable y deficiencias de micronutrientes que se lixivian, además de formar quelatos con la materia orgánica.

## Efectos de la acidez sobre el suelo

La acidez de suelo ejerce efectos directos e indirectos sobre las plantas. Las influencias directas son:

- a) Efectos tóxicos de los iones de  $\text{H}^+$  en los tejidos de la raíz.
- b) Influencia sobre la permeabilidad de las membranas de la planta para los cationes y,
- c) Perturbación en el equilibrio entre los constituyentes básicos y ácidos a través de las raíces.

Los efectos indirectos son:

- a) Disponibilidad de nutrimentos diversos (cobre y zinc).
- b) Solubilidad elevada y disponibilidad de elementos como aluminio, manganeso y hierro en cantidades tóxicas.
- c) Afectación en la actividad benéfica de los microorganismos.
- d) Aumento en las enfermedades y,
- e) Deficiencias de nutrimentos como calcio, potasio y fósforo (Tamhane *et al.*, 1986, Tisdale y Beaton, 1988).

La densidad aparente de estos suelos es baja y generalmente se encuentra entre 0.45 a 0.75 g/cm<sup>3</sup>. Debido a ello, la cantidad de nutrimentos por unidad de volumen es baja, por lo que en ocasiones al compactar el suelo, se han encontrado efectos favorables en el desarrollo de los cultivos. La textura puede ser de franco a migajón arcillo arenosa.

En estos suelos la fase sólida ocupa un 20 %, la líquida un 30 % y la gaseosa un 50 % sobre la base de volumen. Por otra parte, poseen gran cantidad de poros pequeños, debido a la gran superficie específica del alofano y a los porcentajes elevados de materia orgánica; por ello, tienen una gran cantidad de retención de humedad (Vergara, 1992).

## ENCALADO

### Aplicaciones

En México se tiene una importante extensión de suelos ácidos en los que es indispensable poner en práctica una serie de técnicas para mejorar su fertilidad; el encalado es una de ellas. Actualmente la cantidad de cal agrícola que se aplica a los suelos del país es muy poca, no se cuenta con datos reales de consumo, ya que parte de la cal que se aplica al campo es como cal de construcción; sin embargo, es probable que no rebase las 20 000 ton año<sup>-1</sup> (Aguilar, 1994).



El encalado de los suelos agrícolas es practicado desde tiempos muy remotos (en Europa, desde 200 años antes de nuestra era). La aplicación de cal forma parte de las medidas para mantener la fertilidad del suelo con el fin de mejorar la producción vegetal y conservar el suelo (Wild 1992; Villar *et al.* 1998), mediante el cumplimiento de:

- ◆ La inactivación del aluminio intercambiable y en solución.
- ◆ Reducir la fijación de fósforo.
- ◆ Contrarrestar la toxicidad de manganeso.
- ◆ Corregir deficiencias de calcio, magnesio o molibdeno.
- ◆ Mejora la actividad microbiana.
- ◆ Eleva la capacidad de intercambio catiónico.

### Efectos del encalado

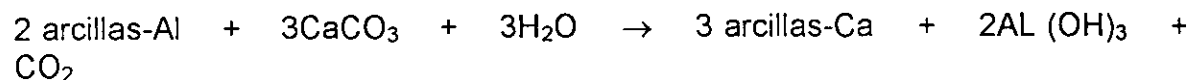
La acidez del suelo se elimina, mediante su neutralización con un material alcalino resultando la formación de una sal y agua, mediante la reacción:



El  $\text{CaCO}_3$  es un material alcalino, ya que en agua participa en reacciones de hidrólisis:



Como el aluminio se considera parte de la acidez del suelo, es conveniente indicar que en el caso de iones Al adsorbidos sobre los coloides del suelo, la reacción representativa es:



Si la adición de cal se hiciera en tal forma y magnitud que neutralizara toda la acidez del suelo, los productos finales serían  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Al}(\text{OH})_3$  [ $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  en caso de estar presentes] y el pH del suelo sería de 8.3. Esto no sucede en la práctica, ya que se aplica una cantidad de cal que sea suficiente para elevar el pH del suelo alrededor de una unidad.

Aun teniendo valores de pH similares, los diferentes tipos de suelos, requieren cantidades de cal diferentes para lograr un valor deseado de pH. El cultivo es otro factor determinante para decidir la cantidad de cal, así como el tipo de cal y los métodos de cultivo aplicados, sin olvidar aspectos económicos y de disponibilidad de materiales encalantes en la región de trabajo. La cantidad de cal aplicada varía, en general, de media tonelada hasta 10 o más toneladas de cal por hectárea (Aguilar, 1994).

En la zona de estudio se realizó una evaluación de la cantidad media de cal que se aplica y que eleva el pH del suelo mejorando sus propiedades y la nutrición del cultivo de maíz, encontrando que es aproximadamente de 1 tonelada por hectárea (Hernández *et al.*, 1997).

### III - HIPÓTESIS

Considerando que en los Andisoles del Estado de México, se ha reportado la presencia de hongos micorrízicos arbusculares eficientes; se espera que al inocular plantas de maíz con *Azospirillum brasilense*, se incremente el efecto que producen estos microorganismos por separado; aumentando el rendimiento del cultivo de maíz, situación que sería mejorada por el encalado de estos suelos.

## IV.- OBJETIVOS

### GENERAL

Evaluar el efecto de la inoculación con *Azospirillum* y hongos micorrízicos arbusculares nativos en el rendimiento de tres genotipos de maíz criollo en un suelo ácido encalado y sin encalar, en el Estado de México.

### ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto del encalado sobre la colonización por *Azospirillum* y hongos micorrízicos arbusculares nativos en raíces de plántulas (30 y 60 días) de maíz.
- Analizar el efecto del encalado sobre el desarrollo de los genotipos de maíz.
- Determinar el contenido de nitrógeno y fósforo foliar en los diferentes tratamientos, en la etapa de floración (jilote).
- Analizar el efecto de la inoculación con la cepa de *Azospirillum brasilense* (VS7), sobre el desarrollo (biomasa) de tres genotipos de maíz criollo (Blanco, Pico de Gorrión y Negro).
- Evaluar el efecto de la inoculación con *Azospirillum* sobre el rendimiento de los tres genotipos de maíz criollo.

## V.- DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### Localización

El experimento se estableció en un terreno del rancho El Nopal en el poblado del Hospital localizado en el Municipio de Villa Victoria, Estado de México, a los 99° 0' Longitud Oeste y 19° 30' Latitud Norte (Figura 3). Se ubica en la subprovincia fisiográfica de Mil Cumbres, con afloramientos de rocas triásicas como pizarras y filitas, aflorando rocas sedimentarias cálcicas del terciario y cuaternario y rocas volcánicas cenozoicas (INEGI, 1990).

### Suelo

Los suelos del área de trabajo son de la Unidad Ando, estos van de una acidez moderada a fuerte. El nombre de andosol deriva del japonés an - oscuro y do - suelo, suelos formadores de materiales ricos en vidrio volcánico; presentan propiedades ándicas a una profundidad de 35 cm o más y tienen un horizonte A mólico o A úmbrico que descansa posiblemente sobre un B cámbico o un A ócrico y un B cámbico; carecen de las propiedades de diagnóstico de los vertisoles, también carecen de propiedades sálicas (Ortíz *et al.*, 1990). Presentan una densidad aparente baja, un alto porcentaje de fijación de fósforo, son ricos en materia orgánica, tienen un pH ácido y una alta capacidad de retención de agua, características típicas de este tipo de suelo.

### Clima

Presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (CW), los meses fríos del año son: diciembre, enero y febrero, donde se registran heladas y temperaturas mínimas entre -3 a -5 ° C y máximas de 20 ° C (García, 1981).

### Vegetación

Presenta zonas agrícolas, forestales y pecuarias. La vegetación natural que predomina es de bosque de pino, encino, pino - encino, gramíneas, arbustos, hierbas. Los principales cultivos de temporal son el maíz, trigo, avena y cebada (Rzedowski, 1994).



ZONA DE ESTUDIO

VILLA  
VICTORIA

TOLUCA

ESTADO DE MÉXICO

Figura 3 Localización de la zona de estudio

## VI.- MATERIALES Y METODOS

Para cumplir con los objetivos antes planteados y comprobar la hipótesis formulada el trabajo se realizó a nivel de campo y de laboratorio.

### Diseño experimental

Se estableció un diseño experimental con 72 unidades experimentales, el cual estaba constituido por 18 tratamientos con cuatro repeticiones distribuidas completamente al azar (Reyes, 1999), ubicadas en dos bloques, uno sin cal y otro encalado; se aplicó 2 ton ha<sup>-1</sup> de cal viva (CaO) (Cruz, 1996), utilizando tres genotipos de maíz criollo, el "Blanco", "Pico de Gorrión" y "Negro", en el municipio de Villa Victoria, Estado de México. Se inicio en el mes de febrero de 1998 con la aplicación de cal, dos meses antes de la siembra (ver croquis).

### Inoculación, siembra y fertilización

El maíz se inoculó con la cepa de *Azospirillum brasilense* (VS7) de la siguiente manera: a la semilla se le agregaron 210 mL de goma arábica al 5 %, mezclándose perfectamente con la semilla para que se humedeciera; luego se le agregó el inoculante en turba al 1 %, con 60 x 10<sup>6</sup> ufc/g y se homogeneizó, para después sembrarse. Todo esto bajo sombra y de la manera más aséptica posible en el momento de la siembra en el campo.

Se utilizó la dosis de fertilización regional que es de 100-80-00 Kg ha<sup>-1</sup>, el nitrógeno en forma de sulfato de amonio (aplicado en dos etapas, en la siembra y primera escarda) y el fósforo como superfosfato triple de calcio (en la siembra).

Cada unidad experimental estuvo constituida por una superficie útil de 25 m<sup>2</sup>, en un área total de 5 surcos de ancho (distancia entre ellos de 90 cm) y 10 m de largo (parcela bruta de 45 m<sup>2</sup>), con una densidad de siembra de 60 000 plantas ha<sup>-1</sup>, tres plantas por mata y 60 cm de separación entre ellas.

Se evaluó las características morfológicas en 100 plantas en cada unidad experimental y 25 plantas en los muestreos destructivos en los tratamientos indicados en la Tabla 1, los cuales se distribuyen en el campo como se muestra en el siguiente croquis.

<b>4</b>	36	<b>1</b>	27	<b>3</b>	18	<b>2</b>	9
<b>2</b>	35	<b>7</b>	26	<b>6</b>	17	<b>7</b>	8
<b>9</b>	34	<b>5</b>	25	<b>4</b>	16	<b>1</b>	7
<b>1</b>	33	<b>5</b>	24	<b>7</b>	15	<b>5</b>	6
<b>6</b>	32	<b>8</b>	23	<b>9</b>	14	<b>9</b>	5
<b>2</b>	31	<b>1</b>	22	<b>4</b>	13	<b>8</b>	4
<b>3</b>	30	<b>6</b>	21	<b>6</b>	12	<b>4</b>	3
<b>8</b>	29	<b>3</b>	20	<b>9</b>	11	<b>2</b>	2
<b>7</b>	28	<b>8</b>	19	<b>5</b>	10	<b>3</b>	1

Croquis que muestra la distribución de los tratamientos en los bloques con cal y sin cal en el campo. El número en "negritas" indica el tratamiento y sus repeticiones. El número de la esquina indica la parcela experimental.

**Tabla 1 Tratamientos empleados en el experimento**

SUELO ENCALADO	SUELO NO ENCALADO
1. - B F	1. - B F
2. - P F	2. - P F
3. - N F	3. - N F
4. - B I	4. - B I
5. - P I	5. - P I
6. - N I	6. - N I
7. - B F+I	7. - B F+I
8. - P F+I	8. - P F+I
9. - N F+I	9. - N F+I

B = genotipo Blanco, P = genotipo Pico de Gorrión, N = genotipo Negro;  
 F= fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum*  
 18 tratamientos x 4 repeticiones = 72 unidades experimentales.



## Determinaciones físicas y químicas de suelo

Se tomó una muestra compuesta del suelo con cal y una del suelo sin cal, en zig-zag, constituida de 30 submuestras individuales (Etchevers, 1985). El análisis físico y químico del suelo se realizó antes de la siembra y después de la cosecha para conocer los cambios que se producen en el suelo al encalarse.

Se determinó la textura por el método de Bouyoucos, la densidad aparente por el método de la probeta, la densidad real por el método del picnómetro y el espacio poroso mediante la relación de la densidad aparente y real (Grande, 1974; Gavande, 1979; Alcántar, 1992). Las determinaciones químicas como el pH activo (relación acuosa de 1:2.5) se realizó por el método potenciométrico, el porcentaje de materia orgánica por el método de Walkley-Black, el nitrógeno total por el método de microkjeldahl y el fósforo extractable por el método de Bray 1 (Grande, 1974; Ruiz, 1979; Jackson, 1982).

## Evaluación del efecto de la inoculación y encalado del suelo sobre el desarrollo y rendimiento del maíz

El primer muestreo se realizó el 15 de mayo (33 días después de la siembra), se evaluó el número de plantas que se establecieron por parcela en los 18 tratamientos, además se midió la longitud foliar (cm) de una muestra de 100 plantas por parcela (400 plantas por tratamiento).

El segundo muestreo se realizó el 12 de junio (61 días), para lo que se colectaron 25 plantas por parcela y 100 plantas por tratamiento, a las cuales se les determinó su longitud foliar (cm), peso fresco foliar (g), longitud de la raíz (cm), peso fresco de la raíz (g), porcentaje de raíces colonizadas con *Azospirillum* y porcentaje de colonización micorrízica arbuscular.

En el tercer muestreo (14 agosto) se midió la longitud foliar, número de jilotes y número de matas en cada parcela. Se colectó la hoja bandera de 25 plantas por parcela para evaluar la acumulación de fósforo y nitrógeno foliar.

En el mes de octubre se realizó la cosecha y se determinó el peso y número de mazorcas de los dos surcos centrales de cada parcela, el peso de diez plantas sin mazorca (para evaluar el forraje) en cada unidad experimental; en las mazorcas se midió la longitud, número de hileras de granos, además se determinó el peso de 100 granos de maíz, así como el peso del olote (CIMMYT, 1983). Finalmente

se evaluó el rendimiento de las tres variedades de maíz en cada uno de los tratamientos, utilizando la fórmula siguiente:

$$R \text{ (kg/ha)} = \text{PCP} \times \text{MS} \times \text{D} \times \text{H} \times \text{F}$$

R = Rendimiento /ha en kg a 15% de humedad del grano de maíz

PCP = Peso de campo, por parcela

MS = Fracción de materia seca en la muestra = Peso seco submuestra / peso fresco submuestra.

El peso seco = Peso después de secado al sol

D = Fracción de desgrane = peso del grano / Peso del grano más elote.

H = Factor para llevar el peso seco a peso con 15 % de humedad =  $100/85 = 1.176$

F = Factor para convertir kg/ Parcela en kg/ ha =  $10\ 000 \text{ m}^2 / \text{área útil cosecha m}^2$ .

### **Determinación de la cantidad de *Azospirillum* en el inoculante y en las semillas inoculadas**

El inoculante sólido a base de turba y la cepa VS7 de *Azospirillum brasilense* fueron proporcionados por el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Química, UNAM y se aplicó en la semilla en el momento de la siembra a una concentración del 1 %.

Se utilizó el método de diluciones y placa vertida, el medio empleado fue gelosa nutritiva; cada dilución se sembró por triplicado y se incubó a 34°C, durante 72 horas.

Se evaluó el número de unidades formadoras de colonias en las semillas de maíz al inocularse, encontrando 300 000 / 10 g de semillas (20 semillas), es decir  $15 \times 10^3$  ufc/ semilla.

### **Evaluación del porcentaje de raíces colonizadas por *Azospirillum***

Las raíces de maíz se lavaron bajo el chorro de agua de llave. Para eliminar la mayor parte de suelo, se sacudieron y se sumergieron de 5 a 10 segundos en etanol al 95%. Luego se transfirieron a una solución de bicloruro de mercurio al 0.1%, durante 3 minutos, bajo campana y al lado de dos mecheros encendidos, se transfirieron usando pinzas esterilizadas con alcohol y expuestas rápidamente a la llama, a un vaso de precipitados con agua estéril, este paso se repitió cinco veces (lavado).

Las raíces se cortaron en trozos de 1 centímetro lineal aproximadamente, se colocaron en tubos que contenían el medio NFB semisólido y se incubaron a 34 °C durante 72 horas. Se consideraron como tubos positivos aquellos en los que, después de 24 a 48 horas de incubación, registraron un desarrollo de 2 a 3 mm debajo de la superficie del medio y vire del indicador por alcalinización del medio (Tarrand *et al.*, 1978).

### **Evaluación del porcentaje de colonización por hongos micorrízicos arbusculares**

La presencia de micorrizas arbusculares, se determinó a través del porcentaje de colonización micorrízica arbuscular por el método de Phillips y Hayman (1970), que involucra el clareo, blanqueo, acidificación, tinción y decoloración (Ferrera-Cerrato, 1993).

### **Determinación de la acumulación de nitrógeno y fósforo foliar**

Se determinó por los métodos de Kjeldahl y Amarillo de vanadato - molibdato, respectivamente (Chapman y Pratt, 1997).

### **Análisis estadístico**

A todos los resultados se les aplicó la prueba estadística de significancia, que se basó en una comparación de medias de los diferentes tratamientos, utilizando la prueba de Tukey con un alfa de 0.05 %.

## VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad de bacterias por semilla resultó de  $15 \times 10^3$  ufc y en el inóculo inicial fue de  $60 \times 10^6$  ufc/g, esta concentración corresponde a aquella considerada por otros autores como un valor óptimo. En este sentido Bashan (1996), menciona que los efectos que sobresalen de la inoculación, se encuentran directamente relacionados con la concentración del inóculo, observando que el nivel de inoculación óptimo en semillas y plántulas para muchos cereales es de alrededor de  $10^5$  a  $10^6$  ufc/mL. Mientras que Fallik (1988) dice que para maíz es de  $10^7$  ufc/mL, concentración que produce o induce efectos positivos en diversos parámetros morfológicos de la raíz, tales como incremento en el número y longitud de las raíces laterales. En cereales, la colonización ocurre principalmente en la superficie (Bashan y Levanony, 1990; Okon y Kapulnik, 1986).

Los resultados que se presentan para cada uno de los cuatro muestreos corresponden a promedios de 400 y 200 datos.

En la Tabla 2, se muestran los resultados de las determinaciones físicas y químicas de suelo. En ésta se observa que los porcentajes de arena, limo y arcilla corresponden a un suelo de textura franco arenoso, con una densidad aparente baja y un porcentaje de espacio poroso elevado, en el que predominan los macroporos que proporcionan un buen drenaje al suelo.

Las características anteriores, al igual que los porcentajes de materia orgánica y nitrógeno total, se mantuvieron constantes en el suelo encalado. En tanto que los valores de pH y fósforo fueron más altos. El pH inicial indica que el suelo es ácido, lo que en parte se debe a la concentración de materia orgánica, la que durante su descomposición libera ácidos carboxílicos y fenólicos e iones de hidrógeno (Foth, 1992).

El contenido de materia orgánica permite clasificar a este suelo como extremadamente rico (Vázquez, 1993). Esta característica se debe en parte a la baja mineralización de la materia orgánica, por la presencia de compuestos de alofano, que fijan aniones y forman complejos con los ácidos orgánicos lo que dificulta su descomposición y mantiene la materia orgánica (Cajuste, 1977).

El contenido de nitrógeno total clasifica al suelo bajo y en cuanto al de fósforo extremadamente pobre. Este último aspecto se atribuye a la presencia de materiales amorfos que presentan altos porcentajes en fijación de fósforo, lo que da algunas características de baja fertilidad (Potash & Phosphate Institute, 1997).

En los suelos alofánicos el complejo de intercambio contiene aluminio absorbido y cantidades pequeñas de hierro y manganeso que, al combinarse con los fosfatos forman compuestos insolubles de aluminio, hierro y magnesio, los cuales se

precipitan o se absorben en la superficie de los óxidos de aluminio y de hierro o en las partículas amorfas del suelo como el alofano (Tisdale, 1988).

**Tabla 2 Características físicas y químicas del suelo antes y después del encalado**

PROPIEDADES	ANTES	DESPUES
Arena (%)	76.6	77.5
Limo (%)	9.3	9.2
Arcilla (%)	14.1	13.3
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2.12	2.12
Densidad aparente(g/cm <sup>3</sup> )	0.98	1.0
Espacio poroso (%)	56.1	56.9
pH	5.9	6.6
Materia orgánica (%)	4.3	4.4
Nitrógeno total (%)	0.035	0.082
Fósforo soluble (ppm)	0.96	2.5

Como se indicó, las características que se modificaron con la aplicación de la cal fueron el pH y el contenido de fósforo, el primero aumentó un poco más de media unidad, mejorando ligeramente la disponibilidad del fósforo, ya que éste permaneció en el rango de extremadamente pobre. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Aguilar y Trinidad (1995), los que realizaron un estudio de los cambios químicos de un andisol por el encalado y la adición de porqueraza, así como de su efecto en la respuesta de maíz; ellos indican que el encalado elevó el pH, disminuyó la acidez extractable, aumentó el P disponible, CIC, cargas variables y rendimiento de materia seca de maíz.

Las tablas que se muestran a partir de la número tres presentan los resultados con valores promedio, arreglados por tratamientos para observar las diferencias entre tratamiento y bloques (tablas) y las figuras siguientes muestran las características de los tres genotipos de maíz, lo que nos permite compáralos. Los números marcados en "negritas" indican los valores más altos en cada bloque.

Los resultados mostrados en la Tabla 3, indican que ambos bloques (sin cal y con cal) son iguales estadísticamente, con una media de 167.7 y 151.1 respectivamente. En tanto que entre tratamientos si hay diferencia; en el bloque sin cal el mayor número de plantas emergidas se dio en los tratamientos fertilizados e inoculados (F+I) y fertilizados (F), en orden decreciente los tratamientos 8, 7, 3, 2, 9 y 5, con valores de 230 a 160 plantas emergidas. El bloque con cal presenta los valores mayores en plantas fertilizadas (F) y fertilizadas e inoculadas (F+I) que corresponden a los tratamientos 3, 2, 9 y 8, en rangos que van de 180 a 160 plantas. Se considera que la emergencia estuvo dada por las características de los genotipos de maíz empleado y en segundo término por efecto de la fertilización.

