

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA**  
**ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**  
**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



**Impacto de biofertilizantes sobre fertilización química en la restauración y conservación sustentable de suelos en el Municipio de Monte Escobedo, Zacatecas.**

**POR:**

**Elier Magdelio Escalante Verdugo**

**TESIS:**

**Presentada como Requisito Parcial para**

**Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

**Saltillo, Coahuila, México.**  
**Junio de 2011.**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Impacto de biofertilizantes sobre fertilización química en la restauración y conservación sustentable de suelos en el Municipio de Monte Escobedo, Zacatecas.

POR:

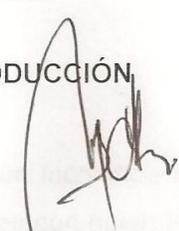
Elier Magdelio Escalante Verdugo

Que se somete a consideración del H. jurado examinador como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

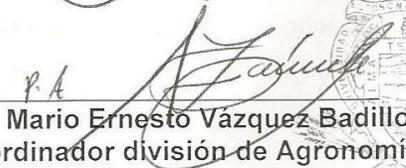
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

APROBADA

  
Dr. Juan Carlos Zúñiga Enriquez  
Presidente del jurado

  
MC. Modesto Colin Rico  
Sinodal

  
MC. Enrique Esquivel Gutierrez  
Sinodal

  
Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo  
Coordinador división de Agronomía

  
Coordinación  
División de Agronomía

## DEDICATORIA

Antes que nada quiero mencionar algo más importante y que trasciende todo entendimiento que es la presencia del Jah. Todo poderoso, por darnos cada día el aire que respiramos dándonos, la oportunidad de vivir en este planeta, una vida tan maravillosa llena de muchas bendiciones también por estar conmigo, por permitirme concluir una etapa más de mi vida que era uno de mis más grandes sueños. Por fortalecer cada vez a mi familia para salir adelante junto conmigo, por todo esto y mucho más gracias DIOS.

Dedico con todo mi corazón este trabajo a dos grandes personas que son parte de mi inspiración y que por que ellos existen siempre voy a salir adelante. Ellos son mis padres

Sr. Isidro Escalante Pérez

Sra. Ruperta Verdugo Díaz

A MIS HERMANOS.

A todos mis hermanos porque siempre me apoyaron incondicionalmente con sus mejores consejos y económicamente, son ustedes con quien yo he pasado los mejores momentos y gracias por confiar en mí.

A Mariana, agradezco por ese apoyo incondicional que me has demostrado este corto tiempo, por haberte cruzado de manera accidental en mi vida, se que eres parte de mí.

*“pon tu mano en un horno caliente durante un minuto y te parecerá una hora, siéntate junto a una chica bonita durante una hora y te parecerá un minuto, eso es la relatividad, la gravitación no puede ser la causa de que las personas se enamoren (Albert Einstein).*

A mis compañeros de carrera y de otras especialidades que compartieron momentos agradables conmigo: Elizandro Díaz Morales, Agustín Domínguez

Tamayo, el tío conejo, Gibran, Eleazar, Camal, Eber, Uriel Díaz Morales, Bertimeo, Maco, Ademar, Pablo.

## COMPAÑEROS MUSIKOS

Al grupo de rock de la UAAAN "ETILIKA" gracias por todo y ojala algún día volvamos a compartir un escenario más y que este sea el escenario de la vida que nos lleve a una verdadera liberación. *"nuestros ancestros utilizaban la música como una forma de integración con el universo, llamaban al viento pidiéndole permiso para poder llevar en el cada sonido, cada nota, hoy le pido permiso al viento y a la noche para que los sonidos de nuestra música se levanten sobre aquellos cantos de represión, explotación, racismo, marginación, sobre aquellos que enajenan las mentes y las convierten en autómatas."* Darkguz, Rubén, Chemo, Santiago, Julio, Elier, Erik, Gabriel. *"la canción un arma de la revolución"*

*"Cuando la denuncia es insuficiente y la agresión es cotidiana los pueblos tienen que defenderse, Es un principio de la humanidad". "El mundo que queremos es uno donde quepan muchos mundos"*

"De todos los animales de la creación, el hombre es el único que bebe sin tener sed, come sin tener hambre y habla siempre sin tener nada que decir. Por eso es mejor forjar el alma que amueblarla.

Autor: Txus.

## **Reivindiquemos la milpa**

La reivindicación de la milpa, la defensa de la producción campesina de maíz, frijol y otros alimentos básicos es una lucha contra el hambre y el éxodo, un combate por la soberanía alimentaria y por la soberanía laboral. Pero es también una batalla, aun más profunda y decisiva, por preservar la pluralidad cultural y la diversidad biológica, de las que depende no sólo el futuro del país sino también el futuro de la humanidad.