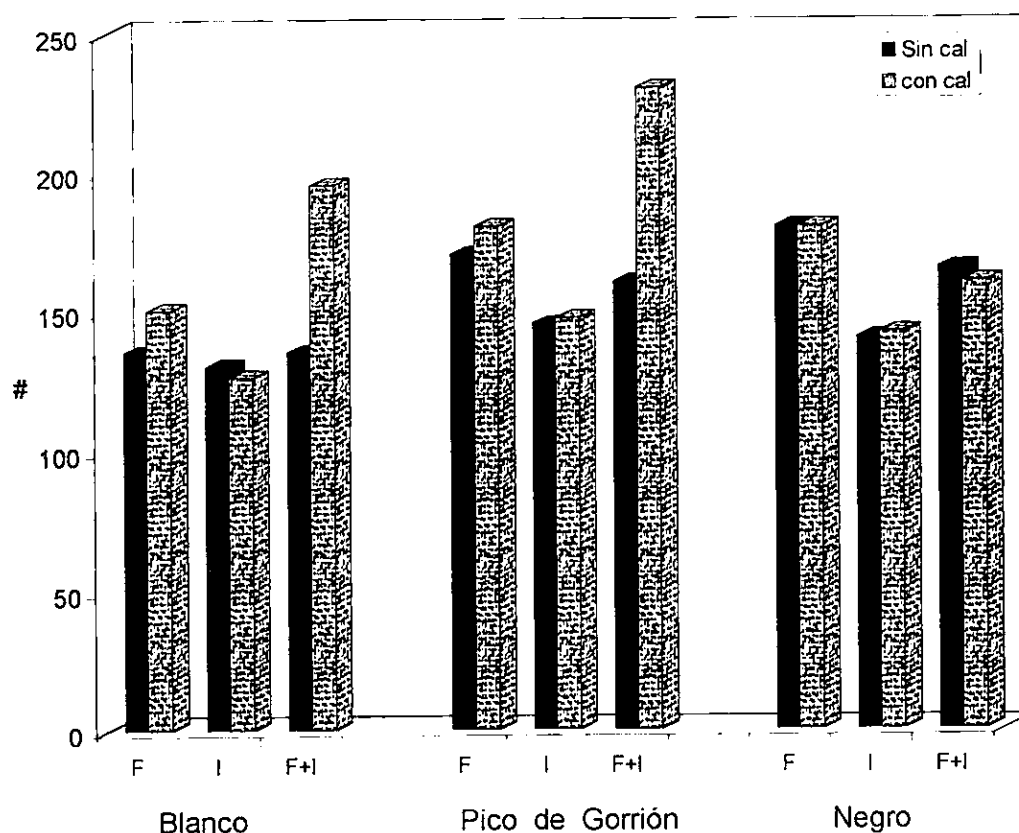
**Tabla 3** Número de plantas emergidas de maíz en los diferentes tratamientos a los 31 días después de la siembra (mayo)

TRATAMIENTOS	Suelo	
	Sin Cal	Con Cal
1 <sub>BF</sub>	150 b	135 b
2 <sub>PF</sub>	180 a	170 a
3 <sub>NF</sub>	180 a	<b>180 a</b>
4 <sub>BI</sub>	126 b	130 b
5 <sub>PI</sub>	147 b	145 b
6 <sub>NI</sub>	142 b	140 b
7 <sub>BF+I</sub>	195 a	135 b
8 <sub>PF+I</sub>	<b>230 a</b>	160 a
9 <sub>NF+I</sub>	160 b	165 a
X	167.7 a	151.1 a

a, b = Presenta diferencia estadística (alfa= 0.05 %)

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado.

El genotipo que presentó menor número de plantas emergidas en los diferentes tratamientos (F=fertilizado, I=inoculado y F+I=fertilizado e inoculado), fue el Blanco (B), seguida del Negro (N), teniendo el mayor número de emergencia el genotipo Pico de Gorrión, se considera que los genotipos se manifiestan de manera diferente a los cambios del suelo y sobre todo a la fertilización (Figura 4).



**Figura 4** Número de plantas emergidas en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrion y Negro a los 31 días después de la siembra, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con *Azospirillum brasilense* (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.

En la Tabla 4, se muestra el porcentaje de raíces de plantas de maíz colonizadas por *Azospirillum brasilense* en suelo sin cal y con cal, se observa que de mayo a junio se presentó un aumento en el porcentaje de colonización de las raíces de los diferentes genotipos de maíz por *Azospirillum* con valores de 52.6 % a 74.9 % en el bloque sin cal y de 52.7% a 69.1 % en el bloque con cal, con diferencia estadística significativa (ver Apéndice II).

En el mes de junio se presentó un mayor porcentaje de colonización de las raíces en el suelo sin cal con respecto al encalado, además de presentar diferencias entre tratamientos en ambos bloques (sin cal y con cal). En el suelo sin cal, los tratamientos inoculados con *Azospirillum brasilense* presentaron los porcentajes de colonización más altos por *Azospirillum*, que oscilaron entre 87.5 % a 83.3% respectivamente.

**Tabla 4** Porcentaje de colonización radical del maíz por *Azospirillum brasilense* en suelo sin y con cal en los meses de mayo y junio

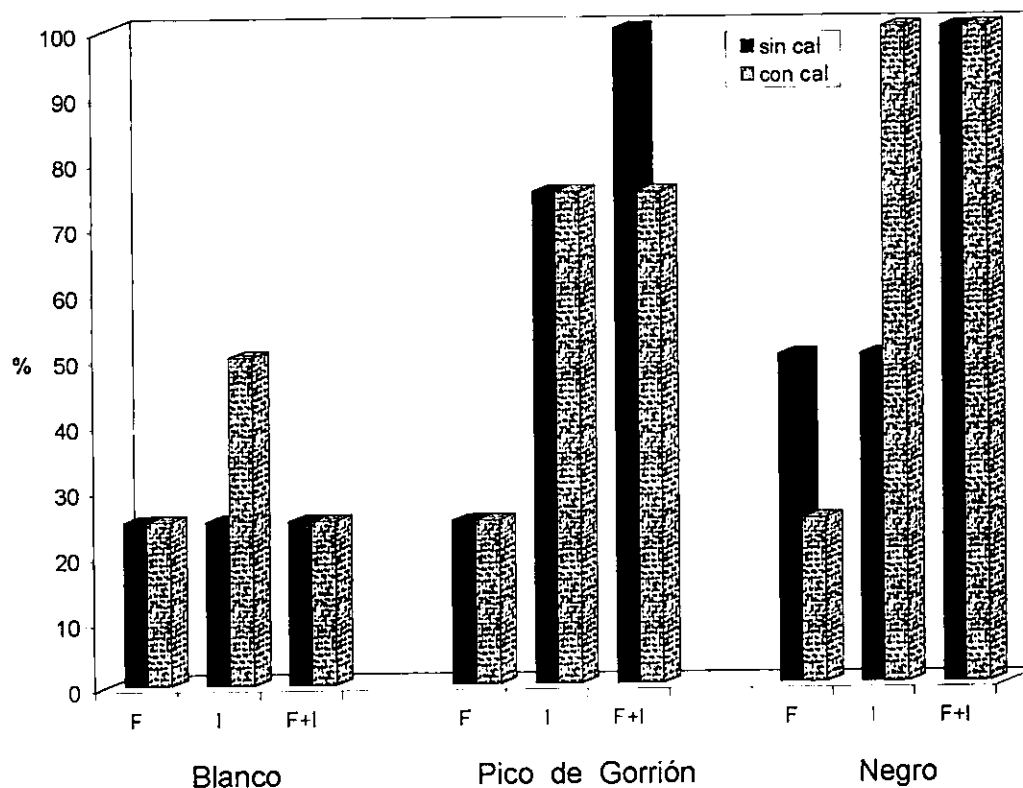
Tratamientos	MAYO <sup>b</sup>		JUNIO <sup>a</sup>	
	Sin Cal	Con Cal	Sin Cal	Con Cal
1 <sub>BF</sub>	25 b	25 b	62.5 b	80.5 a
2 <sub>PF</sub>	25 b	25 b	75.0 b	62.0 b
3 <sub>NF</sub>	50 b	25 b	62.5 b	<b>87.0 a</b>
4 <sub>BI</sub>	25 b	50 b	83.3 a	62.0 b
5 <sub>PI</sub>	75 a	75 a	<b>87.5 a</b>	79.5 a
6 <sub>NI</sub>	50 b	<b>100 a</b>	<b>87.5 a</b>	<b>87.0 a</b>
7 <sub>BF+I</sub>	25 b	25 b	62.5 b	55.5 b
8 <sub>PF+I</sub>	<b>100 a</b>	75 a	<b>87.5 a</b>	42.8 c
9 <sub>NF+I</sub>	<b>100 a</b>	<b>100 a</b>	66.6 b	42.3 c
X	52.6 a	52.7 <sup>a</sup>	74.9 a	69.1 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

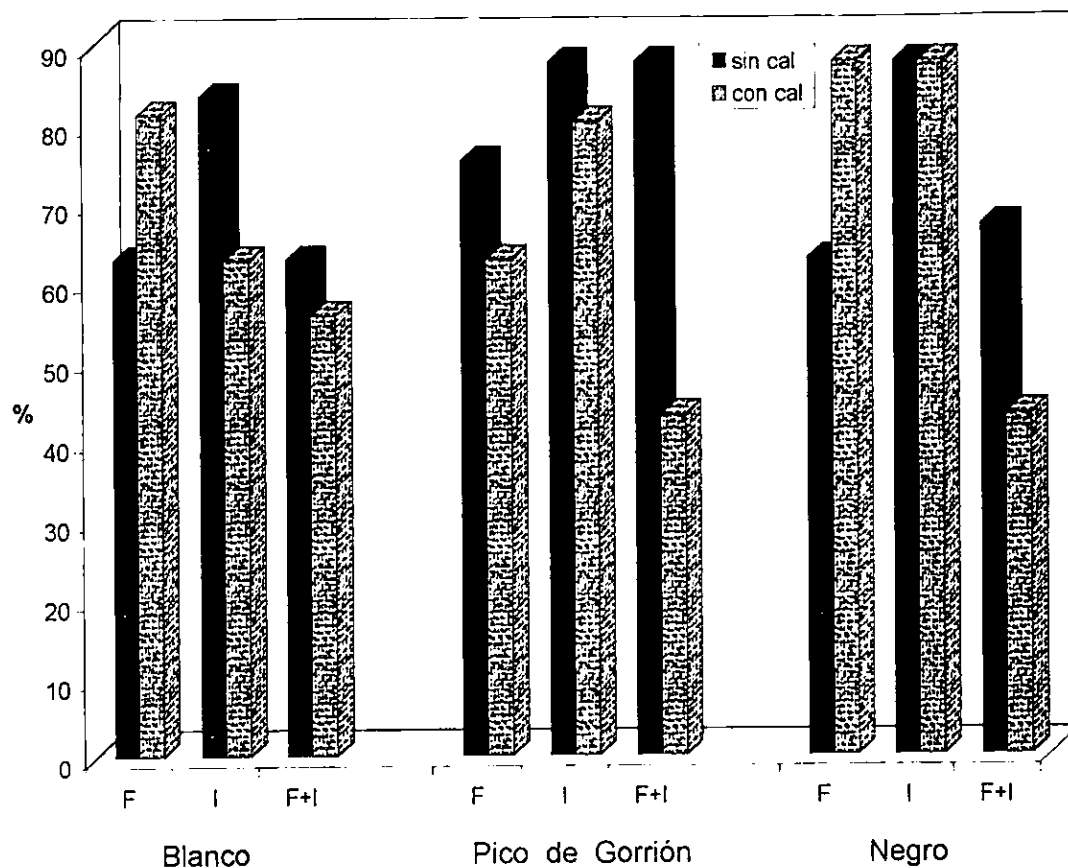
En mayo se observa que el genotipo Blanco presentó los porcentajes más bajos con valores que abarcan del 25% a 50% de colonización por *Azospirillum* en todos los tratamientos (F, I y F+I), seguida en orden creciente el genotipo Pico de Gorrión con rangos que van del 25% al 100% y por último el genotipo Negro con rangos del 50% al 100% (Fig. 5)





**Figura 5** Porcentaje de colonización radical de los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro por *Azospirillum brasilense* en el mes de mayo, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con *Azospirillum brasilense* (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.

En junio los valores más altos se encontraron en los tratamientos que estaban inoculados (I y F+I), lo cual era de esperarse. El genotipo Pico de gorrión presenta el porcentaje de colonización mayor en el suelo sin cal, que va de 75% a 87.5%, seguida de los genotipos Negro y Blanco en orden decreciente. En cuanto a la colonización en suelo con cal se observa que el genotipo Negro presentó los mayores porcentajes en los tratamientos fertilizados (F) e inoculados (I) con un valor de 87.0% (Fig. 6).



**Figura 6** Porcentaje de colonización radical de los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrion y Negro por *Azospirillum brasilense* en el mes de junio, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con *Azospirillum brasilense* (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.

La cepa de *Azospirillum brasilense* VS7 resultó muy competitiva con las nativas, ya que en los tratamientos inoculados (I, F+I) se presentan los mayores porcentajes. Estos datos concuerdan con lo que Mendoza *et al.* (1990) determinaron, al evaluar el efecto de las bacterias fijadoras de nitrógeno sobre las características del maíz, encontraron que las poblaciones de *Azospirillum* se incrementaron en los tratamientos inoculados con ellas y disminuyen en aquellos tratamientos donde se aplicó solo el fertilizante químico.

Aunque no hubo diferencia estadística significativa entre los tratamientos sin y con cal en este mes de junio, se observó que los valores promedio de colonización de los tratamientos sin cal (74.9%) fueron mayores que los que tienen cal (69.1%), esto se puede deber a un efecto negativo del encalado sobre el desarrollo de estas bacterias en la etapa inicial de la incorporación de la cal con el suelo, para después equilibrarse y traer consigo beneficios para el desarrollo de los microorganismos del suelo, en especial de *Azospirillum*. Además se encontró que existen diferencias entre los genotipos que se pueden asociar a sus características genéticas, respondiendo mejor a la inoculación el genotipo Pico de Gorrión en el suelo sin cal y el genotipo Negro en el suelo con cal (Fig. 6).

En la Tabla 5 se muestran los resultados del porcentaje de colonización micorrízica arbuscular nativas (MA), en las diferentes variedades de maíz, en suelo sin y con cal, en los meses de mayo y junio. En esta se observa que en los dos meses hubo diferencia estadística significativa entre bloques (ver Apéndice II), siendo mayor el bloque sin cal en mayo y el bloque con cal en junio.

**Tabla 5** Porcentaje de colonización micorrízica arbuscular del maíz, en los diferentes tratamientos en suelo sin y con cal en mayo y junio

Tratamientos	MAYO b		JUNIO a	
	Sin Cal	Con Cal	Sin Cal	Con Cal
1 <sub>BF</sub>	62.5 b	57.5 a	57.5 a	82.5 a
2 <sub>PF</sub>	62.5 b	37.5 b	42.5 b	67.5 a
3 <sub>NF</sub>	62.5 b	57.5 a	42.5 b	72.5 a
4 <sub>BI</sub>	47.5 c	52.5 b	55.0 a	77.5 a
5 <sub>PI</sub>	<b>77.5 a</b>	<b>62.5 a</b>	52.5 a	<b>87.5 a</b>
6 <sub>NI</sub>	<b>77.5 a</b>	42.5 b	<b>62.5 a</b>	67.5 a
7 <sub>BF+I</sub>	67.5 b	<b>62.5 a</b>	37.5 b	62.5 a
8 <sub>PF+I</sub>	52.5 c	57.5 a	57.5 a	60.0 a
9 <sub>NF+I</sub>	62.5 a	57.5 a	37.5 b	85.0 a
X	63.6 a	54.1 b	49.4 b	73.6 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

En mayo el promedio de la colonización de MA resultó menor en los tratamientos con cal; situación que cambió en el mes de junio, ya que la colonización aumentó notablemente en el bloque con cal (Fig. 7). Esta respuesta fue similar a la encontrada por Arroyo y Martínez (1997), quienes en los primeros muestreos reportan valores bajos de micorrización (60%), los que aumentan gradualmente hasta valores de 90%. Se ha reportado que la habilidad de algunas especies de HMA para incrementar el crecimiento de las plantas en suelos ácidos puede aumentar con el encalado (Mosse, 1972).

Esto posiblemente se debe a que la cal produce una reacción donde la incorporación del calcio a los sitios de intercambio es gradual, hasta lograr un equilibrio en el suelo. La adaptación de los hongos micorrízicos al cambio de pH, va aumentando su colonización en la raíz del maíz, al paso del tiempo. Esto concuerda con lo que mencionaron Maerara *et al.* (1993), que en suelos ácidos se retarda la formación de la micorriza arbuscular.

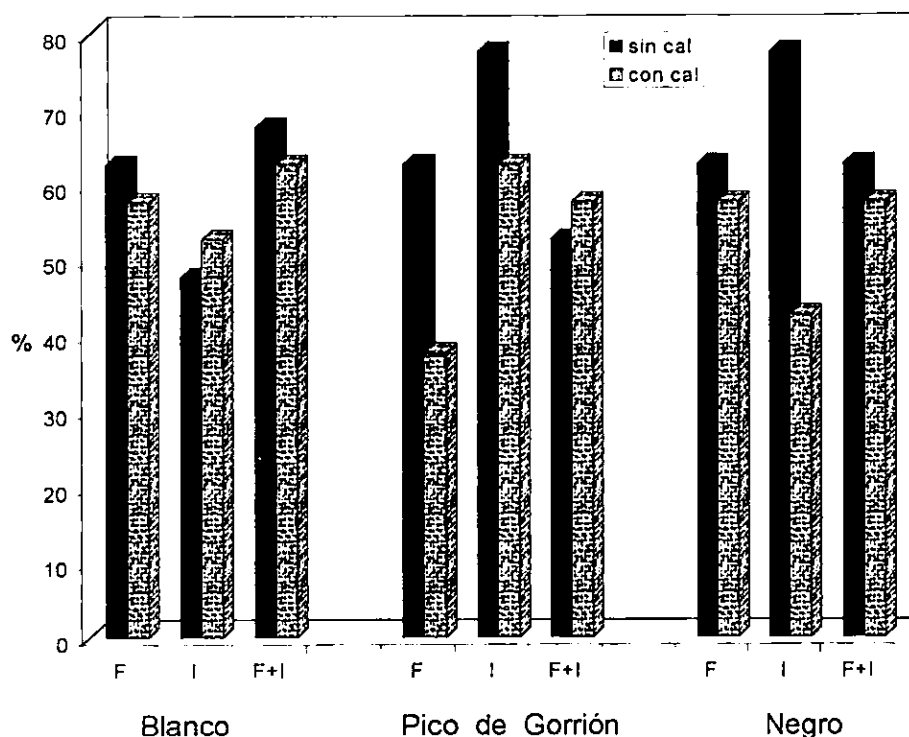
Rusell (1973), sugiere que en los suelos ácidos, el crecimiento de los hongos micorrízicos se ve afectado por las concentraciones de los iones de aluminio, manganeso e hidrogeno en niveles tóxicos, así como las deficiencias en calcio, magnesio y molibdeno, que también afectan el crecimiento de las plantas.

Mosse y Hepper (1975) demostraron que el pH del medio fue un factor crítico que determina la iniciación y extensión de la colonización por *Glomus mosseae*.

Siqueira *et al.* (1982), menciona que puede haber un efecto directo del ion hidrógeno que afecta la germinación de algunas esporas de hongos micorrízicos arbusculares, porque la disponibilidad de calcio, magnesio, manganeso, aluminio y molibdeno no fueron alterados en su estudio.

Abbott y Robson (1985), no encontraron el componente de los suelos ácidos que limite el crecimiento de *Glomus* sp. Pero probaron que en un cultivo la concentración del ion hidrógeno *per se* limita el crecimiento de esporas de otros *Glomus* sp. aislados de suelos con un pH de 7.6. Además mencionan que la inhabilidad de *Glomus* sp. a colonizar las raíces del trébol a pH bajos puede ser relacionada con la inhabilidad de estas hifas para crecer en estos suelos, debido a que las hifas de estos hongos se formaron en niveles altos de pH. Aun se desconoce el efecto del pH del suelo sobre la formación y funcionamiento de los HMA.

En la figura 7 los genotipos que presentaron los más altos valores en la colonización de MA en el mes de mayo fue el Negro, seguida de Pico de Gorrión en el bloque sin cal, además se observa que los tratamientos inoculados (I) presentaron el mayor valor de 77.5 %.

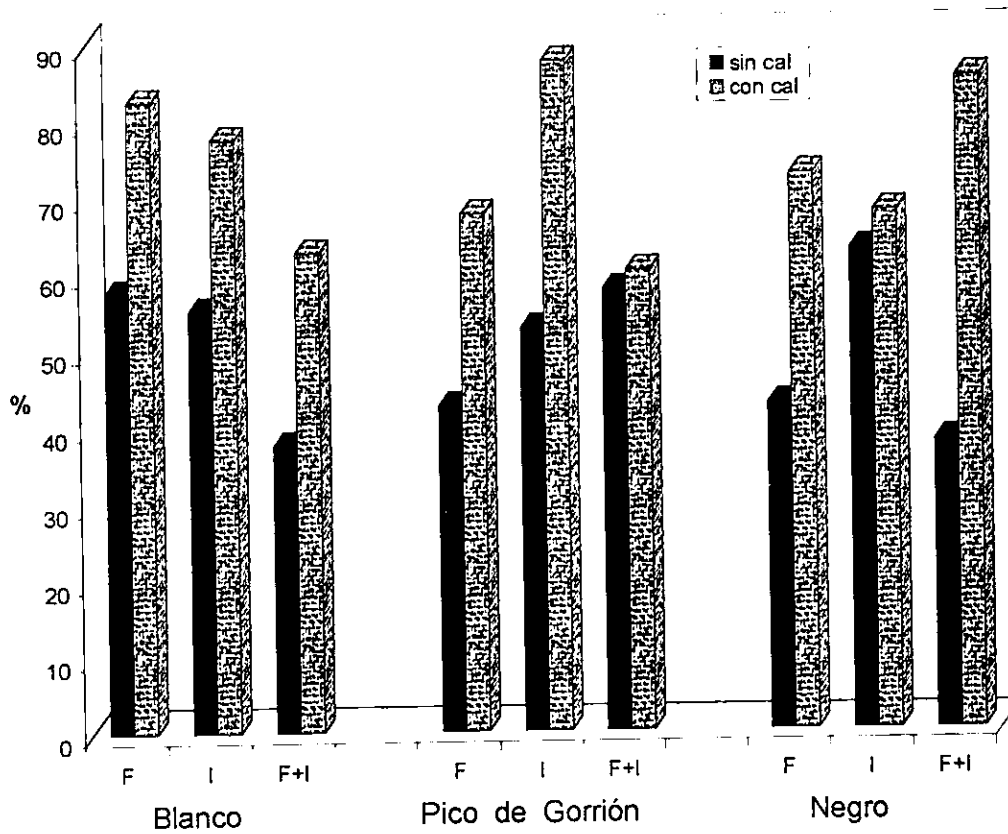


**Figura 7** Porcentaje de colonización micorrízica arbuscular en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro en el mes de mayo, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con *Azospirillum brasilense* (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.

En junio los tres genotipos presentaron un incremento en el porcentaje de colonización en el bloque encalado con respecto al que no tiene cal y el valor más grande se presenta en Pico de Gorrión en el tratamiento inoculado con *Azospirillum*, aunque no hubo diferencia estadística significativa entre tratamientos (Fig. 8).

En un estudio donde se evaluó el rendimiento de grano de maíz inoculado con *Azospirillum brasilense* y hongos micorrízicos arbusculares, se encontró que presentan el mejor comportamiento en la producción el tratamiento con la doble inoculación, situación que les hace sugerir que la asociación de estos simbioses

potencializa la acción individual de cada uno de ellos, por ello es importante evaluar interacciones entre microorganismos que puedan dar resultados que eleven el rendimiento en campo y menor dependencia de agroquímicos (Hernández *et al.*, 2000).



**Figura 8** Porcentaje de colonización micorrizica arbuscular en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro en el mes de junio, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con *Azospirillum brasilense* (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.

Hodges *et al.* (1995), realizaron un estudio sobre el impacto de las micorrizas arbusculares sobre el metabolismo de las plantas bajo diferentes condiciones ambientales como sequía, cambios de temperatura y deficiencias nutrimentales. Esta investigación sugiere que la colonización toma parte en el aumento de crecimiento de la planta huésped y mejora la tolerancia en condiciones de deficiencias nutrimentales, situación similar encontrada por Charest *et al.* (1997),

por ello se pueden utilizar como biofertilizantes y en condiciones donde se utilicen pesticidas o fertilizaciones químicas, especialmente en cultivos de gramíneas como maíz, trigo y pastos forrajeros (Subramanian y Charest, 1998). Esta investigación nos hace inferir que lo encontrado al evaluar la colonización de los hongos micorrizicos en la raíz de los diferentes genotipos de maíz, producirá un aumento en el crecimiento de las plantas y mejorar la absorción de nutrimentos deficientes en este suelo como el fósforo.

En la Tabla 6 y 7 se encuentran los valores promedio del peso seco foliar y longitud foliar a los 31 días después de la siembra, se observan las diferencias significativas entre tratamientos. El mayor peso seco se encuentra en los tratamientos fertilizados (F) y fertilizados e inoculados (F+I). Siendo mayor en el genotipo Negro, seguido de los genotipos Pico de Gorrión y Blanco.

En cuanto a la longitud foliar se observa que el genotipo Pico de gorrión presenta los mayores valores en ambos bloques (26.55 y 26.25), y los más bajos el genotipo Negro. No se encontró diferencia estadística significativa entre los bloques sin y con cal. Se observó que hay genotipos con mayor peso seco y menor longitud foliar, como es el caso del genotipo Negro, por lo que podemos decir que la respuesta en los diferentes tratamientos es debido a los genotipos y al estímulo de la fertilización.

**Tabla 6** Peso seco foliar promedio (g) del maíz a los 31 días después de la siembra, en suelo sin cal y con cal

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	0.557 c	0.981 a
2 (F) P	1.140 b	0.893 a
3 (F) N	<b>1.308 a</b>	0.966 a
4 (I) B	0.328 c	0.419 b
5 (I) P	0.565 c	0.543 b
6 (I) N	0.613 c	0.500 b
7 (F+I) B	1.168 b	0.998 a
8 (F+I) P	0.950 b	0.884 a
9 (F+I) N	1.204 b	<b>1.043 a</b>
X	0.871 a	0.803 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

**Tabla 7 Promedio de longitud foliar (cm) del maíz a los 31 días en los diferentes tratamientos, en el suelo sin cal y con cal**

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1 (F) B	23.65 a	23.10 a
2 (F) P	<b>26.55 a</b>	<b>26.25 a</b>
3 (F) N	22.90 b	23.40 a
4 (I) B	21.25 b	21.05 b
5 (I) P	22.80 b	22.55 b
6 (I) N	19.40 c	19.46 c
7 (F+I) B	24.10 a	25.60 a
8 (F+I) P	26.20 a	23.40 a
9 (F+I) N	20.80 b	22.10 b
X	23.01 a	22.99 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
 F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

Las Tablas 8, 9 y 10 muestran los valores promedio de altura, peso fresco y peso seco foliar de las tres variedades de maíz en los bloques sin cal y con cal del mes de junio. La longitud foliar (Tabla 8) en ambos bloques no presenta diferencia estadística, en tanto que entre tratamientos si se presenta. Las mayores longitudes corresponden a los tratamientos fertilizados (F) y los fertilizados e inoculados (F+I), seguidos de los inoculados (I) con valores muy cercanos entre sí. Al igual que en el mes anterior se observa que la variedad Pico de gorrión tiene las longitudes mayores en todos los tratamientos con rangos que van de 86.82 cm a 102.24 cm.



**Tabla 8** Valores promedio de longitud foliar (cm) en maíz a los 65 días, en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	93.06 b	89.29 b
2 (F) P	<b>100.22 a</b>	<b>102.24 a</b>
3 (F) N	94.08 a	96.91 a
4 (I) B	84.68 c	84.87 b
5 (I) P	86.82 c	89.83 b
6 (I) N	76.15 c	86.02 b
7 (F+I) B	91.88 b	95.87 a
8 (F+I) P	99.08 b	92.32 b
9 (F+I) N	88.36 c	92.87 b
X	90.48 a	92.62 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
 F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

En cuanto al peso fresco y seco foliar (tablas 9 y 10) se observa que hubo diferencia estadística significativa entre los bloques, en donde los valores más altos se observaron en los bloques con cal. Los valores más bajos se presentaron en el genotipo Negro en el tratamiento inoculado (I) con un peso fresco foliar de 17.48 g y un peso seco de 3.47 g. Esto indica que el genotipo de maíz que se ve afectada por el pH ácido del suelo es el Negro, ya que el rendimiento en materia fresca y seca mejoró cuando el suelo fue encalado.

**Tabla 9** Peso fresco foliar (g) del maíz a los 65 días en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	41.89 a	63.12 a
2 (F) P	<b>44.95 a</b>	<b>70.44 a</b>
3 (F) N	30.43 b	69.93 a
4 (I) B	37.72 a	53.60 a
5 (I) P	40.09 a	59.45 a
6 (I) N	17.48 b	64.04 a
7 (F+I) B	41.47 a	68.41 a
8 (F+I) P	43.09 a	72.98 a
9 (F+I) N	40.37 a	66.97 a
X	37.38 b	64.84 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

**Tabla 10** Peso seco foliar (g) promedio en maíz a los 65 días en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	8.32 a	9.82 a
2 (F) P	7.59 a	9.80 a
3 (F) N	6.19 a	<b>11.86 a</b>
4 (I) B	5.74 a	8.59 a
5 (I) P	6.54 a	8.63 a
6 (I) N	3.47 b	8.23 b
7 (F+I) B	6.62 a	11.15 a
8 (F+I) P	<b>8.40 a</b>	11.16 a
9 (F+I) N	5.82 a	10.30 a
X	6.52 b	9.94 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

En la Tabla 11 se registran los valores promedio de la longitud de la raíz; en ésta se observan valores mayores en el bloque con cal con una media general de 21.65 cm, presentando diferencia estadística significativa respecto al bloque sin cal. Se observó que el encalado propició mejor desarrollo de la raíz y aunque no se presenta una diferencia estadística entre tratamientos. Esta diferencia se atribuye a que el pH ácido facilita la actividad de los iones de aluminio; además de provocar una disminución en crecimiento de raíces, en tanto que al encalarse el suelo, estos iones tóxicos se inmovilizan y no tienen un efecto nocivo sobre el desarrollo radical (Zita y Meneses, 1998).

**Tabla 11 Promedio de la longitud de la raíz (cm) del maíz en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal**

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	19.42 a	18.75 a
2 (F) P	21.99 a	22.48 a
3 (F) N	17.76 b	<b>23.55 a</b>
4 (I) B	17.95 b	21.63 a
5 (I) P	18.50 a	20.76 a
6 (I) N	18.47 a	19.05 a
7 (F+I) B	18.35 a	22.66 a
8 (F+I) P	<b>22.40 a</b>	23.20 a
9 (F+I) N	18.85 a	22.77 a
X	19.29 b	21.65 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
 F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

En la Tabla 12 se presentan los resultados del peso fresco de la raíz, ésta muestra que no existió diferencia significativa entre bloques, aunque sí entre tratamientos, siendo los tratamientos fertilizados los de mayor peso. Además, en el bloque con cal, el genotipo Pico de Gorrión inoculado presentó el valor más grande que fue de 7.93 g.

Tabla 12 Peso fresco de la raíz (g) del maíz en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	6.30 a	3.65 b
2 (F) P	<b>7.27 a</b>	6.08 a
3 (F) N	4.03 b	6.01 a
4 (I) B	5.24 b	6.67 a
5 (I) P	4.37 b	<b>7.93 a</b>
6 (I) N	3.21 b	2.86 b
7 (F+I) B	5.57 a	6.15 a
8 (F+I) P	6.30 a	4.76 b
9 (F+I) N	5.74 a	7.26 a
X	5.33 a	5.71 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

En la Tabla 13 se muestran los resultados promedio de la longitud foliar de las plantas de maíz en el mes de agosto (120 días), observando que las plantas alcanzaron en esta etapa su máximo desarrollo en altura. Se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los bloques, siendo mayores en los que tienen cal con un promedio de 250.36 cm en comparación al de sin cal con 234.0 cm.

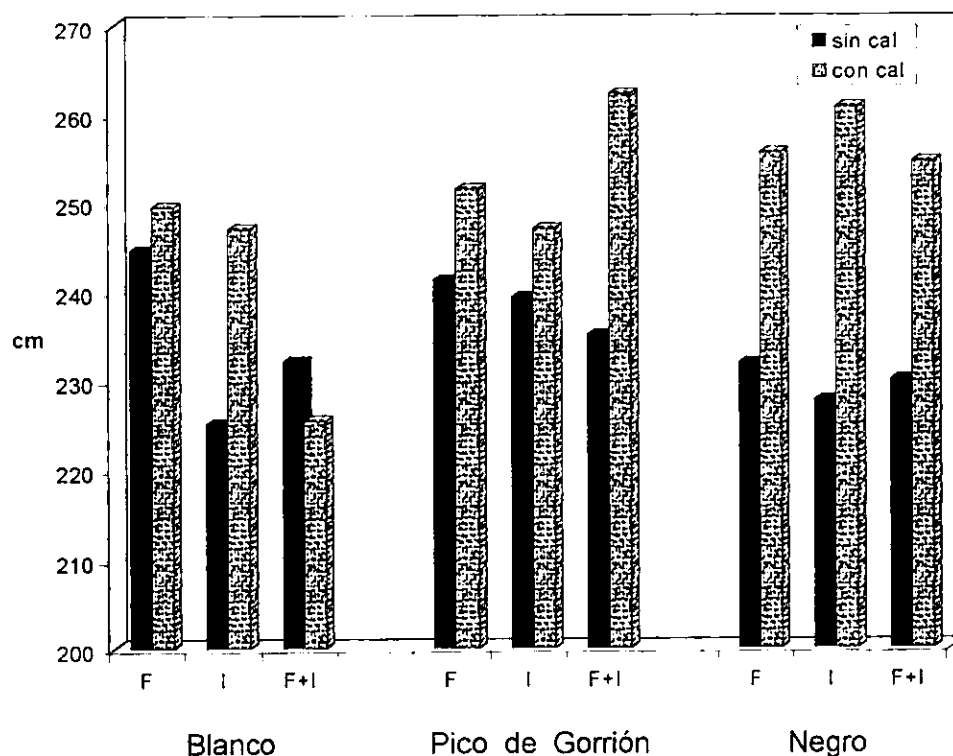
**Tabla 13 Promedio de la longitud foliar (cm) de las plantas de maíz en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal (120 días)**

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1 (F) B	<b>244.5 a</b>	249.4 a
2 (F) P	241.2 a	251.5 a
3 (F) N	231.8 a	255.5 a
4 (I) B	225.1 a	247.0 a
5 (I) P	239.2 a	247.1 a
6 (I) N	227.7 a	260.7 a
7 (F+I) B	232.0 a	225.4 b
8 (F+I) P	235.0 a	<b>262.2 a</b>
9 (F+I) N	229.9 a	254.5 a
X	234.0 b	250.36 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

Se observa que entre tratamientos en el bloque sin cal no existen diferencias, no obstante el genotipo con mayor altura es Pico de Gorrión, seguido del genotipo Blanco y por último el Negro. En el bloque con cal se observa que el genotipo Negro presenta un desarrollo similar al genotipo Pico de Gorrión, situación que nos hace inferir que el genotipo Negro presenta una mejor respuesta al encalado del suelo y por lo tanto una mejor absorción de nutrimentos (Fig. 9).



**Figura 9** Longitud foliar total de los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con *Azospirillum brasilense* (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.

En agosto también se evaluó el número plantas por mata y de jilotes. En la Tabla 14 se observa que el número de plantas por mata fue mayor en el bloque con cal; presenta diferencias estadística entre bloques, mostrando nuevamente un efecto benéfico del encalado del suelo, en particular en los tratamientos fertilizados e inoculados que presentan los valores mayores. Lo anterior indica que la presencia de *Azospirillum* potencializa la acción de las micorrizas arbusculares, lo que se tradujo en una absorción de nutrimentos más eficiente, lo que se reflejó en el número de plantas por mata.

**Tabla 14** Promedio de número de plantas por mata y número de jilotes por planta de maíz en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal

Tratamientos	Plantas por mata		Jilotes por planta	
	Sin Cal	Con Cal	Sin Cal	Con Cal
1 <sub>BF</sub>	3.0 b	3.5 b	3.6 a	3.1 a
2 <sub>PF</sub>	2.7 b	3.1 b	3.1 a	3.5 a
3 <sub>NF</sub>	2.7 b	3.5 b	3.5 a	3.5 a
4 <sub>BI</sub>	2.8 b	2.8 c	3.1 a	3.4 a
5 <sub>PI</sub>	2.9 b	2.6 c	3.3 a	2.8 a
6 <sub>NI</sub>	3.1 a	3.0 b	3.2 a	3.1 a
7 <sub>BF+I</sub>	2.5 b	3.9 a	3.1 a	3.4 a
8 <sub>PF+I</sub>	<b>3.6 a</b>	3.8 a	3.2 a	3.4 a
9 <sub>NF+I</sub>	2.6 b	<b>4.3 a</b>	2.9 a	3.4 a
X	2.8 b	3.3 a	3.2 a	3.2 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

En este período se muestreó la hoja opuesta al jilote (hoja bandera) y se evaluó la acumulación de nitrógeno total (%) y fósforo foliar (%); considerando que es la época en la que se puede conocer el estado nutrimental de las plantas de maíz que corresponde al tiempo en que empiezan a formar jilotes (agosto), los resultados se muestran en la Tabla 15.

El porcentaje de acumulación de nitrógeno total foliar evaluado en ambos bloques presenta diferencia estadística significativa (ver Apéndice III), encontrando los valores más altos en el bloque con cal, lo que permite inferir que el encalado favoreció la absorción de nitrógeno y la mineralización del mismo ya que estos suelos son ricos en materia orgánica.

Los tratamientos inoculados presentan los porcentajes más bajos de nitrógeno, lo cual coincide con lo reportado por otros investigadores que indican que el efecto benéfico que ejerce *Azospirillum* sobre el desarrollo de las plantas se debe principalmente a la producción de reguladores de crecimiento y no a la fijación de nitrógeno, lo que ha sido demostrado en plantas que responden positivamente a la inoculación y en donde se ha registrado una actividad de la nitrogenasa baja (Fernández -Vega, 1995).

Rennie (1980), menciona que la inoculación en trigo y maíz muestra que sólo de un 5-10 % y hasta un 8% del nitrógeno total de la planta se deriva de la fijación de nitrógeno. Este nitrógeno fijado es insuficiente como para explicar incrementos en el contenido de nitrógeno en plantas inoculadas (Okon *et al.*, 1983, Subramanian y Charest, 1998).

En cuanto a la acumulación de fósforo foliar, se encontró que ambos bloques no presentan diferencia estadística significativa, sin embargo, los tratamientos que tienen cal presentan un valor promedio ligeramente menor; Los resultados muestran que no hay deficiencias de fósforo en las plantas, pues los rangos corresponden a un nivel suficiente (Alcántar y Sandoval, 1999).

Los suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) tienen materiales amorfos como el alofano, con una alta tendencia a fijar el fósforo, el cual no está disponible para las plantas, lo que provoca deficiencias de este nutrimento en los cultivos; sin embargo, en esta zona se localizan micorrizas arbusculares muy eficientes pues tienen porcentajes de colonización superiores al 60% en maíz (Arroyo *et al.*, 1997). Esto permite pensar que una buena parte del porcentaje del fósforo foliar presente en el maíz se debe a la actividad de las micorrizas arbusculares en la absorción del fósforo, ya que se encontraron porcentajes de colonización cuyo promedio fluctuó del 50 al 75 % (Tabla 4) en ambos bloques.

Al-Nahigh y Gomah 1991, menciona que la inoculación mixta con *Azospirillum* y hongos MA origina una interacción sinérgica, obteniéndose un incremento significativo en crecimiento y acumulación de fósforo en plantas, logrando reemplazar o minimizar el uso de fertilizantes de nitrógeno y fósforo.

En un estudio en el que se aplicó cal a un suelo ácido de Michoacán y se evaluó su efecto sobre el rendimiento de materia seca del pasto Ryegrass (*Lolium* sp. variedad Tetrablend) y el P absorbido, se encontró que en el suelo, el P aumentó ligeramente, en tanto que el P vegetal no sufrió cambio alguno (Alvarado *et al.*, 1996).



**Tabla 15** Promedio de nitrógeno total y fósforo foliar acumulado en la hoja bandera del maíz en los diferentes tratamientos

Tratamientos	Nitrógeno total (%)		Fósforo (%)	
	Sin Cal	Con Cal	Sin Cal	Con Cal
1 <sub>BF</sub>	<b>1.50 a</b>	1.55 a	<b>0.51 a</b>	0.46 a
2 <sub>PF</sub>	1.44 a	<b>1.78 a</b>	0.45 a	0.35 b
3 <sub>NF</sub>	1.39 a	1.51 a	0.47 a	0.49 a
4 <sub>BI</sub>	1.26 a	1.51 a	0.34 b	0.37 b
5 <sub>PI</sub>	1.35 a	1.36 b	0.40 a	0.32 b
6 <sub>NI</sub>	1.32 a	1.45 a	0.42 a	0.40 b
7 <sub>BF+I</sub>	1.37 a	1.53 a	0.42 a	<b>0.51 a</b>
8 <sub>PF+I</sub>	1.27 a	1.52 a	0.40 a	0.36 b
9 <sub>NF+I</sub>	1.44 a	1.74 a	0.47 a	0.33 b
X	1.40 b	1.54 a	0.43 a	0.39 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
 F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

En la Tabla 16 se presenta el peso promedio del forraje de los diferentes tratamientos aplicados al maíz en el momento de la cosecha. En ésta se observa que existe una diferencia significativa entre los bloques (ver Apéndice IV). La mayor producción se obtuvo en el bloque con cal en el que se registró un aumento de 53 %. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en la longitud foliar (Tabla 13), la cual fue mayor en los tratamientos encalados.

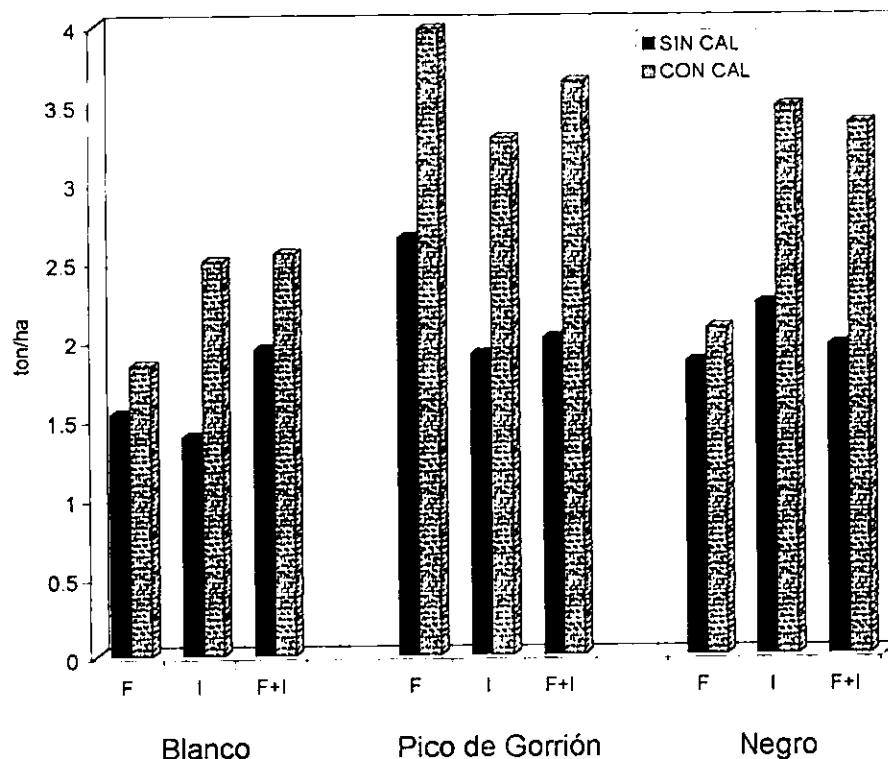
Tabla 16 Peso promedio del forraje de maíz en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal (ton/ ha)

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	1.52 a	1.83 b
2 (F) P	<b>2.64 a</b>	<b>3.97 a</b>
3 (F) N	1.85 a	2.06 b
4 (I) B	1.38 a	2.49 b
5 (I) P	1.90 a	3.27 a
6 (I) N	2.22 a	3.47 a
7 (F+I) B	1.93 a	2.50 b
8 (F+I) P	2.00 a	3.63 a
9 (F+I) N	1.95 a	3.36 a
X	1.86 b	2.86 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
 F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

En el bloque sin cal, todos los tratamientos son estadísticamente iguales. En el bloque con cal se observa que en el genotipo Negro hubo un efecto marcado de la inoculación, la que se manifiesta en ausencia y presencia del fertilizante, lo que se tradujo en aumentos de forraje de 56 a 72 % con respecto a los mismos tratamientos en suelo no encalado y en suelo encalado de 68 y 63 % con respecto al tratamiento al que sólo se le agregó fertilizante. Respecto a los genotipos Pico de Gorrión y Blanco no se observó respuesta a la inoculación y las diferencias en la cantidad de forraje corresponden al genotipo de maíz (Fig. 10).