Hoy, el campesino está preso en las asimetrías del mercado, pero también y sobre todo en la perversidad de un modelo tecnológico que lo obliga a emplear dosis crecientes de abonos químicos que proporcionan una apariencia de fertilidad pero agotan los suelos y solo se hacen cada vez más dependientes de estos; que le exige el uso de herbicidas y “selladores” propiamente llamados “mata todo” que destruyen las diversas formas de vida haciendo así una milpa en la que no puede haber matas de frijol y de calabaza que está a suelo raso, sin biodiversidad y propensa a las plagas; es una milpa crecientemente contaminada por pesticidas y es por último, un cultivo cada día más caro cuya cosecha ya no paga el costo de los insumos.

El paradigma campesino de producción, que había resistido con prestancia desarrollos agronómicos en última instancia basados en el manejo tradicional del agricultor, es herido de muerte hace medio siglo por una “Revolución verde” cuyas fuentes son la mecánica y la química. Y recibirá la puntilla si no detenemos a tiempo la amenaza de los transgénicos; una tecnología que como los híbridos de la revolución verde, fortalece la dependencia respecto de las transnacionales que la producen, pero que, a diferencia de los primeros, amenaza la diversidad biológica en el corazón, en el propio germoplasma. Éste es el tamaño del reto, Salvar al país es salvar al maíz. Pero salvar al maíz es restaurar la milpa como paradigma de agricultura sustentable basada en la diversidad productiva y sustento de la pluralidad cultural. Y para eso el campo mexicano necesita una cirugía mayor; una rectificación profunda que es impensable sin un cambio de rumbo general, un viraje histórico en el modelo civilizatorio.

Bartra, Armando

*"El suelo es un organismo viviente. Al igual que otros organismos vivientes, respira, se alimenta, crece, se desarrolla y se mueve. La naturaleza le dio belleza espiritual tanto externa como interna. Esto debe entenderse primero al verlo y luego al sentirlo, entenderlo y sobre todo enamorarse de él."*

Irina Kim

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO por prepararme profesionalmente.

Agradezco al DR. JUAN CARLOS ZÚÑIGA ENRÍQUEZ por darme las asesorías necesarias para salir adelante con esta investigación por brindarme su tiempo, por darme sus consejos tan valiosos que sin duda alguna tomaré en cuenta para cada día mejorar en el transcurso de la vida, ya que es uno de los mejores maestros que desempeñan muy bien su función en esta institución.

AL MC. MODESTO COLIN RICO

Por su amistad, paciencia y valioso apoyo en la revisión de este trabajo de investigación.

AL MC. ENRIQUE ESQUIVEL GUTIÉRREZ

Por formar parte del comité y por su valiosa ayuda en la culminación de este trabajo.

Al departamento de fitomejoramiento por formarme profesionalmente en esta especialidad. Al Ingeniero Dagoberto Flores Marín por la ayuda técnica en el desarrollo de este proyecto. También es grato mencionar la participación de Martín Montes, por su amistad y compañía en los viajes para la realización de este proyecto, gracias.

A todos los que de alguna manera participaron en mi formación académica gracias por todo.

# INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	iv
INDICE DE CUADROS .....	vii
INDICE DE GRAFICAS .....	ix
INDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xi
INTRODUCCION .....	1
OBJETIVOS .....	2
HIPOTESIS .....	2
REVISION DE LITERATURA .....	3
Importancia de la materia orgánica en el suelo .....	3
Efecto de los abonos orgánicos en la productividad de suelos .....	5
Fertilizantes químicos .....	6
Definición de fertilizantes químicos.....	6
Efectos de los fertilizantes químicos.....	7
Desventajas de los fertilizantes químicos.....	8
Tipos de fertilizantes químicos .....	9
Consumo mundial y nacional de fertilizantes químicos .....	9
Agricultura Sustentable .....	10
Los objetivos de la agricultura sustentable .....	10
Limitaciones de la implementación de la agricultura sustentable .....	12
Biofertilizantes .....	14
Que son los biofertilizantes .....	14
Funciones de los biofertilizantes .....	15
Formas de aplicación y cantidades .....	16
Biofertilizantes VS. Fertilización química .....	18
Biofertilizantes en el mundo .....	18
Azospirillum brasilense .....	19
Micorriza (Género glomus intraradices).....	19
El cultivo del Maíz .....	20