**Figura 10** Peso de forraje en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con *Azospirillum brasilense* (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.

Lo anterior indica que la respuesta a la inoculación es influenciada no sólo por las características del suelo, sino también por el genotipo de maíz (Reyes, 1990). Por otra parte, es importante mencionar que en el suelo encalado el incremento ocasionado por la inoculación sólo fue similar al obtenido en el tratamiento fertilizado e inoculado, lo que confirma que los biofertilizantes pueden ser empleados con fines de minimizar el uso de agroquímicos, pero que para asegurar el éxito de esta biotecnología es necesario considerar las características del suelo.

Considerando que las características de la mazorca tienen baja heredabilidad, y que son afectadas por variaciones del medio (Reyes, 1990), tales como cambio de pH por el encalado que se realizó en este trabajo, se procedió a determinar las características de las mazorcas.

En la Tabla 17 se presentan los resultados de la longitud de las mazorcas. En ésta se observa diferencia significativa entre los bloques, con una media en el bloque sin cal de 14.4 cm y con cal de 15.9 cm. Los valores más grandes se encontraron en el suelo encalado, lo que confirma nuevamente el efecto favorable de la aplicación de cal en estos suelos ácidos. En este parámetro no se obtuvieron diferencias estadísticas entre tratamientos, pero en el suelo encalado se observan valores ligeramente mayores en la variedad Pico de Gorrión.

**Tabla 17 Longitud promedio de las mazorcas del maíz en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal (cm)**

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	14.5 a	14.7 a
2 (F) P	14.2 a	<b>17.1 a</b>
3 (F) N	15.4 a	15.7 a
4 (I) B	14.4 a	15.3 a
5 (I) P	13.3 a	16.8 a
6 (I) N	14.9 a	15.9 a
7 (F+I) B	13.9 a	16.2 a
8 (F+I) P	<b>15.6 a</b>	16.1 a
9 (F+I) N	13.5 a	15.6 a
X	14.4 b	15.9 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

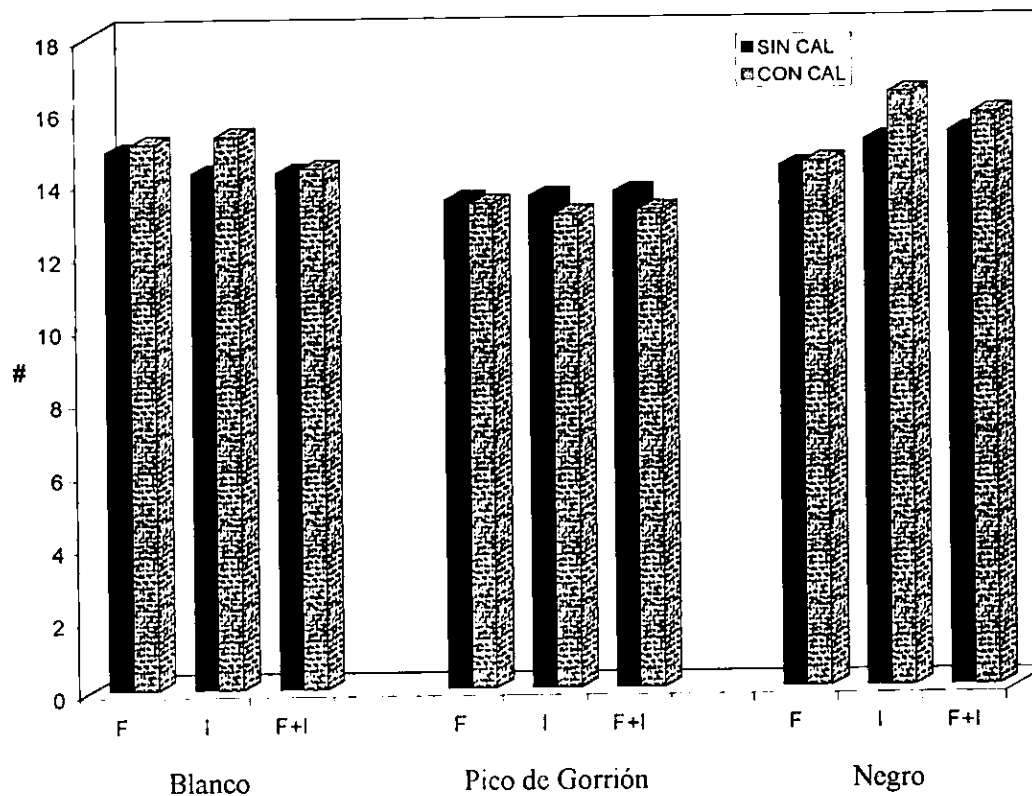
Respecto al número de hileras de grano en las mazorcas, no se observó diferencia estadística entre bloques, ni entre los tratamientos del bloque sin cal (Tabla 18). En tanto que en el bloque encalado se observaron diferencias entre los genotipos de maíz, en donde el menor número de hileras corresponden al genotipo Pico de Gorrión lo que posiblemente esté relacionado con la modificación del medio y las características del genotipo (Fig. 11).

**Tabla 18** Número promedio de hileras en la mazorca de maíz en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	14.8 a	15.0 a
2 (F) P	13.4 a	13.3 b
3 (F) N	14.3 a	14.4 a
4 (I) B	14.2 a	15.2 a
5 (I) P	13.5 a	13.0 b
6 (I) N	15.0 a	<b>16.3 a</b>
7 (F+I) B	14.2 a	14.3 a
8 (F+I) P	13.6 a	13.1 b
9 (F+I) N	<b>15.2 a</b>	15.7 a
X	14.2 a	14.4 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.



**Figura 11** Número de hileras de granos en los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con *Azospirillum brasilense* (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.

En la Tabla 19 se exponen los resultados del peso promedio de 100 granos de maíz; se observa una clara respuesta al encalado lo que se traduce en diferencias estadísticas significativa entre los dos bloques y un aumento en el peso de grano de 20%. Aun cuando no se registran diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, se observa que los valores más altos corresponden al genotipo Pico

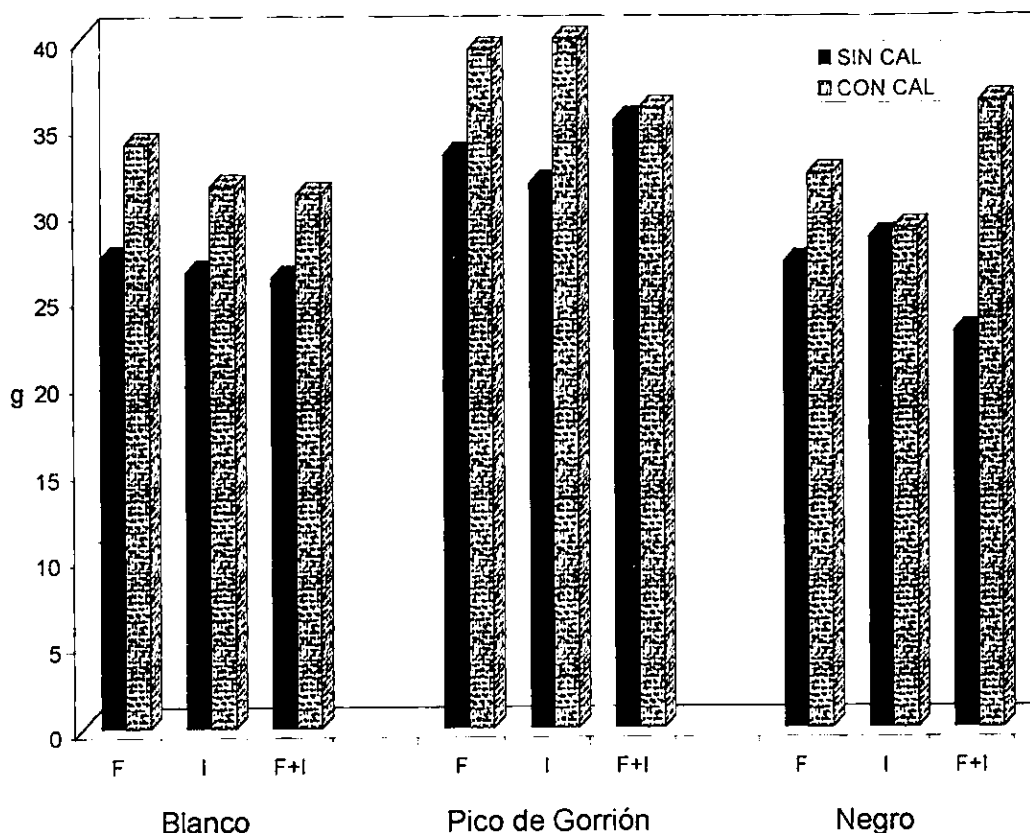
de Gorrión, situación inversa a los resultados del número de hileras de la mazorca (Tabla 18), lo que indica que esta variedad presenta menor número de hileras, pero que sus granos son más pesados (Fig. 12).

**Tabla 19** Peso promedio de 100 granos de maíz (g) en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	27.20 a	33.83 a
2 (F) P	33.19 a	39.30 a
3 (F) N	26.91 a	32.08 a
4 (I) B	26.38 a	31.37 a
5 (I) P	31.55 a	<b>39.89 a</b>
6 (I) N	28.39 a	28.85 a
7 (F+I) B	26.03 a	30.91 a
8 (F+I) P	<b>35.23 a</b>	35.87 a
9 (F+I) N	22.84 b	36.24 a
X	28.6 b	34.2 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
 F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.



**Figura 12** Peso de 100 granos de maíz en los genotipos Blanco, Pico de Gorrión y Negro, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con *Azospirillum brasilense* (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.

Resultados similares a los obtenidos en este trabajo, fueron reportados por Ortega (1989) quien al inocular maíz cv. Hazera 851, desarrollado en condiciones templadas obtuvo incrementos en la producción de mazorcas (10.5%), en el peso seco de la mazorca (10.4%), altura de la planta (8.4%), peso seco de semillas (28.2%) y el número de semillas / mazorca de maíz (18.6%).



En la Tabla 20 se muestran los pesos de olote obtenidos en los diferentes tratamientos y nuevamente se observa el efecto del encalado que se manifiesta en una diferencia estadística significativa entre los bloques. El incremento del 18% resulta importante si se consideran las aplicaciones que se dan a esta parte de la mazorca (Poehlman, 1979).

Tabla 20 Peso promedio del olote de maíz (g) en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	67.7 a	69.0 a
2 (F) P	61.4 a	81.6 a
3 (F) N	<b>74.2 a</b>	68.0 a
4 (I) B	60.3 a	71.7 a
5 (I) P	53.7 a	80.5 a
6 (I) N	71.7 a	75.0 a
7 (F+I) B	59.4 a	74.7 a
8 (F+I) P	66.5 a	68.3 a
9 (F+I) N	53.4 a	<b>85.3 a</b>
X	63.3 b	74.9 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
 F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

En la Tabla 21 se muestra el rendimiento promedio de grano seco de las tres variedades de maíz con los diferentes tratamientos en los bloques sin cal y con cal. En ésta se observa que no hay diferencia estadística significativa entre los bloques (ver Apéndice IV); no obstante, en el bloque con cal se registró un incremento del 9.1 % con respecto al no encalado, lo que resulta importante.

En cuanto a los tratamientos dentro del bloque sin cal se observan diferencias estadísticas significativas entre ellos. Los valores más altos corresponden al genotipo Pico de Gorrión en el tratamiento inoculado y al genotipo Negro en el tratamiento fertilizado e inoculado, con incrementos de 56 y 16% con respecto a los tratamientos únicamente fertilizados. En tanto que en el bloque con cal, aun cuando no se registraron diferencias significativas, en el genotipo Negro se registró el valores más altos en el tratamiento inoculado, con incrementos del 48% con respecto al tratamiento que solo fue fertilizado. Respecto a los tres genotipos, la mayor producción se presentó en Pico de Gorrión (Fig. 13)

**Tabla 21 Rendimiento promedio de grano seco de maíz en los diferentes tratamientos en suelo sin cal y con cal (ton/ha)**

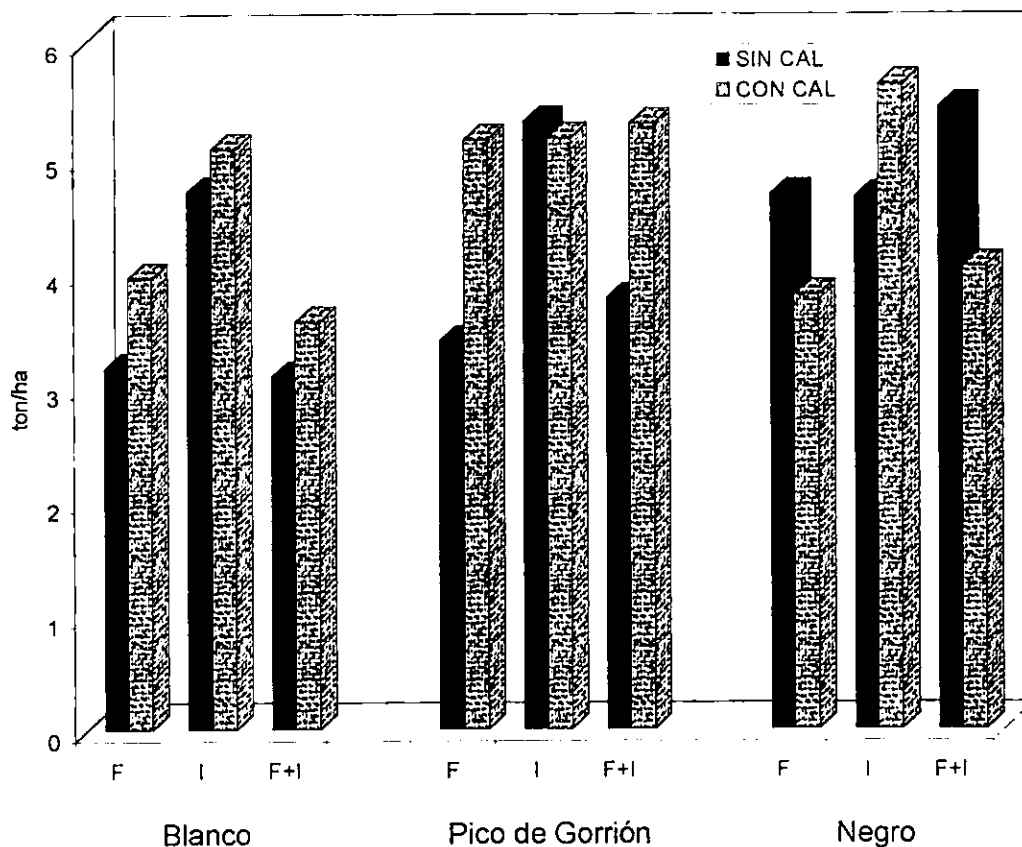
TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
1(F) B	3.157 b	3.948 a
2 (F) P	3.391 b	5.143 a
3 (F) N	4.670 b	3.795 a
4 (I) B	4.699 b	5.070 a
5 (I) P	5.303 a	5.161 a
6 (I) N	4.647 b	<b>5.624 a</b>
7 (F+I) B	3.080 b	3.560 a
8 (F+I) P	3.763 b	5.281 a
9 (F+I) N	<b>5.420 a</b>	4.035 a
X	4.237 a	4.624 a

a, b = Presentan diferencia estadística (alfa de 0.05 %).

B= genotipo Blanco, P= genotipo Pico de Gorrión, N= genotipo Negro  
F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado. Los números marcados en "negritas" son los valores más altos en cada bloque.

Estos resultados son similares a los reportados por Vidal *et al.*, (1998), quien utilizó la cepa VS7 de *Azospirillum lipoferum* misma que fue empleada en la presente investigación. Ellos realizaron la inoculación en trigo y encuentran un incremento en el rendimiento y una ganancia de nitrógeno en el tejido vegetal.

En un estudio realizado por Rangel (1989), se probaron varias cepas de *Azospirillum*, entre ellas la VS7 sobre el rendimiento de maíz, demostrando que la cepa es infectiva, eleva el peso y número de grano a dosis bajas y medias de fertilización nitrogenada y se le considera una posible cepa que aporte reducción de costos en la producción de maíz.



**Figura 13** Rendimiento del grano seco de maíz en los genotipos Blanco, Pico de Gorrión y Negro, en los tratamientos fertilizados (F), Inoculados con *Azospirillum brasilense* (I) y los fertilizados e inoculados (F+I), en los bloques sin cal y con cal.

Con objeto de comparar la interacción de los tratamientos con los suelos sin y con el encalado, en la Tabla 22 se muestra el rendimiento promedio de los tres tratamientos y los tres genotipos. En esta se observa que en los dos bloques, el mejor tratamiento corresponde al inoculado en el que se obtuvo un incremento de 30 % con respecto al tratamiento fertilizado en suelo sin cal y de 23% en el suelo encalado. Con base en esto se considera que la cepa de *Azospirillum brasilense* VS7 utilizada resultó eficiente.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Fulchieri y Frioni (1994), los que en un experimento en campo con maíz inoculado con *Azospirillum* encontraron un incremento en el rendimiento total del 10 al 30 %. Asimismo Caballero (1992) indica que en experimentos realizados durante varios años sobre inoculación de trigo encontró incrementos en el rendimiento desde un 23% hasta de 63% con respecto a los no inoculados; así mismo Bashan *et al.* (1996) indican que un incremento del 20 % es considerado comercialmente valioso para la agricultura moderna, siempre y cuando los resultados sean consistentes.

Respecto a la respuesta observada en los tratamientos fertilizados e inoculados la respuesta fue menor, situación que es opuesta a la que se reporta en parte de la literatura revisada que indica que el rendimiento se incrementa con un nivel de fertilización nitrogenada al 100 % y que el nitrógeno puede incrementar las bacterias de la rizosfera (Bashan *et al.*, 1996). En tanto que en otras investigaciones se menciona que la respuesta de la planta a la inoculación, depende de la variedad y el nivel de fertilización con nitrógeno y que los rendimientos más altos con la inoculación se obtienen con niveles bajos de fertilización nitrógenada (O' Hara, 1987).

García *et al.*, (1995) reportaron un mayor crecimiento del maíz en el tratamiento inoculado con *Azospirillum lipoferum* y *Azospirillum brasilense* en comparación con el suelo no estéril.

**Tabla 22 Comparación del rendimiento promedio de grano seco de maíz en los tres tratamientos en el suelo sin cal y con cal (ton/ha)**

TRATAMIENTOS	SIN CAL	CON CAL
Fertilizado (F)	3.7395	4.2956
Inoculado (I)	4.8835	5.2852
Fertilizado e inoculado(F+I)	4.0879	4.2924

Hernández *et al.* (1997), realizaron un levantamiento nutricional del cultivo de maíz en el Estado de México. En éste se indica que encontraron problemas de deficiencia de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio en los suelos de esta región, lo que trae como consecuencia rendimientos bajos, ya que las plantas de maíz no están suficientemente abastecidas de estos nutrimentos. Para contrarrestar estas condiciones se utilizan grandes concentraciones de fertilizantes, obteniéndose rendimientos promedio de grano de maíz en el municipio de Villa Victoria de 3.9 ton/ha.

Esta información concuerda con la obtenida en los tratamientos fertilizados del bloque sin cal con un rendimiento promedio de 3.7395 ton/ha (Tabla 22). Por ello, el realizar un encalado en estos suelos, mejora las condiciones de absorción de los nutrimentos (Cruz, *et al.* 1996), situación que se ve en el bloque con cal en el tratamiento fertilizado, al producirse un aumento en el rendimiento (4.2 ton/ha); aunado esto con la inoculación da valores superiores en el rendimiento (en ambos bloques), según lo reportado como promedio en esta zona; además, presenta un ahorro en fertilizantes, sobre todo en el tratamiento solo inoculado (I) con 4.8 y 5.2 ton/ha en ambos bloques, siendo los rendimientos más altos.

En un estudio realizado por González, *et al.*,(1995), donde evaluaron el efecto del encalado sobre el rendimiento de maíz y características del suelo del sur de Jalisco, no encontraron diferencia en el rendimiento entre el suelo encalado y el testigo, debido a una respuesta específica del genotipo empleado (híbrido HV-313). Situación que confirma que cada variedad tiene una respuesta al medio.

Los genotipos de maíz utilizadas en el presente trabajo presentan diferencias, las cuales podemos observar en la Tabla 23 y Figura 13, donde el genotipo Blanco responde bien a la inoculación, ya que presenta el rendimiento más alto en comparación con los otros tratamientos en ambos bloques (4.6 y 5.0 ton/ha) y su respuesta al encalar el suelo se da en los tratamientos fertilizados más que en el inoculado, con incrementos del 26.6 % y 15.5% respectivamente.