Importancia del cultivo del maíz en México .....	21
<b>MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>22</b>
Localización del trabajo .....	22
Orografía .....	22
Hidrografía .....	22
Clima .....	22
Actividad económica.....	23
Materiales utilizados.....	23
<b>Metodología .....</b>	<b>24</b>
Análisis estadístico.....	24
Descripción de los tratamientos .....	25
Inoculación de la semilla.....	26
Establecimiento del cultivo.....	27
Parámetros a evaluar .....	27
Altura de planta .....	28
Días a Floración .....	28
Rendimiento.....	28
<b>RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>29</b>
Rendimiento.....	30
Días a floración.....	42
Altura de planta .....	42
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>47</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>48</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1. Cuadro No. 2. Niveles de los factores A, B y C .....	25
Cuadro No. 2. Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento ..	26
Cuadro No. 3. Valores de cuadrados medios para las variables agronómicas evaluadas. Monte Escobedo, Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010. ....	29
Cuadro No. 4. Efecto de las dosis de nitrógeno en el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.....	30
Cuadro No. 5. Efecto de la biofertilización sobre el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.....	32
Cuadro No. 6. Efecto de las dosis de nitrógeno con biofertilizantes en el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010. ....	34
Cuadro No. 7. Efecto del tipo de semilla en el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.....	36
Cuadro No. 8. Efecto de dosis de nitrógeno y el tipo de semilla, en el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010. ....	37
Cuadro No. 9. Efecto de biofertilizantes y tipo de semilla en el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.....	39

Cuadro No. 10. Efecto de dosis de nitrógeno, biofertilizantes y tipo de semilla, sobre el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010. .... 40

Cuadro No. 11. Efecto tipo de semilla sobre la floración en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010..... 42

Cuadro No. 12. Efecto de dosis de nitrógeno sobre la altura en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010..... 43

Cuadro No. 13. Efecto de dosis de nitrógeno y tipo de semilla, sobre la altura en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010..... 43

## INDICE DE GRAFICAS

Grafica No. 1. Comportamiento del rendimiento de grano en maíz bajo condiciones de temporal, en base a las diferentes dosis de fertilizante químico. Monte Escobedo, Zacatecas, Mayo-Septiembre de 2010 .....	32
Grafica No. 2. Efecto de dosis de nitrógeno y biofertilización en el rendimiento de maíz. ....	35
Grafica No. 3. Efecto de las dosis de nitrógeno con semilla híbrida y criolla sobre el rendimiento en maíz.....	38
Grafica No. 4. Efecto de dosis de nitrógeno, biofertilización y semilla criolla e híbrida en el rendimiento del maíz. ....	41
Grafica No. 5. Efecto de dosis de nitrógeno y tipo de semilla, en el rendimiento del maíz. ....	44

## INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1. Aplicación del adherente y forma de revolver la semilla.....	17
Figura No. 2. Proceso de inoculación de semilla de maíz con biofertilizante. Monte Escobedo, Zacatecas. Mayo-Septiembre 2010. ....	27
Figura No. 3. Resultado de la inoculación en el cultivo de maíz. Monte Escobedo, Zac. Mayo-Septiembre 2010.....	33

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el municipio de Monte Escobedo, Zacatecas, durante el periodo mayo-septiembre de 2010. Dicha investigación tuvo como objetivo estudiar la respuesta del cultivo de maíz (*sea mays L.*) en suelos con problemas de acidez, utilizando diferentes dosis de nitrógeno y biofertilizante (*Micorriza glomus* y *Azospirillum brasilense*), para lograr con ello una reducción en las dosis de fertilizantes químicos, favoreciendo la economía del productor y mejorar las propiedades del suelo, y lograr como resultado una agricultura sustentable. Se utilizó el híbrido Pioneer 35P12, así como semilla criolla de la región.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial 4x 2x 2 con tres repeticiones. Los niveles del factor A (dosis de nitrógeno) fueron 150, 200, 250 y 300 kg/ha; para el factor B (sin biofertilización y con biofertilización) y factor C (semilla Criolla ó Híbrida). En total fueron 16 tratamientos. Los parámetros evaluados fueron rendimiento (kg/ha), días a floración y altura de planta.

El rendimiento más alto se presentó con los tratamientos 8 y 12, (nitrógeno, biofertilizantes y semilla criolla e híbrida). Para floración no existió diferencia estadística significativa. Para altura de planta los tratamientos 11 y 15 obtuvieron las alturas mayores, con promedio 2.95 metros.

**Palabras clave:** maíz, biofertilización, *azospirillum*, agricultura sustentable, fertilizantes químicos, materia orgánica, *micorrizas*, bacterias, microorganismos.