El genotipo Pico de Gorrión responde a la inoculación con un rendimiento de 5.3 ton/ha, pero no varía su respuesta al aplicarse cal cuando está inoculada (5.1 ton/ha), los tratamientos fertilizados al encalarse el suelo mejoran la absorción de nutrimentos y por lo tanto, se refleja en un incremento en el rendimiento, de 51.6 % y 40%.

En el genotipo Negro mejora la respuesta al ser inoculado en el bloque encalado (4.6 a 5.6 ton/ha), pero los tratamientos fertilizados dan un mejor rendimiento cuando están sin cal que con cal, ya que disminuyen notablemente cuando se aplica cal (en un 18.8 y 25 %).

**Tabla 23 Comparación del rendimiento promedio de grano seco de los genotipos de maíz Blanco, Pico de Gorrión y Negro en los diferentes tratamientos en el suelo sin cal y con cal (ton/ha)**

Tratamientos	BLANCO			PICO DE GORRIÓN			NEGRO		
	Sin cal	con cal	Incremento	sin cal	con cal	Incremento	sin cal	con cal	Incremento
F	3.15	3.94	+25.0%	3.39	5.14	+51.6%	4.67	3.79	-18.8%
I	4.69	5.07	+8.1%	5.30	5.16	-2.6%	4.64	5.62	+21.0%
F+I	3.08	3.56	+15.5%	3.76	5.28	+40.0%	5.42	4.03	-25.6%

F=fertilizado (100-80-00), I = inoculado con *Azospirillum brasilense* y F+I = fertilizado e inoculado

De manera general, los genotipos Blanco y Negro cuando están inoculadas responden mejor al encalarse el suelo y cuando están fertilizadas se incrementa el rendimiento en la Blanco y disminuye en el Negro; por lo tanto, el encalado junto con la inoculación resultan ser favorables para obtener buenos rendimientos en estos dos genotipos. El genotipo Pico de Gorrión tiene una respuesta similar a la inoculación en un suelo sin y con cal; sólo se da un incremento en el rendimiento al aplicar cal al suelo en los tratamientos fertilizados.

Por ello, se puede decir que la inoculación de las tres variedades de maíz utilizadas es eficiente cuando no está combinada con los fertilizantes y que mejora su respuesta, al producir un incremento en el rendimiento cuando se encala el suelo, en especial con la variedad Negra.

Con respecto a lo anterior, Hernández et al., (1996) y Pérez et al., (1996 y 1997) realizaron encalados a suelos ácidos de Tepic, Nayarit para controlar enfermedades fungosas y bacteriosis en rábano y cebolla de rabo, para mejorar el rendimiento; encontraron un mayor número y peso de rábanos, así como un mayor número de cebollas por mata, logrando un aumento en el rendimiento en ambos cultivos en comparación con el testigo.

Villar, *et al.*, (1998) llevaron a cabo una aplicación de cal a suelos ácidos en la Fraylesca, Chiapas, para analizar la respuesta del frijol y obtener la dosis óptima de cal y fósforo, encontraron un aumento en la producción de materia seca total y de grano.

## VIII. - CONCLUSIONES

### A) .- EFECTO DEL ENCALADO

- El encalado elevó el pH del suelo y mejoró la disponibilidad de nitrógeno y fósforo, aunque ambos estaban en un rango bajo y deficiente respectivamente.
- Las plantas que presentaron las raíces con mayor longitud son las del bloque con cal.
- El encalado favoreció la colonización micorrízica y no presentó un efecto marcado sobre la inoculación con *Azospirillum brasilense*.
- El genotipo de maíz que presentó los mayores porcentajes de colonización micorrízica arbuscular fue Pico de Gorrión en el tratamiento inoculado con *Azospirillum*, en el bloque encalado.
- Las plantas que presentan el mayor peso fresco y seco foliar son las del bloque con cal, con los rangos más grandes en los genotipos Pico de Gorrión y Negro.
- En el bloque con cal se tienen las plantas de maíz con las mayores alturas, en especial el genotipo Negro seguida de Pico de Gorrión.
- En el bloque con cal se presentan el mayor número de plantas por mata, en los tratamientos fertilizados e inoculados (F+I), en el genotipo Negro.
- Las plantas presentan niveles bajos de nitrógeno y suficiencia de fósforo en ambos bloques
- Los resultados muestran que no hay deficiencias de fósforo en las plantas, pues estos rangos corresponden a un nivel suficiente.
- Se presentan los mayores valores de peso de forraje en el bloque encalado, con un incremento del 58% con respecto al bloque sin cal.
- Los mayores valores de longitud de mazorca, peso de grano y peso de olote de maíz los presentan las plantas del bloque con cal, en especial el genotipo Pico de Gorrión.



- El encalado disminuye el rendimiento de grano seco del genotipo Negro en los tratamientos fertilizados y aumenta en los genotipos Blanco y Pico de Gorrión.

### B).- INOCULACION

- La mayor infección por *Azospirillum brasilense* se presentó en el maíz Pico de Gorrión en el bloque sin cal y el Negro en el bloque encalado, lo que indica una respuesta diferencial entre genotipos de maíz, lo que se confirma con los efectos producidos sobre las variables evaluadas.
- Los genotipos Pico de Gorrión y Negro, presentaron el mayor peso de forraje en los tratamientos inoculados y los fertilizados e inoculados.
- La colonización de los HMA nativos y la inoculación con *Azospirillum brasilense* VS7 favoreció el rendimiento de grano seco en los tres genotipos de maíz en un rango de 23 a 30% con respecto a los tratamientos fertilizados en ambos bloques.
- El tratamiento inoculado presentó los mayores rendimientos de grano seco en ambos bloques y con ello se tiene un ahorro de fertilizantes.

### C).- RENDIMIENTO

- El rendimiento de grano seco de maíz no presenta diferencias estadísticas significativas entre los bloques sin y con cal, pero numéricamente los mayores valores se presentaron en el bloque con cal, con 9% de incremento con respecto al bloque sin cal.
- El mayor rendimiento de grano seco lo presenta el maíz Negro inoculado con *Azospirillum brasilense* VS7 y el genotipo Pico de Gorrión en el tratamiento inoculado con la bacteria y en su interacción con el fertilizante, en el bloque con cal.
- El rendimiento de grano seco del genotipo de maíz Blanco en el tratamiento inoculado con *Azospirillum brasilense* VS7 es mayor cuando no esta combinada con los fertilizantes y mejora al encalarse el suelo.

**Con base en estas conclusiones se puede decir que la hipótesis formulada al inicio de este estudio se cumplió.**

## IX. – BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Abbott, L.K. y A.D. Robson. 1985. The effect of soil pH on the formation of VA Mycorrhizas by two species of *Glomus*. *Aust.J. Soil Res.*, 23, 515-522.
- Aguilar, M.D. y S.A. Trinidad. 1995. Cambios químicos de un Andisol por porqueraza y encalado en la respuesta de maíz. *Simposium Universitario de Edafología. Facultad de Ciencias., UNAM. México.* p 114.
- Aguilár, S.A., G.G. Alcántar y J.D. Etchevers, B. 1994. Acidez del suelo y encalado en México. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo, A.C. México.*
- Alcántar, G.G., J.D. Etchevers B. y A.Aguilar S. 1992. Los análisis físicos y químicos. Su aplicación en Agronomía. *Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.*
- Alcántar, G.G. y M. Sandoval V. 1999. *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.*
- Alexander, M. 1990. *Introducción a la microbiología del suelo. Ed. AGT Editor. México, D.F.*
- Al-Nahidh, S y A.H.M. Gomah. 1991. Response of wheat to dual inoculation with VA-mycorrhiza and *Azospirillum*, fertilized with NPK and irrigated with sewage effluent. *Arid Soil Res.Rehabil.* 5: 83-96.
- Alvarado, L.J. y L. J. Cajuste. 1996. Fuente de encalado y disponibilidad de fósforo. *Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Obregon, Sonora, México.* p 39.
- Andreeva, I. N., Mandkhan, T.V. Red Kina, E.N. Mishustin y S.F. Izmailov. 1991. Effect of *Azospirillum brasilense* on formation and nitrogen-fixing activity of bean and soybean nodules. *Soviet Plant Physiol.* 38: 646-651.

- Arroyo, A. V., M. Martínez G. y M.J. Sánchez C. 1996. Efecto de las micorrizas arbusculares en cultivos de maíz en dos sitios del Estado de México. I Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica. Xalapa, Veracruz. México. p. 27.
- Arroyo, A. V. y M. Martínez G. 1997. Efecto de la doble inoculación, endomicorriza V-A y *Azospirillum* en cultivos de maíz (*Zea mays*) de dos sitios del Estado de México. Tesis de Licenciatura. FES-ZARAGOZA. UNAM.
- Azcón, R. 1998. Papel de la simbiosis micorriza y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola. 3 pp. II Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica. Colima, Col. México.
- Azcón, R. 2000. Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola. Pp 1-15. In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds.). 2000. Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Mundi Prensa. México.
- Bago, B., C. Azcón-Aguilar., Y. Shachar-Hill y P. E. Pfeffer. 2000. El micelio externo de la micorriza arbuscular como puente simbiótico entre la raíz y su entorno. pp 78-92. In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds.). 2000. Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Mundi Prensa. México.
- Barea, J.M. y C. Azcon- Aguilar. 1983. Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen-fixing plants. In: N.C. Brady. Adv. AGR. 36: 1-54.
- Bashan, Y., G. Holguín, M. E. Puente, A. Carrillo, L. Alcaraz M., A. López C. and J. L. Ochoa. 1993. Agroecología, Sostenibilidad y Educación. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Estado de México.
- Bashan, Y.G. y R. Ferrera-Cerrato. 1996. Interacción entre plantas y microorganismos benéficos. I. *Azospirillum*. Terra 14(2): 159-194.

- Bashan, Y.G. y H. Levanony. 1990. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Can. J. Microbiol.* 36: 591-608.
- Bethlenfalvai, G. J. 1996. Mycorrhizae in soil biology: A key to sustainable plant-soil systems. I Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica. Xalapa, Veracruz. México.
- Bethlenfalvai, G.J. and R.G. Linderman. 1992. Mycorrhizae in sustainable agriculture. ASA. Special Publication No. 54. Agronomy Society of America, Madison, WI.
- Cajuste, L.J. 1977. Química de suelos con un enfoque agrícola. Colegio de Postgraduados. UACH, Texcoco. Estado de México, México.
- Carlson, P.S. 1990. Biología de la productividad de cultivos. AGT Editor, S.A. México. 413 pp.
- Caballero, M., J., M.G. Carcano M. and M.A. Mascarua E. 1992. Field inoculation of wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum brasilense* under temperate climate. *Symbiosis* 13: 243-253.
- Chapman, D.H. y P. F. Pratt. 1997. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas. México.
- Charest, C., G. Clark. and Y. Dalpé. 1997. The impact of arbuscular mycorrhizae and phosphorus status on growth of two turfgrass species. *Journal of Turfgrass Management* 2: 1-14.
- CIMMYT. 1983. Adiestramiento en Maíz. Experimentos fuera de la cosecha. Texcoco. México. México.
- Clapp, C.E., A.E. Molina y R.H. Dowy. 1990. Soil organic matter, tillage and the rhizosphere dynamics. 55-75 pp. *In*: Box J.E. y L.C. Hammond. Select symposium 113. Colorado, USA.
- Cruz, F. G. y G. Hernández C. 1996. Necesidades de cal en suelos de la Subprovincia fisiográfica "Mil Cumbres" correspondiente al Estado de México. Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Ciudad Obregón, Sonora, México. 228 p.

- Espinosa-Victoria, D. 2000. Diálogo molecular: Hongo micorrízico arbuscular – Raíz. pp 93-116. In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds.). 2000. Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Mundi Prensa. México.
- Etchevers, B. J.D. 1985. Análisis químico de suelos- Porqué de sus fallas. Serie Cuadernos de Edafología 4. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Fallik, E. y Y. Okon. 1996. Inoculats of *Azospirillum brasilense*: Biomass production, survival and growth promotion of *Setaria italica* and *Zea mays*. Soil Biol. Biochem. 28: 123-126.
- Fallik, E., Y. Okon, E. Epstein, A. Goldman y M. Fischer. 1989. Identification and quantification of IAA and IBA in *Azospirillum brasilense* - inoculated maize roots. Soil Biol. Biochem. 28: 123-126.
- Fallik, E., Y. Okon y M. Fischer. 1988. Growth response of maize roots to *Azospirillum* inoculation: Effect of soil, organic matter content, number of rhizosphere bacteria and timing of inoculation. Soil Biol. Biochem. 20: 45-49.
- FAO. 1995. Manual técnico de la fijación simbiótica del nitrógeno. Leguminosa / *Rhizobium* . Roma, Italia.
- Fernández-Vega, F. Z.C. 1995. Capacidad fijadora de nitrógeno *in vitro e in vivo* de dos cepas de *Azospirillum* en plantas de caña de azúcar. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos. Edo. de México, México.
- Ferrera-Cerrato, R. 1995. Efecto de rizosferas. pp 36-56. In: Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno (Editores). Agromicrobiología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México.
- Ferrera-Cerrato, R., M.C.A. González Ch. y M.N. Rodríguez M. 1993. Manual de Agromicrobiología. Editorial Trillas. México D.F.
- Foth, H.D. 1992. Fundamentos de la Ciencia del suelo. Editorial CECSA. México.

- Fulchieri, M. y L. Frioni. 1994. *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays*): effect on yield in a field experiment in central Argentina. *Soil Biol. Biochem.* 26: 921-923.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: adaptado a la República Mexicana. 2º. Edición. UNA. D.F. México.
- García, G. E., R. Ferrera-Cerrato., J.J. Almaráz S. y R. Rodríguez- Vázquez. 2000. Colonización micorrízica arbuscular en gramíneas creciendo en un suelo contaminado con hidrocarburos. pp 221-227. In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds.). 2000. *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Mundi Prensa. México.
- García, G.M.M., J.M. Sánchez Yañez, J.J. Peña Cabrales y P.E. Moreno Zacarías. 1995. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno. *Terra* 13 (1): 71-80.
- Gavande, S.A. 1979. *Física de suelos. Principios y aplicaciones*. Editorial Limusa. México.
- Gómez, C. G. 1995. La micorriza vesículo arbuscular en frutales. *Agromicrobiología*. pp 184-199. In: Ferrera-Cerrato y Pérez-Moreno (Editores). *Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas*. Montecillo, Estado de México.
- González, A.U. 1995. *El maíz y su conservación*. Editorial Trillas. México.
- González - Chávez, M. C. 1995. Interacción de la simbiosis endomicorrízica y la fijación biológica de nitrógeno. pp. 166-183. En: Ferrera-Cerrato y Pérez-Moreno (Editores). *Agromicrobiología*. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México.
- Grande, L.R. 1974. *Métodos para análisis físicos y químicos en suelos agrícolas*. Edit. Departamento de suelo del Instituto de Investigaciones en zonas desérticas. UASLP. San Luis Potosí, México.
- Grant, W.D. y P. E. Long. 1989. *Microbiología ambiental*. Ed. Acribia. Zaragoza, España.

- Grolier. 1997. Multimedia Encyclopedia. Electronic Publishing, Inc.
- Guzmán-Plazola, R. y R. Ferrera-Cerrato. 1990. La endomicorriza vesículo arbuscular en las leguminosas. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- Hernández, C. G., G. Cruz F., D. Flores R. y M.A. Valera P. 1997. Levantamiento nutricional del cultivo de maíz en la subprovincia fisiográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México. Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo en Villahermosa, Tabasco. México. 201.
- Hernández, D.M.L., M. Osuna A., A. Rivera C. y F. Pérez G. 1996. Respuesta del encalado en la producción de calidad en rabanito (*Raphanus sativus* L.) en el Ejido La Fortuna , Municipio de Tepic, Nay. Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Obregon, Sonora, México. 37 p.
- Hernández-Montiel, L.G., D. Trejo-Aguilar, J. Quinto, Y. Tablada y M.A. Escalona-Aguilar. 2000. Interacción entre *Azospirillum brasilense* y hongos micorrízicos arbusculares en el rendimiento de maíz bajo condiciones de campo. pp 33. Reunión Iberoamericana y III Simposio Nacional sobre Simbiosis Micorrízica. Guanajuato, Guanajuato, México.
- Holguin,G., Y. Bashan y R. Ferrera-Cerrato. 1996. Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos: III. Procedimientos para el aislamiento y caracterización de hongos micorrízicos y rizobacterias promotoras de crecimiento en plantas. Colegio de posgraduados. Montecillos, Estado de México, México.
- Hodges, D.M., R.I. Hamilton. and C. Charest. 1995. A chilling response test for early growth phase maize. *Agronomy Journal* 87:970-974.
- Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Desarrollo Social. 1994. Informe de la situación general en materia de Equilibrio Ecológico y protección al ambiente 1993-1994. Secretaría de Desarrollo Social, México.
- INEGI. 1990. Carta Topográfica de Villa de Allende, Estado de México. E14A36. Escala 1:50000, México D.F.
- INEGI. 1991. VII Censo Agropecuario. INEGI, México.

- Jackson, M.L. 1982. Análisis químico de suelos. Editorial Omega. Barcelona, España.
- Lynch, J.M. 1990. The rhizosphere. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Maehara, N., J. Kibuchi y K. Futa. 1993. Mycorrhizae of Japanese black pine (*Pinus thunbergii*): protection of seedlings from acid mist effect of acid mist on micorrhiza formation. *Can. J. Bot.* 71 (12): 1562-1567.
- Mendoza, V.R. y M. Garza, C. 1990. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) variedad Lucio Blanco (AN-361) inoculado con tres especies de *Azospirillum*. Memorias del XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera, México. p 155.
- Michiels, K.W., C.L. Croes y J. Varderleyden. 1991. Two different modes of attachment of *Azospirillum brasilense* Sp7 to wheat roots. *J. Gen. Microbiol.* 137: 2241-2246.
- Mosse, B. 1972. The influence of soil type and Endogone strain on the growth of mycorrhizal plants in phosphate deficient soils. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 3, 529-537.
- Mosse, B. y Hepper, C. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizal infections in root organ cultures. *Physiol. Plant Pathol.* 5, 215-223.
- O'Hara, G.W., M.R. Davey y J.A. Lucas. 1987. Effect of nitrogen on the yield response of *Pennisetum americanum*, *Triticum aestivum* and *Zea mays* to inoculation with *Azospirillum brasilense* under temperate conditions. *Biol. Fertil. Soils* 4: 67-72.
- Okon, Y., P.G. Heytler y R.W.F. Hardy. 1983. N<sub>2</sub> fixation by *Azospirillum brasilense* and its incorporation into host *Setaria italica*. *Environ. Microbiol.* 46: 694-697.
- Okon, Y. y Y. Kapulnik. 1986. Development and function of *Azospirillum* - inoculated roots. *Plant Soil*, 90: 3-16.



- Ortega, R.S.E. 1989. Aspectos fisiológicos y bioquímicos de *Azospirillum* sp. y su importancia en la agricultura. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM, México.
- Ortiz, S.C.A. 1985. Los principales suelos de México. Ed. Departamento de Suelos. UACH, México, México.
- Ortiz, S.C.A., D. Pájaro H. y M.C. Gutiérrez C. 1990. Introducción a la leyenda del mapa mundial de suelos. FAO-UNESCO, versión 1988, Ed. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Pérez, G.F., M. Osuna A. y M.L. Hernández D. 1996. Influencia del encalado sobre la producción de calidad en cebollita de rabo (*Allium cepa* L.) en el Municipio de Tepic, Nay. Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Obregón, Sonora, México, 38 p.
- Pérez, G.F., M. Osuna A. y M.L. Hernández D. 1997. Influencia de la cubierta plástica y encalado sobre rendimiento y calidad de rabano en la Fortuna, Nay. Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo en Villahermosa, Tabasco, México. p 232.
- Poelhman, T.M. 1979. Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa, México D.F.
- Potash & Phosphate Institute. 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. INPOFOS, Querétaro, México.
- Rangel, L.J.A. 1989. Biofertilizantes (*Azospirillum* spp); alternativa nutricional en maíz (*Zea mays* L.) Tesis profesional, Chapingo, México.
- Ramirez-Gama R.M. y B. Luna-Millan 1995. Simbiosis Asociativa. pp. 143-165. In: Ferrera-Cerrato y Pérez-Moreno (Editores). Agromicrobiología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México
- Rennie, R.J. 1980. <sup>15</sup>N-isotope dilution as a measure of dinitrogen fixation by *Azospirillum brasilense* associated with maize. Can. J. Bot. 58: 21-24.
- Reyes, C. P. 1990. El maíz y su cultivo. Ed. A.G.T, México, D.F.

- Reyes, C.P. 1999. Diseño de experimentos aplicados. Tercera edición. Editorial Trillas, México.
- Ruiz, B.A. y E. Ortega, T. 1979. Química de suelos, prácticas de laboratorio. Edit. Universidad Autónoma de Chapingo. México, México.
- Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México, Limusa, México.
- Russell, E.W. 1973. Soil conditions and Plant Growth. Ed. Longmans. London.
- Sánchez, C. M. J., M. Martínez G. y V. Arroyo A. 1997. Estudio de los hongos micorrízicos en cultivos de maíz en dos sitios del Estado de México. BIEN. Vol. 4, No. 1. 10-15.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-Mycorrhiza management in tropical agrosystems. Editorial Deutsche Gesellschaft, Germany.
- Siqueira, J.O., Hubbell, D.H. y Schenck, N.C. 1982. Spore germination and germ tube growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus in vitro. Mycología. 74, 952-959.
- Subramanian, K.S., C. Charest. 1998. Arbuscular mycorrhizae and nitrogen assimilation in maize after drought and recovery. Physiologia Plantarum 102.
- Tamhane, R.V., D.P. Motiramani, Y.P. Bali y R.L. Donahue. 1986. Suelos: Su química y fertilidad en zonas tropicales. Ed. Diana, México, D.F.
- Tanaka, A. 1980. Problemas nutricionales y el uso de fertilizantes. In: suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón. CIMMYT, México, México.
- Tarrand, J.J., N.R. Krieg J. Dobereiner. 1978. A Taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. Nov. Can. J. Microbiol. 24: 967-980.
- Thompson, L.M. y F.R. Troeh. 1982. Los suelos y su fertilidad. Ed. Reverte, Barcelona, España.

- Tisdale, L.S. y J.O. Beaton. 1988. Soil fertility and fertilizers. Editorial Mc Millan Publish, New York, USA.
- Vázquez, A.A. y A.N. Bautista. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. Departamento de Suelos, UACH; Texcoco, Estado de México, México.
- Vergara, S.M.A. 1992. Problemas nutrimentales y el uso de fertilizantes en Andosoles. Departamento de Suelos, UNACH, Texcoco, México.
- Vidal, F.C., R.M. Ramírez G. y J.A. Rangel L. 1998. Evaluación del rendimiento y contenido de nitrógeno en trigo vars. Romuna y temporalera inoculadas con *Azospirillum lipoferum*. Memorias del 29º Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Tapachula, Chiapas. p.142.
- Villar, S.B., E. López S. y J. Acosta G. 1998. Respuesta del frijol a la aplicación de cal en suelos ácidos de la Fraylesca, Chiapas. Memorias del 29º Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tapachula, Chiapas. p. 261.
- Villareal, Romero, M. 1990. Efecto de la doble inoculación *Azospirillum* sp. endomicorriza (V-A) en la producción de trigo. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México, México.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell, Ediciones Mundi-Prensa, España. 1045 pp.
- Zamudio, M y F. Bastarrachea. 1994. Adhesiveness and root hair deformation capacity of *Azospirillum* strain for wheat seedling. Soil Biol. Biochem. 26: 791-797.
- Zita, D. A. G y E. Meneses. 1998. Las micorrizas y la protección contra los efectos de la lluvia ácida. II Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrizica, Colima, México. p. 57.

**X.- APENDICES**

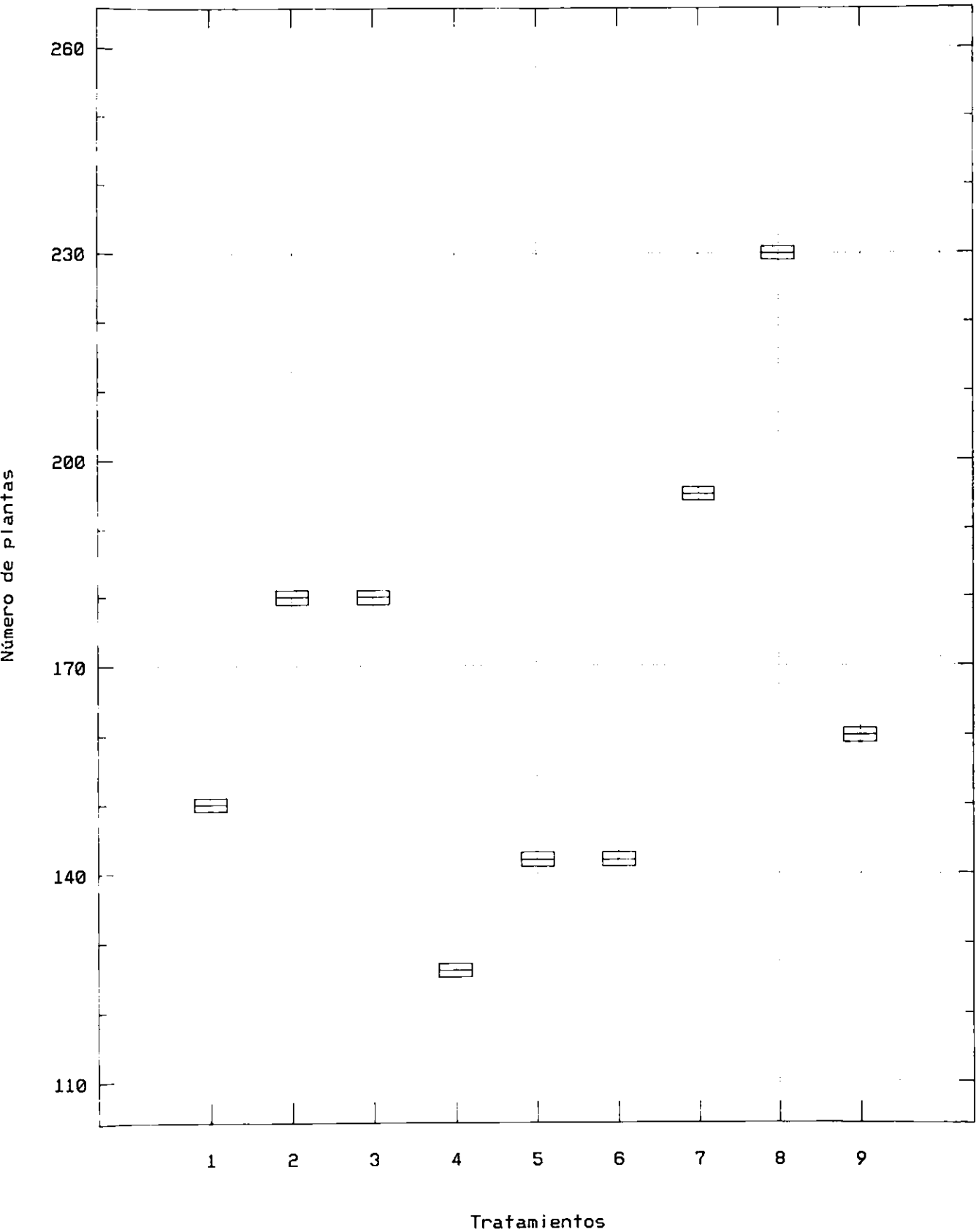
## APENDICE I

Análisis de rango múltiple de plantas de maíz emergidas en el Bloque Sin Cal, por el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%

Tratamientos	Repeticiones	Promedio	Grupos Homogéneos
4	4	126.0	X
5	4	142.0	X
6	4	142.0	X
1	4	150.0	X
9	4	160.0	X
2	4	180.0	X
3	4	180.0	X
7	4	195.0	X
8	4	230.0	X

\* Presentan diferencia estadística

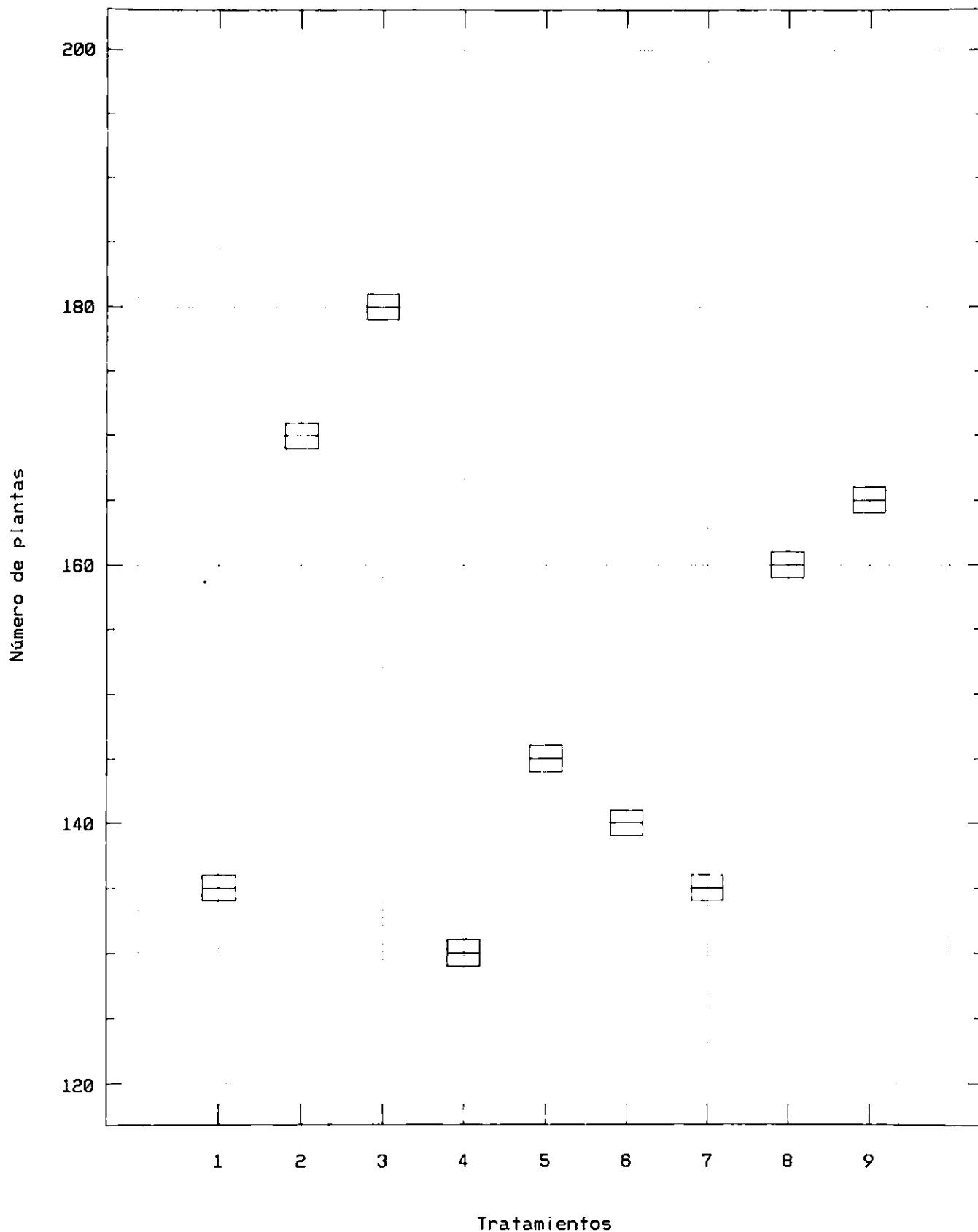
Contraste medias	Diferencia + / -	Límite
1 - 2	-30.0	2.86183*
1 - 3	-30.0	2.86183*
1 - 4	24.0	2.86183*
1 - 5	8.0	2.86183*
1 - 6	8.0	2.86183*
1 - 7	-45.0	2.86183*
1 - 8	-80.0	2.86183*
1 - 9	-10.0	2.86183*
2 - 3	0.0	2.86183
2 - 4	54.0	2.86183*
2 - 5	38.0	2.86183*
2 - 6	38.0	2.86183*
2 - 7	-15.0	2.86183*
2 - 8	-50.0	2.86183*
2 - 9	20.0	2.86183*
3 - 4	54.0	2.86183*
3 - 5	38.0	2.86183*
3 - 6	38.0	2.86183*
3 - 7	-15.0	2.86183*
3 - 8	-50.0	2.86183*
3 - 9	20.0	2.86183*
4 - 5	-16.0	2.86183*
4 - 6	-16.0	2.86183*
4 - 7	-69.0	2.86183*
4 - 8	-104.0	2.86183*
4 - 9	-34.0	2.86183*
5 - 6	0.0	2.86183
5 - 7	-53.0	2.86183*
5 - 8	-88.0	2.86183*
5 - 9	-18.0	2.86183*
6 - 7	-53.0	2.86183*
6 - 8	-88.0	2.86183*
6 - 9	-18.0	2.86183*
7 - 8	-35.0	2.86183*
7 - 9	35.0	2.86183*
8 - 9	70.0	2.86183*

Diagrama de caja de plantas de maíz  
emergidas en el bloque sin cal

**Análisis de rango múltiple de plantas de maíz emergidas en el Bloque Con Cal, por el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%**

Tratamientos	Repeticiones	Promedio	Grupos Homogéneos
4	4	130.0	X
1	4	135.0	X
7	4	135.0	X
6	4	140.0	X
5	4	145.0	X
8	4	160.0	X
9	4	165.0	X
2	4	170.0	X
3	4	180.0	X

Contraste de medias	Diferencia + / -	Límite
1 - 2	-35.0	2.86183*
1 - 3	-45.0	2.86183*
1 - 4	5.0	2.86183*
1 - 5	-10.0	2.86183*
1 - 6	-5.0	2.86183*
1 - 7	0.0	2.86183
1 - 8	-25.0	2.86183*
1 - 9	-30.0	2.86183*
2 - 3	-10.0	2.86183*
2 - 4	40.0	2.86183*
2 - 5	25.0	2.86183*
2 - 6	30.0	2.86183*
2 - 7	35.0	2.86183*
2 - 8	10.0	2.86183*
2 - 9	5.0	2.86183*
3 - 4	50.0	2.86183*
3 - 5	35.0	2.86183*
3 - 6	40.0	2.86183*
3 - 7	45.0	2.86183*
3 - 8	20.0	2.86183*
3 - 9	15.0	2.86183*
4 - 5	-15.0	2.86183*
4 - 6	-10.0	2.86183*
4 - 7	-5.0	2.86183*
4 - 8	-30.0	2.86183*
4 - 9	-35.0	2.86183*
5 - 6	5.0	2.86183*
5 - 7	10.0	2.86183*
5 - 8	-15.0	2.86183*
5 - 9	-20.0	2.86183*
6 - 7	5.0	2.86183*
6 - 8	-20.0	2.86183*
6 - 9	-25.0	2.86183*
7 - 8	-25.0	2.86183*
7 - 9	-30.0	2.86183*
8 - 9	-5.0	2.86183*

Diagrama de caja de plantas de maíz  
emergidas en el bloque con cal

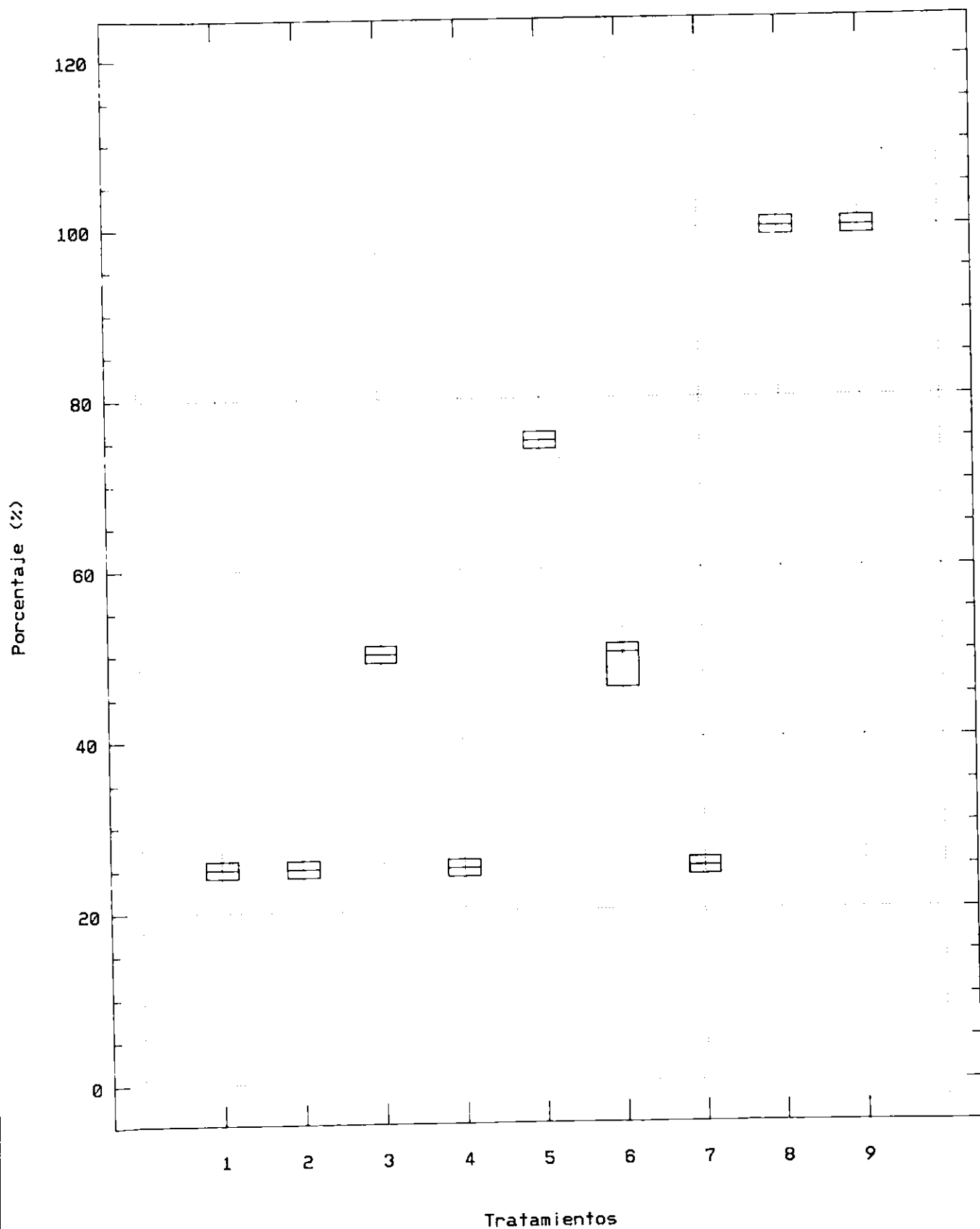


## APENDICE II

Análisis de rango múltiple del porcentaje de infección de las raíces de maíz por *Azospirillum* del Bloque SIN CAL, por el método Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%

Tratamientos	Repeticiones	Promedio (%)	Grupos Homogéneos
1	4	25.00	X
2	4	25.00	X
4	4	25.00	X
7	4	25.00	X
6	4	49.00	X
3	4	50.00	X
5	4	75.00	X
8	4	100.0	X
9	4	100.0	X

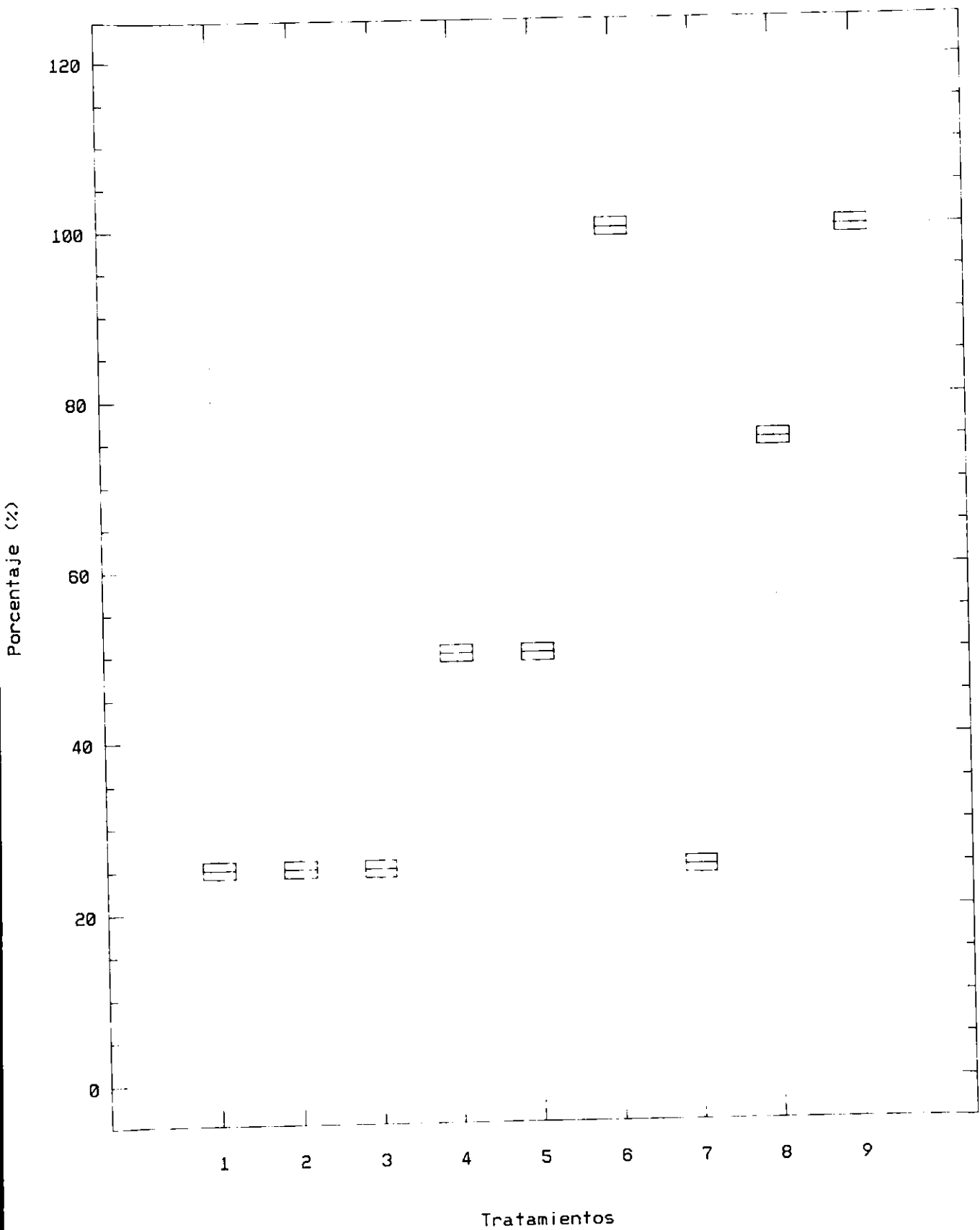
Contraste medias	Diferencia + / -	Límite
1 - 2	0.00	3.6946
1 - 3	-25.00	3.6946*
1 - 4	0.000	3.6946
1 - 5	-50.00	3.6946*
1 - 6	-24.00	3.69461*
1 - 7	0.000	3.6946
1 - 8	-75.00	3.6946*
1 - 9	-75.00	3.6946*
2 - 3	-25.00	3.6946*
2 - 4	0.000	3.6946
2 - 5	-50.00	3.6946*
2 - 6	-24.00	3.6946*
2 - 7	0.000	3.6946
2 - 8	-75.00	3.6946*
2 - 9	-75.00	3.6946*
3 - 4	25.00	3.6946*
3 - 5	-25.00	3.6946*
3 - 6	1.000	3.6946
3 - 7	25.00	3.6946*
3 - 8	-50.00	3.6946*
3 - 9	-50.00	3.6946*
4 - 5	-50.00	3.6946*
4 - 6	-24.00	3.6946*
4 - 7	0.000	3.6946
4 - 8	-75.00	3.6946*
4 - 9	-75.00	3.6946*
5 - 6	26.00	3.6946*
5 - 7	50.00	3.6946*
5 - 8	-25.00	3.6946*
5 - 9	-25.00	3.6946*
6 - 7	24.00	3.6946*
6 - 8	-51.00	3.6946*
6 - 9	-51.00	3.6946*
7 - 8	-75.00	3.6946*
7 - 9	-75.00	3.6946*
8 - 9	0.000	3.6946

Diagrama de caja de Infección del maíz  
por *Azospirillum* en el bloque sin cal

Análisis de rango múltiple del porcentaje de infección de las raíces de maíz por *Azospirillum* del Bloque CON CAL, por el método Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%

Tratamientos	Repeticiones	Promedio (%)	Grupos Homogéneos
1	4	25.00	X
2	4	25.00	X
3	4	25.00	X
7	4	25.00	X
4	4	50.00	X
5	4	50.00	X
8	4	75.00	X
6	4	100.0	X
9	4	100.0	X

Contraste medias	Diferencia +/-	Límite
1 - 2	0.000	2.86183
1 - 3	0.000	2.86183
1 - 4	-25.00	2.86183*
1 - 5	-25.00	2.86183*
1 - 6	-75.00	2.86183*
1 - 7	0.000	2.86183
1 - 8	-50.00	2.86183*
1 - 9	-75.00	2.86183*
2 - 3	0.000	2.86183
2 - 4	-25.00	2.86183*
2 - 5	-25.00	2.86183*
2 - 6	-75.00	2.86183*
2 - 7	0.000	2.86183
2 - 8	-50.00	2.86183*
2 - 9	-75.00	2.86183*
3 - 4	-25.00	2.86183*
3 - 5	-25.00	2.86183*
3 - 6	-75.00	2.86183*
3 - 7	0.000	2.86183
3 - 8	-50.00	2.86183*
3 - 9	-75.00	2.86183*
4 - 5	0.000	2.86183
4 - 6	-50.00	2.86183*
4 - 7	25.00	2.86183*
4 - 8	-25.00	2.86183*
4 - 9	-50.00	2.86183*
5 - 6	-50.00	2.86183*
5 - 7	25.00	2.86183*
5 - 8	-25.00	2.86183*
5 - 9	-50.00	2.86183*
6 - 7	75.00	2.86183*
6 - 8	25.00	2.86183*
6 - 9	0.000	2.86183
7 - 8	-50.0	2.86183*
7 - 9	-75.00	2.86183*
8 - 9	-25.00	2.86183*

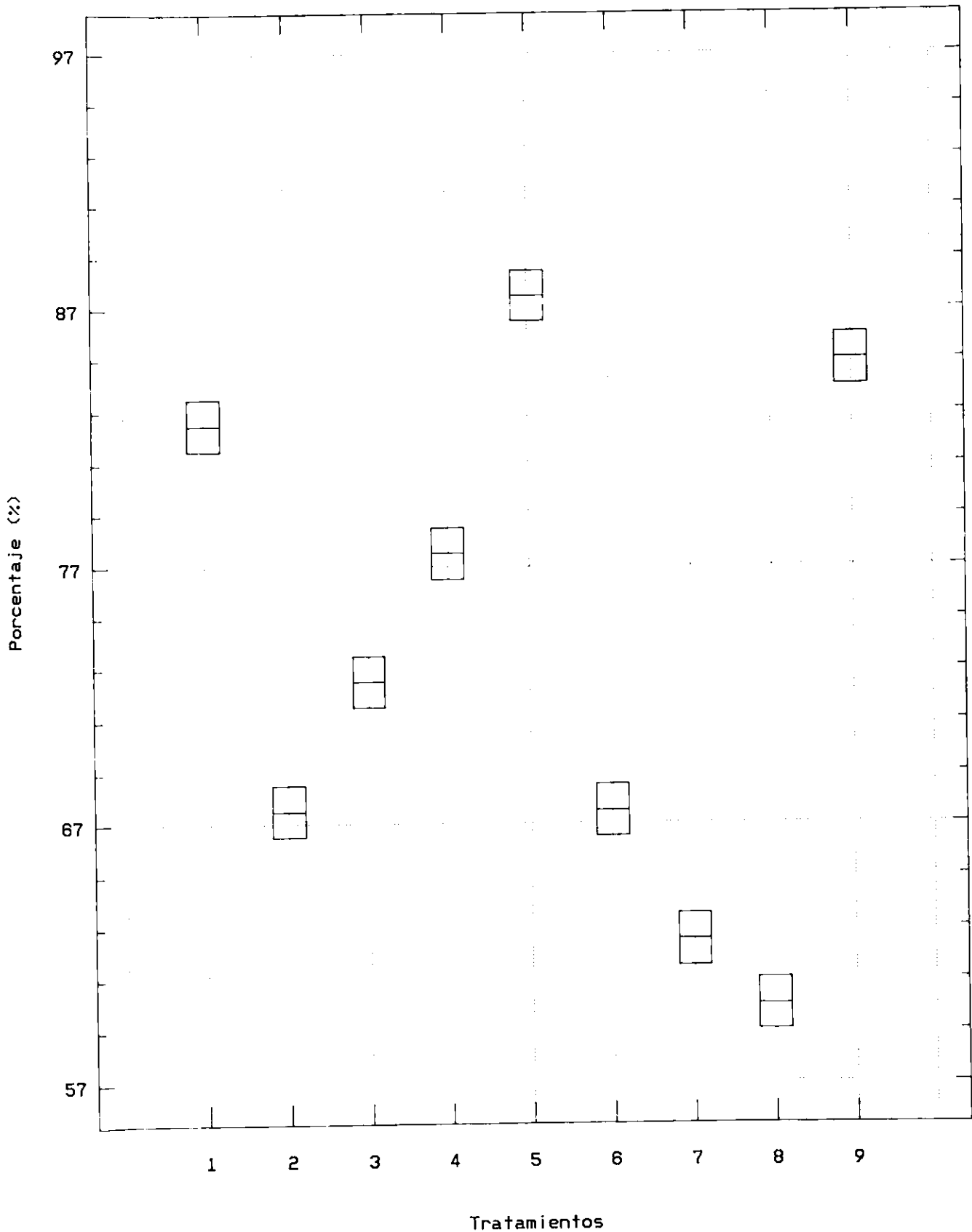
Diagrama de caja de Infección del maíz  
por *Azospirillum* en el bloque con cal

Análisis de rango múltiple de la colonización total micorrízica en maíz en el Bloque Con Cal, por el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%

Tratamientos	Repeticiones	Promedio (%)	Grupos Homogéneos
8	4	60.0	X
7	4	62.5	X
2	4	67.5	X
6	4	67.5	X
3	4	72.5	X
4	4	77.5	X
1	4	82.5	X
9	4	85.5	XX
5	4	87.5	X

Contraste de medias	Diferencia +/-	Límite
1 - 2	15.00	2.86183*
1 - 3	10.00	2.86183*
1 - 4	5.00	2.86183*
1 - 5	-5.00	2.86183*
1 - 6	15.00	2.86183*
1 - 7	20.00	2.86183*
1 - 8	22.50	2.86183*
1 - 9	-2.20	2.86183
2 - 3	-5.00	2.86183*
2 - 4	-10.00	2.86183*
2 - 5	-20.00	2.86183*
2 - 6	0.000	2.86183
2 - 7	5.00	2.86183*
2 - 8	7.500	2.86183*
2 - 9	-17.50	2.86183*
3 - 4	-5.00	2.86183*
3 - 5	-15.00	2.86183*
3 - 6	5.00	2.86183*
3 - 7	10.00	2.86183*
3 - 8	12.50	2.86183*
3 - 9	-12.00	2.86183*
4 - 5	-10.00	2.86183*
4 - 6	10.00	2.86183*
4 - 7	15.00	2.86183*
4 - 8	17.50	2.86183*
4 - 9	-7.50	2.86183*
5 - 6	20.00	2.86183*
5 - 7	25.00	2.86183*
5 - 8	27.50	2.86183*
5 - 9	2.500	2.86183
6 - 7	5.00	2.86183*
6 - 8	7.500	2.86183*
6 - 9	-17.500	2.86183*
7 - 8	2.50	2.86183
7 - 9	-22.50	2.86183*
8 - 9	-25.00	2.86183*

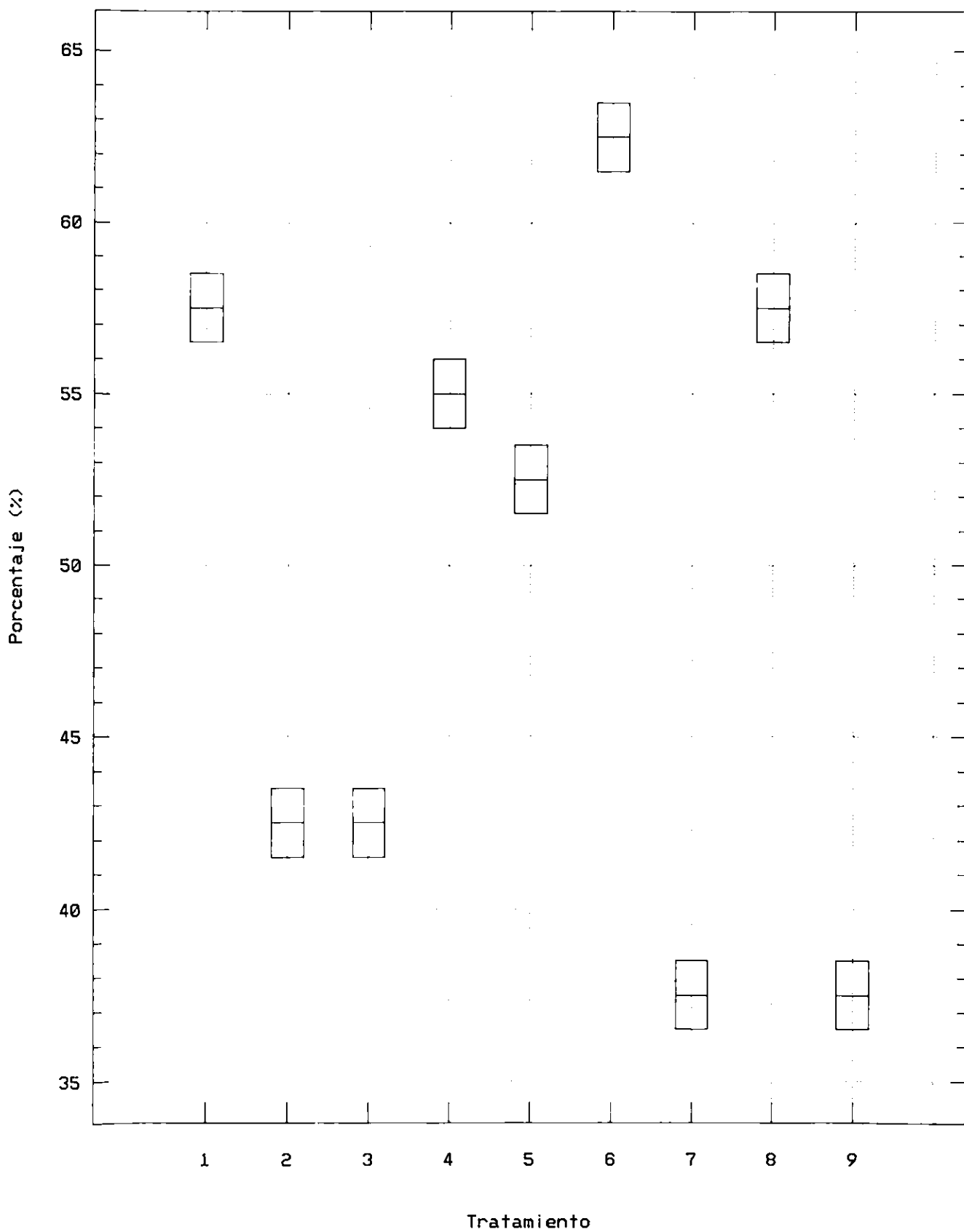
Diagrama de caja de la Colonización micorrizica en el bloque con cal



**Análisis de rango múltiple de la colonización total micorrízica en maíz en el Bloque Sin Cal, por el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%**

Tratamientos	Repeticiones	Promedio (%)	Grupos Homogéneos
7	4	37.5	X
9	4	37.5	X
2	4	42.5	X
3	4	42.5	X
5	4	52.5	X
4	4	55.0	XX
1	4	57.5	X
8	4	57.5	X
6	4	62.5	X

Contraste medias	Diferencia + / -	Límite
1 - 2	15.00	2.86183*
1 - 3	15.00	2.86183*
1 - 4	2.50	2.86183
1 - 5	5.00	2.86183*
1 - 6	-5.00	2.86183*
1 - 7	20.00	2.86183*
1 - 8	0.00	2.86183
1 - 9	20.00	2.86183*
2 - 3	0.00	2.86183
2 - 4	-12.00	2.86183*
2 - 5	-10.00	2.86183*
2 - 6	-20.00	2.86183*
2 - 7	5.00	2.86183*
2 - 8	-15.00	2.86183*
2 - 9	5.00	2.86183*
3 - 4	-12.50	2.86183*
3 - 5	-10.00	2.86183*
3 - 6	-20.00	2.86183*
3 - 7	5.00	2.86183*
3 - 8	-15.00	2.86183*
3 - 9	5.00	2.86183*
4 - 5	2.500	2.86183
4 - 6	-7.500	2.86183*
4 - 7	17.50	2.86183
4 - 8	-2.500	2.86183
4 - 9	17.50	2.86183*
5 - 6	-10.00	2.86183*
5 - 7	15.00	2.86183*
5 - 8	-5.00	2.86183*
5 - 9	15.00	2.86183*
6 - 7	25.00	2.86183*
6 - 8	5.00	2.86183*
6 - 9	25.00	2.86183*
7 - 8	-20.00	2.86183*
7 - 9	0.00	2.86183
8 - 9	20.00	2.86183*

Diagrama de caja de la Colonización  
micorrizica en el bloque sin cal



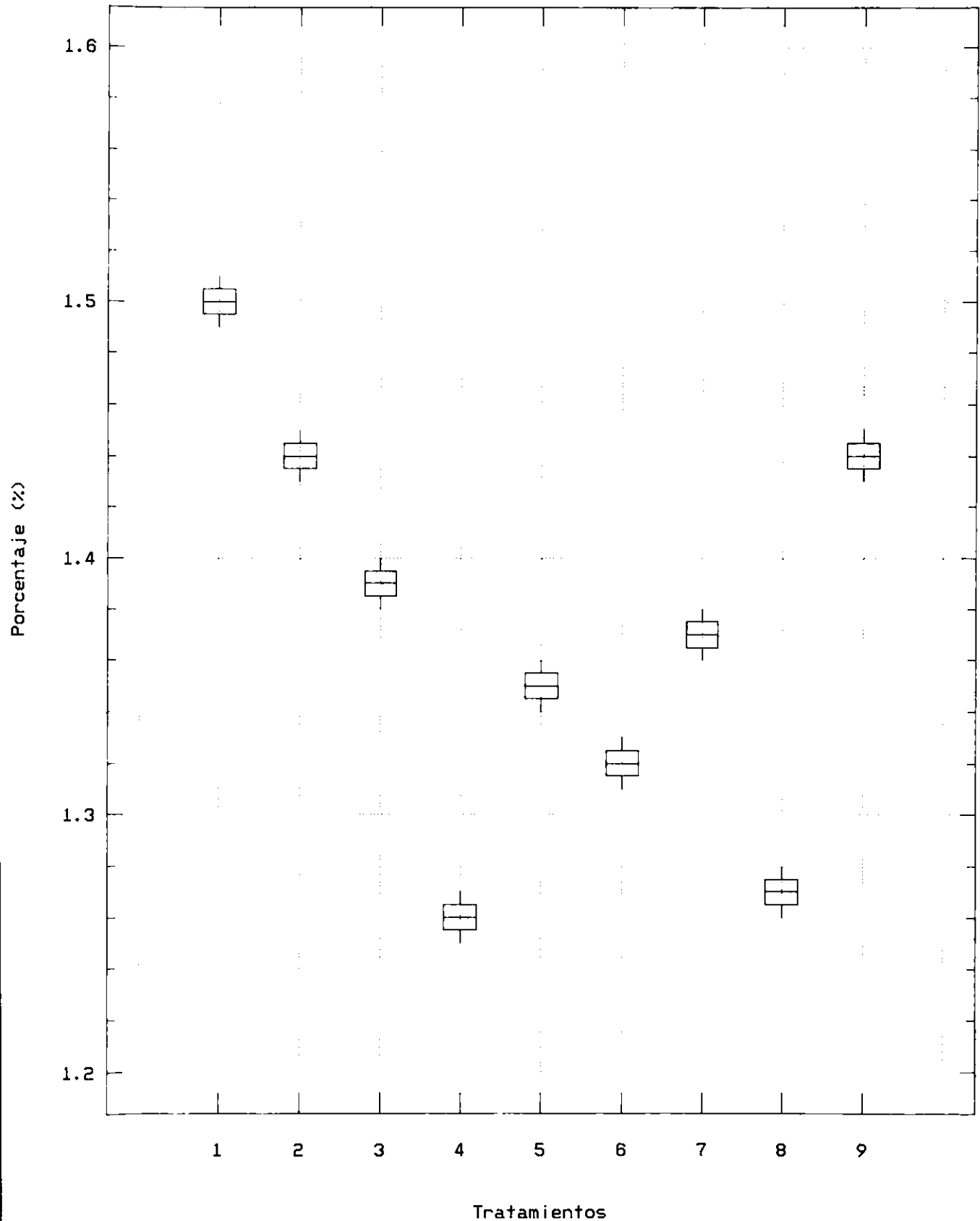
## APENDICE III

Análisis de rango múltiple del nitrógeno foliar acumulado en maíz en el Bloque Sin Cal, por el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%

Tratamientos	Repeticiones	Promedio (%)	Grupos Homogéneos
4	4	1.260	X
8	4	1.270	X
6	4	1.320	X
5	4	1.350	X
7	4	1.370	X
3	4	1.390	X
2	4	1.440	X
9	4	1.440	X
1	4	1.500	X

Contraste de medias	Diferencia +/-	Límite
1 - 2	0.060	0.01943*
1 - 3	0.110	0.01943*
1 - 4	0.240	0.01943*
1 - 5	0.150	0.01943*
1 - 6	0.180	0.01943*
1 - 7	0.130	0.01943*
1 - 8	0.230	0.01943*
1 - 9	0.060	0.01943*
2 - 3	0.050	0.01943*
2 - 4	0.180	0.01943*
2 - 5	0.090	0.01943*
2 - 6	0.120	0.01943*
2 - 7	0.070	0.01943*
2 - 8	0.170	0.01943*
2 - 9	0.0	0.01943
3 - 4	0.130	0.01943*
3 - 5	0.040	0.01943*
3 - 6	0.070	0.01943*
3 - 7	0.020	0.01943*
3 - 8	0.120	0.01943*
3 - 9	-0.050	0.01943*
4 - 5	-0.090	0.01943*
4 - 6	-0.060	0.01943*
4 - 7	-0.110	0.01943*
4 - 8	-0.010	0.01943
4 - 9	-0.180	0.01943*
5 - 6	0.030	0.01943*
5 - 7	-0.020	0.01943*
5 - 8	0.080	0.01943*
5 - 9	-0.090	0.01943*
6 - 7	-0.050	0.01943*
6 - 8	0.050	0.01943*
6 - 9	-0.120	0.01943*
7 - 8	0.100	0.01943*
7 - 9	-0.070	0.01943*
8 - 9	-0.170	0.01943*

Diagrama de caja del nitrógeno foliar  
acumulado en maíz en el bloque sin cal

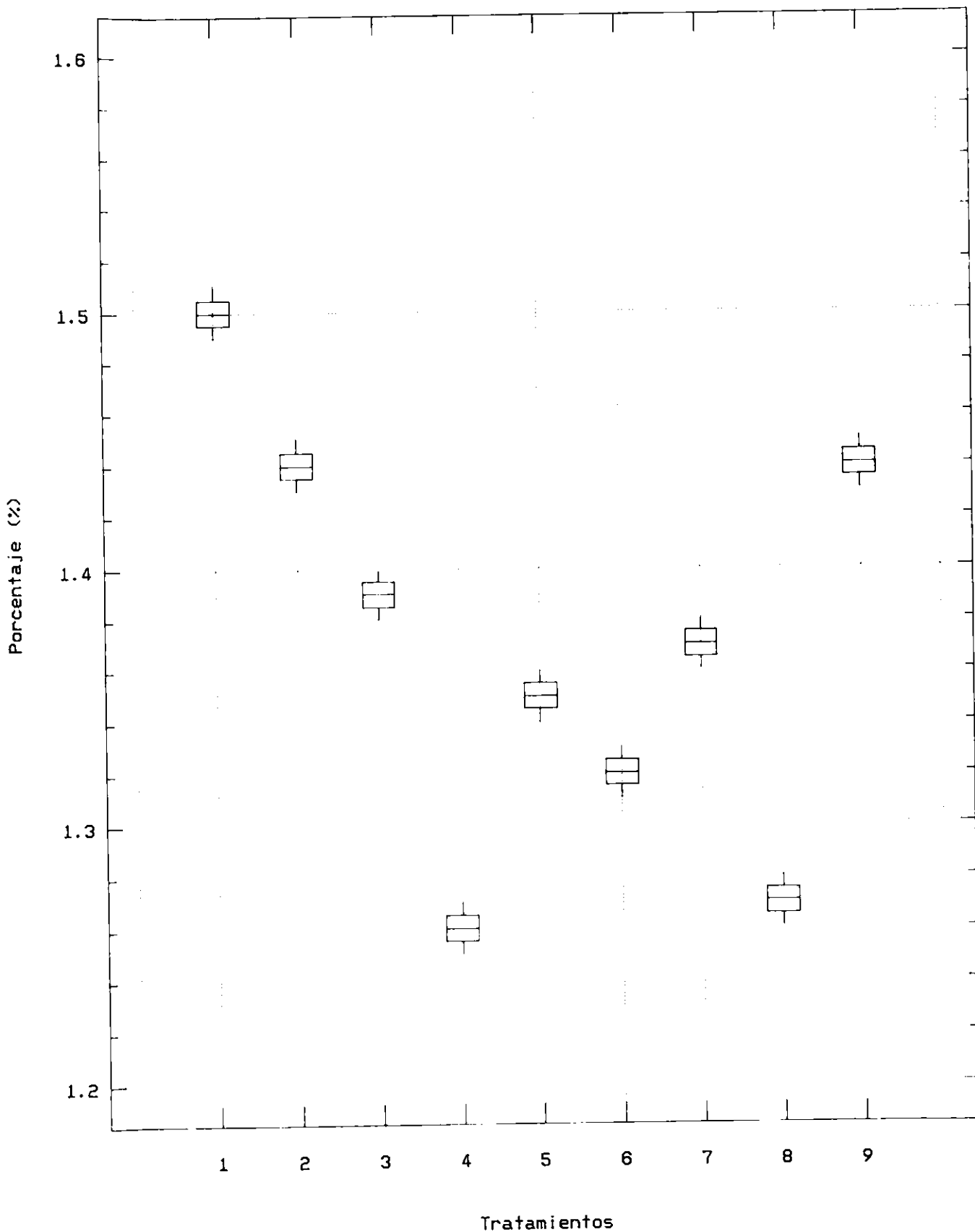


**Análisis de rango múltiple del nitrógeno foliar acumulado en maíz en el Bloque Con Cal, por el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%**

Tratamientos	Repeticiones	Promedio (%)	Grupos Homogéneos
5	4	1 360	X
6	4	1 450	X
3	4	1 510	X
4	4	1 510	X
8	4	1 520	X
7	4	1 530	XX
1	4	1 550	X
9	4	1 740	X
2	4	1 780	X

Contraste medias	Diferencia +/-	Límite
1 - 2	-0.2325	0.02278*
1 - 3	0.0400	0.02278*
1 - 4	0.0400	0.02278*
1 - 5	0.1900	0.02278*
1 - 6	0.1000	0.02278*
1 - 7	0.0200	0.02278
1 - 8	0.0300	0.02278*
1 - 9	-0.1900	0.02278*
2 - 3	0.2725	0.02278*
2 - 4	0.2725	0.02278*
2 - 5	0.4225	0.02278*
2 - 6	0.3325	0.02278*
2 - 7	0.2525	0.02278*
2 - 8	0.2625	0.02278*
2 - 9	0.0425	0.02278*
3 - 4	0.000	0.02278
3 - 5	0.1500	0.02278*
3 - 6	0.0600	0.02278*
3 - 7	-0.0200	0.02278*
3 - 8	-0.0100	0.02278
3 - 9	-0.2300	0.02278*
4 - 5	0.1500	0.02278*
4 - 6	0.0600	0.02278*
4 - 7	-0.0200	0.02278
4 - 8	-0.0100	0.02278
4 - 9	-0.2300	0.02278*
5 - 6	-0.0900	0.02278*
5 - 7	-0.1700	0.02278*
5 - 8	-0.1600	0.02278*
5 - 9	-0.3800	0.02278*
6 - 7	-0.0800	0.02278*
6 - 8	-0.0700	0.02278*
6 - 9	-0.2900	0.02278*
7 - 8	0.0100	0.02278
7 - 9	-0.2100	0.02278*
8 - 9	-0.2200	0.02278*

Diagrama de caja del nitrógeno foliar  
acumulado en maíz en el bloque sin cal

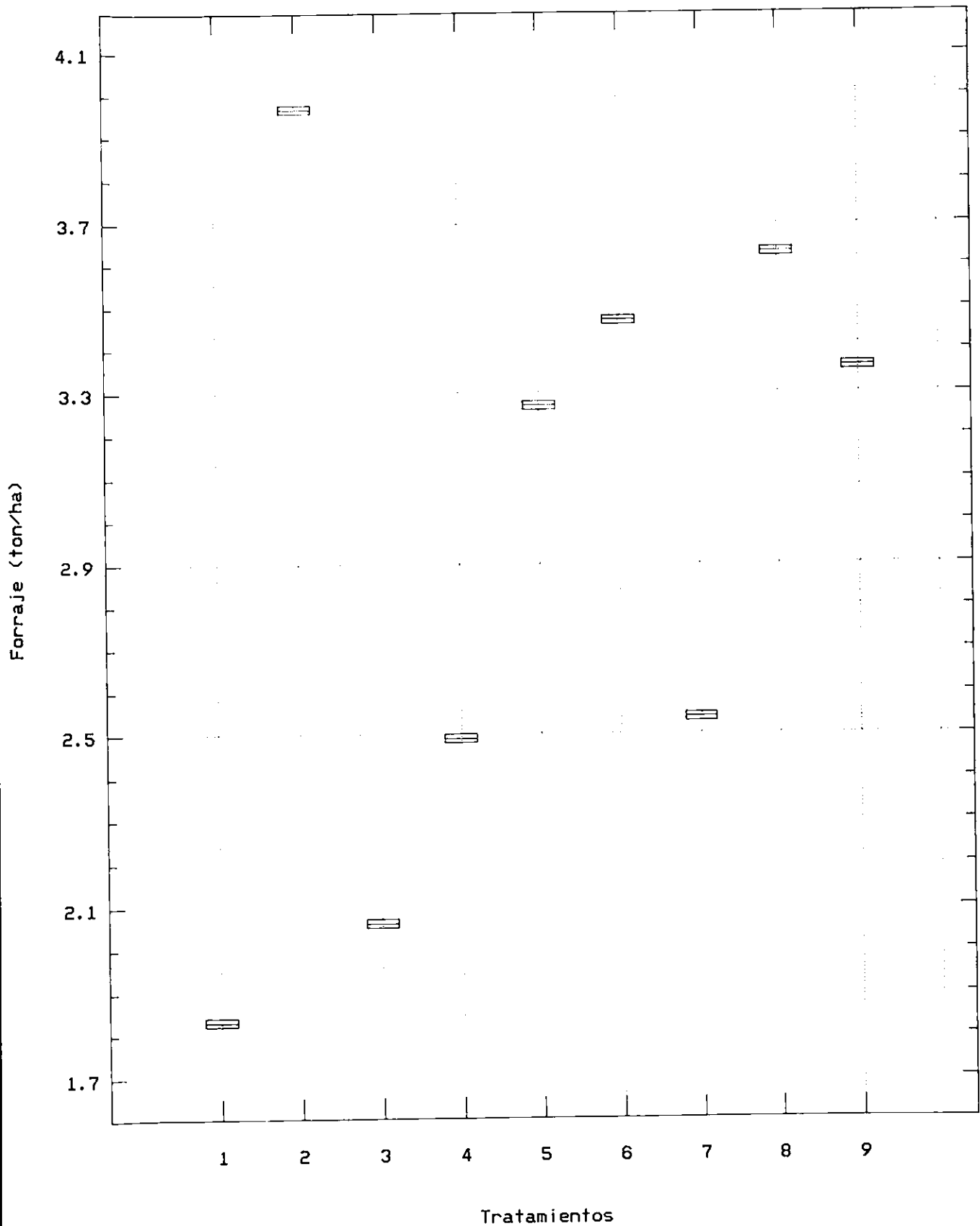


## APENDICE IV

Análisis de rango múltiple del forraje de maíz en los diferentes tratamientos del bloque CON CAL, por el método Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%

Tratamientos	Repeticiones	Promedio (ton/ha)	Grupos Homogéneos
1	4	1.83	X
3	4	2.06	X
4	4	2.49	X
7	4	2.54	X
5	4	3.27	X
9	4	3.36	X
6	4	3.47	X
8	4	3.63	X
2	4	3.97	X

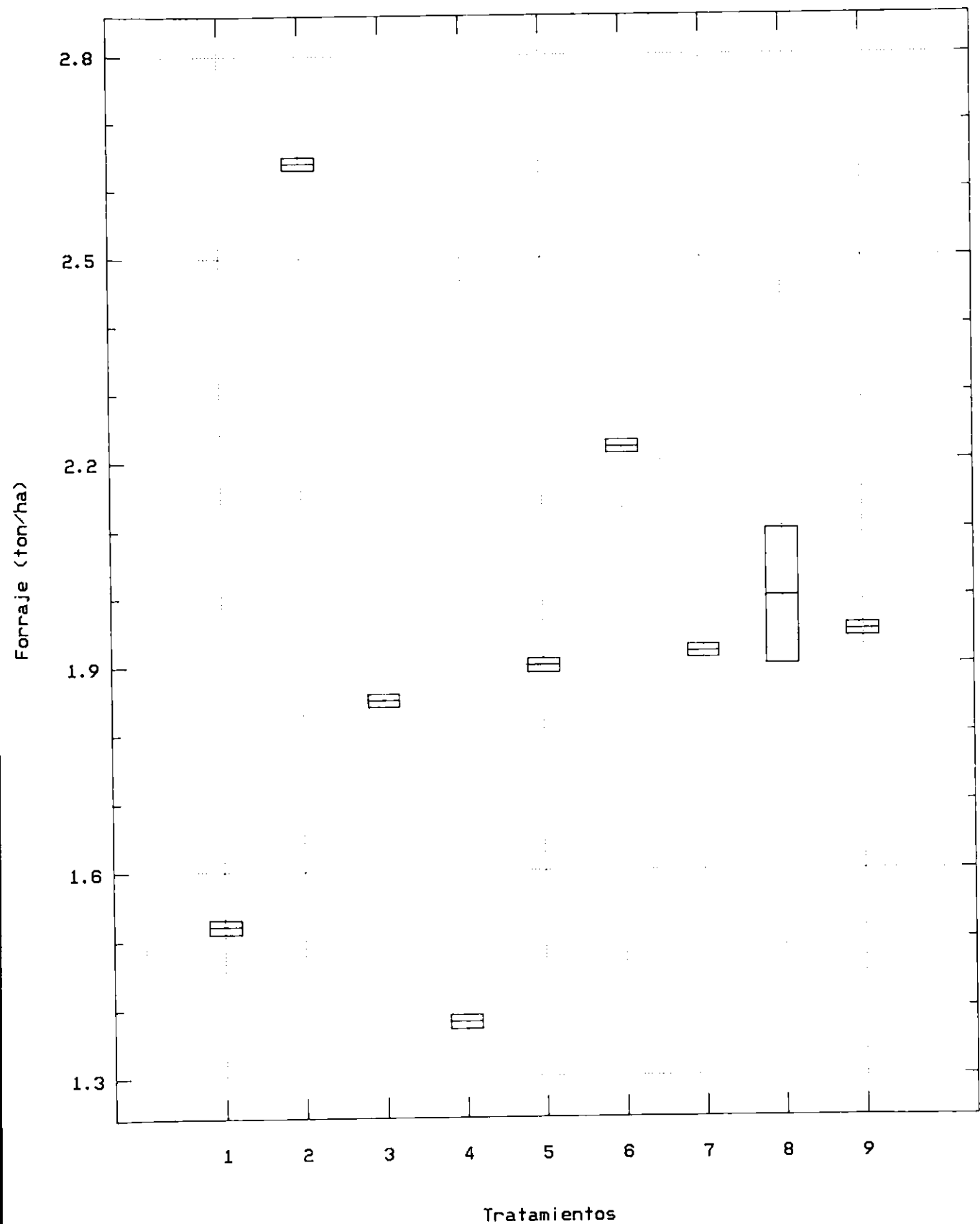
Contraste medias	Diferencia + / -	Límite
1 - 2	-2.140	0.01943*
1 - 3	-0.230	0.01943*
1 - 4	-0.660	0.01943*
1 - 5	-1.440	0.01943*
1 - 6	-1.640	0.01943*
1 - 7	-0.710	0.01943*
1 - 8	-1.800	0.01943*
1 - 9	-1.530	0.01943*
2 - 3	1.910	0.01943*
2 - 4	1.480	0.01943*
2 - 5	0.700	0.01943*
2 - 6	0.500	0.01943*
2 - 7	1.430	0.01943*
2 - 8	0.340	0.01943*
2 - 9	0.610	0.01943*
3 - 4	-0.430	0.01943*
3 - 5	-1.210	0.01943*
3 - 6	-1.410	0.01943*
3 - 7	-0.480	0.01943*
3 - 8	-1.570	0.01943*
3 - 9	-1.30	0.01943*
4 - 5	-0.780	0.01943*
4 - 6	-0.980	0.01943*
4 - 7	-0.050	0.01943*
4 - 8	-1.140	0.01943*
4 - 9	-0.870	0.01943*
5 - 6	-0.200	0.01943*
5 - 7	0.730	0.01943*
5 - 8	-0.360	0.01943*
5 - 9	-0.090	0.01943*
6 - 7	0.930	0.01943*
6 - 8	-0.160	0.01943*
6 - 9	0.110	0.01943*
7 - 8	-1.090	0.01943*
7 - 9	-0.820	0.01943*
8 - 9	0.270	0.01943*

Diagrama de caja del forraje de maíz  
en el bloque con cal

**Análisis de rango múltiple del forraje de maíz en los diferentes tratamientos del bloque SIN CAL, por el método Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%**

Tratamientos	Repeticiones	Promedio (ton/ha)	Grupos Homogéneos
4	4	1.380	X
1	4	1.520	X
3	4	1.850	X
5	4	1.900	XX
7	4	1.920	XXX
9	4	1.950	XX
8	4	2.000	X
6	4	2.220	X
2	4	2.640	X

Contraste de medias	Diferencia + / -	Límite
1 - 2	-1.120	0.09518*
1 - 3	-0.330	0.09518*
1 - 4	0.140	0.09518*
1 - 5	-0.380	0.09518*
1 - 6	-0.700	0.09518*
1 - 7	-0.400	0.09518*
1 - 8	-0.480	0.09518*
1 - 9	-0.430	0.09518*
2 - 3	0.790	0.09518*
2 - 4	1.260	0.09518*
2 - 5	0.740	0.09518*
2 - 6	0.420	0.09518*
2 - 7	0.720	0.09518*
2 - 8	0.640	0.09518*
2 - 9	0.690	0.09518*
3 - 4	0.470	0.09518*
3 - 5	-0.050	0.09518
3 - 6	-0.370	0.09518*
3 - 7	-0.070	0.09518
3 - 8	-0.150	0.09518*
3 - 9	0.100	0.09518*
4 - 5	0.520	0.09518*
4 - 6	-0.840	0.09518*
4 - 7	-0.540	0.09518*
4 - 8	-0.620	0.09518*
4 - 9	-0.570	0.09518*
5 - 6	-0.320	0.09518*
5 - 7	-0.020	0.09518
5 - 8	-0.100	0.09518*
5 - 9	-0.050	0.09518
6 - 7	0.300	0.09518*
6 - 8	0.220	0.09518*
6 - 9	0.270	0.09518*
7 - 8	-0.080	0.09518
7 - 9	-0.030	0.09518
8 - 9	0.050	0.09518

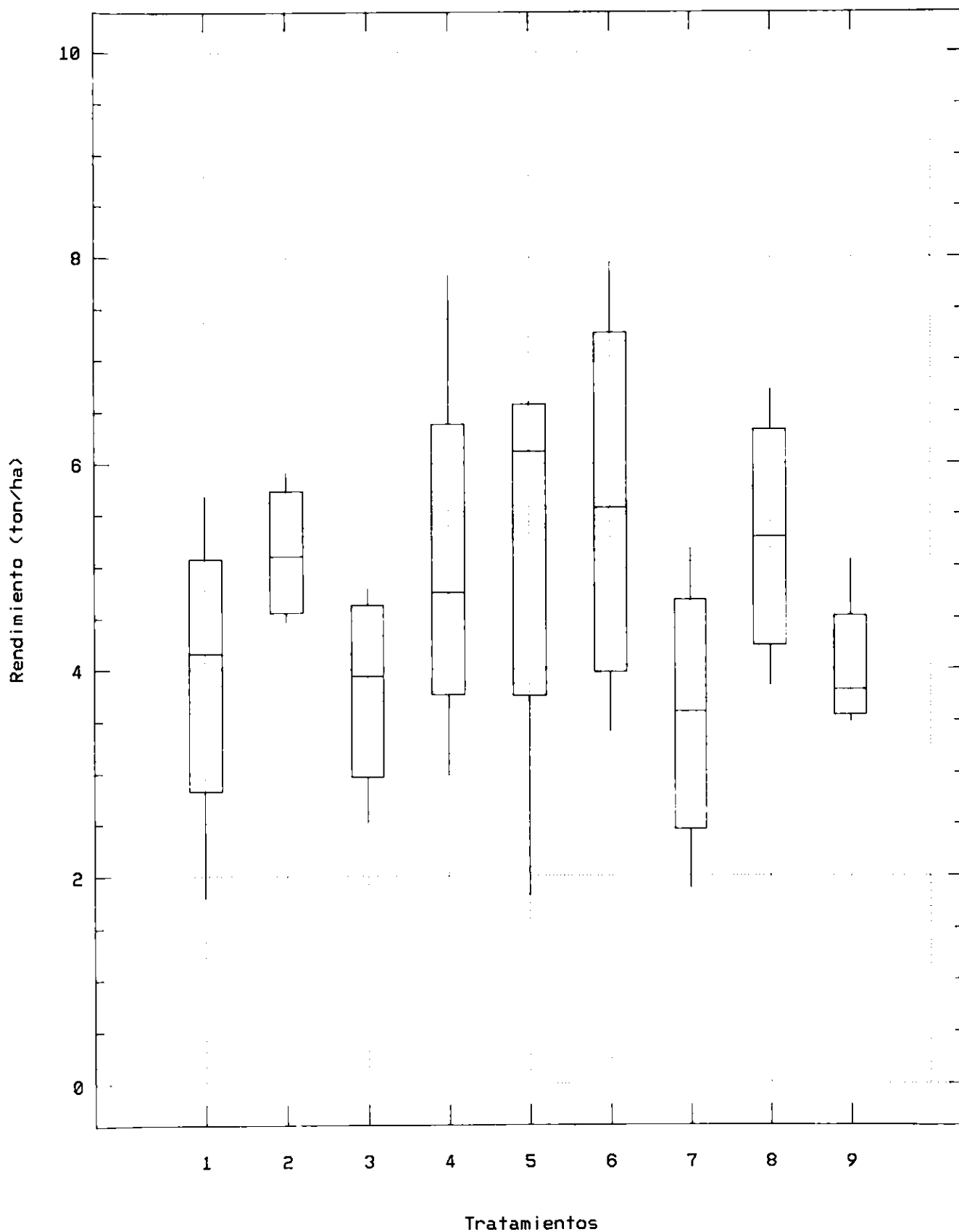
Diagrama de caja del forraje de maíz  
en el bloque sin cal



Análisis de rango múltiple del rendimiento del grano seco del maíz en los diferentes tratamientos del bloque CON CAL, por el método Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%

Tratamientos	Repeticiones	Promedio (ton/ha)	Grupos Homogéneos
7	4	3.5604250	X
3	4	3.7952750	X
1	4	3.9480000	X
9	4	4.0358250	X
4	4	5.0704750	X
2	4	5.1438250	X
5	4	5.1610250	X
8	4	5.2812750	X
6	4	5.6244500	X

Contraste medias	Diferencia + / -	Límite
1 - 2	-1.19583	3.70211
1 - 3	0.15273	3.70211
1 - 4	-1.12247	3.70211
1 - 5	-1.21302	3.70211
1 - 6	-1.67645	3.70211
1 - 7	0.38738	3.70211
1 - 8	-1.33327	3.70211
1 - 9	-0.08782	3.70211
2 - 3	1.34855	3.70211
2 - 4	0.07335	3.70211
2 - 5	-0.01720	3.70211
2 - 6	-0.48062	3.70211
2 - 7	1.58340	3.70211
2 - 8	-0.13745	3.70211
2 - 9	1.10800	3.70211
3 - 4	-1.27520	3.70211
3 - 5	-1.36575	3.70211
3 - 6	-1.82918	3.70211
3 - 7	0.23485	3.70211
3 - 8	-1.48600	3.70211
3 - 9	-0.24055	3.70211
4 - 5	-0.09055	3.70211
4 - 6	-0.55398	3.70211
4 - 7	1.51005	3.70211
4 - 8	-0.21080	3.70211
4 - 9	1.03465	3.70211
5 - 6	-0.46343	3.70211
5 - 7	1.60060	3.70211
5 - 8	-0.12025	3.70211
5 - 9	1.12520	3.70211
6 - 7	2.06403	3.70211
6 - 8	0.34318	3.70211
6 - 9	1.58863	3.70211
7 - 8	-1.72085	3.70211
7 - 9	-0.47540	3.70211
8 - 9	1.24545	3.70211

Diagrama de caja del rendimiento de  
grano seco de maíz en el bloque con cal

Análisis de rango múltiple del rendimiento del grano seco del maíz en los diferentes tratamientos del bloque SIN CAL, por el método Tukey con un nivel de confianza del 95% y una alfa de 0.05%

Tratamientos	Repeticiones	Promedio (ton/ha)	Grupos Homogéneos
7	4	3.080525	X
1	4	3.157175	X
2	4	3.391100	X
8	4	3.763200	X
6	4	4.647700	X
3	4	4.670300	X
4	4	4.699850	X
5	4	5.303025	X
9	4	5.420025	X

Contraste medias	Diferencia + / -	Límite
1 - 2	-0.23392	3.16206
1 - 3	-1.51313	3.16206
1 - 4	-1.54267	3.16206
1 - 5	-2.14585	3.16206
1 - 6	-1.49052	3.16206
1 - 7	0.07665	3.16206
1 - 8	-0.60603	3.16206
1 - 9	-2.26285	3.16206
2 - 3	-1.27920	3.16206
2 - 4	-1.30875	3.16206
2 - 5	-1.91193	3.16206
2 - 6	-1.25660	3.16206
2 - 7	0.31057	3.16206
2 - 8	-0.37210	3.16206
2 - 9	-2.02893	3.16206
3 - 4	-0.02955	3.16206
3 - 5	-0.63273	3.16206
3 - 6	0.02260	3.16206
3 - 7	1.58977	3.16206
3 - 8	0.90710	3.16206
3 - 9	-0.74972	3.16206
4 - 5	-0.60318	3.16206
4 - 6	0.05215	3.16206
4 - 7	1.61932	3.16206
4 - 8	0.93665	3.16206
4 - 9	-0.72018	3.16206
5 - 6	0.65533	3.16206
5 - 7	2.22250	3.16206
5 - 8	1.53983	3.16206
5 - 9	-0.11700	3.16206
6 - 7	1.56717	3.16206
6 - 8	0.88450	3.16206
6 - 9	-0.77233	3.16206
7 - 8	-0.68267	3.16206
7 - 9	-2.33950	3.16206
8 - 9	-1.65682	3.16206

Diagrama de caja del rendimiento de  
grano seco de maíz en el bloque sin cal