## INTRODUCCION

El Municipio de Monte Escobedo se localiza al sur del Estado de Zacatecas, sus coordenadas son: al norte del paralelo 22° 43', al sur 22° 5', su longitud está comprendida entre 20' y 42' del meridiano de Greenwich, su altura varía entre 1500 y 2500 MSNM. El Municipio cuenta con clima frío en las sierras altas, caluroso en las barrancas y templado en las llanuras, la temperatura media es de 16 °C, del sur soplan vientos húmedos y del norte fríos.

Su principal actividad económica es la ganadería lechera y el manejo de ganado de carne en sistemas de pastoreo abierto, se exportan aproximadamente 1600 cabezas de ganado anual con la consiguiente derrama económica para los ganaderos de la región. Debido a esta actividad, las áreas de cultivo de este municipio se dedican principalmente a la producción de maíz, tanto para grano como para forraje, bajo condiciones de temporal en un 90 por ciento. En este sistema de cultivo se utilizan semilla criolla de la región e híbridos de diferentes compañías semilleras.

La práctica continua durante muchas décadas de una agricultura química sin atención a los factores que constituyen la fertilidad natural del suelo, ha dado por resultado suelos con bajo contenido de materia orgánica (menos del uno por ciento), severamente erosionados por escurrimiento de agua y acción del viento, pH ácidos que fluctúan entre 4.8 y 5.5. La práctica del monocultivo también ha dejado su cuota de daño, pues la siembra continua de maíz durante muchos años ha empobrecido el nivel nutricional de estos suelos. Estas deficiencias agronómicas impiden el aprovechamiento del buen clima y un adecuado régimen de lluvias para una mayor y mejor producción de maíz

Los problemas antes mencionados en este municipio se ven reflejados en el rendimiento promedio de 4 ton/ha en grano y alrededor de 32 toneladas de forraje verde para silo, lo que se considera bajo en comparación con otras regiones maiceras similares.

Una alternativa viable para la solución de los problemas citados es la práctica de una agricultura sustentable que incluya la combinación de métodos orgánicos y químicos que permitan restaurar paulatinamente la fertilidad natural del suelo, incrementar la retención de humedad e introduciendo algunas prácticas agronómicas de conservación de suelos. Con lo anterior se podrá lograr un mayor rendimiento del cultivo, mantener en equilibrio el agroecosistema y obtener mayores ingresos para el productor. Con estos propósitos se establecen los siguientes

## **OBJETIVOS**

Disminuir la dosis de fertilización química en el cultivo de maíz mediante la utilización de biofertilizantes.

Mejorar las propiedades fisico-químicas del suelo, elevando los contenidos de materia orgánica.

## **HIPOTESIS**

Ha1 Es posible reducir la dosis de fertilizante químico mediante la inoculación de la semilla de maíz con *micorrizas* y *Azospirillum*.

Ha2 La variedad de maíz criollo responde diferente a la semilla híbrida de maíz.

## REVISION DE LITERATURA

La fertilidad del suelo depende no solamente de la cantidad de sustancias nutritivas en él, sino que también de la estructura edáfica y otras propiedades físicas (Yagodin, 1986). Las propiedades físicas del suelo tienen la responsabilidad de transporte de agua y de las sustancias solubles a través de él. Algunas propiedades físicas pueden cambiar con las practicas de manejo (Sánchez, 1981)

### **Importancia de la materia orgánica en el suelo**

Dentro de los componentes del suelo, la materia orgánica reviste una significativa importancia, ya que imparte al suelo magníficos afectos en sus propiedades físicas y biológicas, las cuales se traducen en la capacidad productiva de los campos, por lo que su gestión dentro del agroecosistema será uno de los elementos más importantes a considerar para la consecución de la perdurabilidad de los sistemas productivos (Labrador, 2001). En suelos con alto nivel de materia orgánica se pueden lograr los máximos rendimientos alcanzados para la variedad, clima y manejo del cultivo (Castellanos *et al.*, 2000).

Los suelos que contienen abundante materia orgánica poseen una estructura estable que asegura un adecuado espacio radical y un alto grado de aireación, así como una alta capacidad de retención de agua. La presencia aunque sea de una capa delgada de suelo húmico aumenta grandemente su infiltrabilidad a la lluvia, y reduce la posibilidad de amasamiento del suelo causado por el impacto de la lluvia (Hardy, 1970).

Al aumentar el contenido de materia orgánica (Reicosky *et al.*, 1997; Six *et al* (2000); Zibilske *et al* (2002); Jarecki y Lal (2003); Zhang *et al* (2005); Ordoñez *et al* (2007); Zanatta *et al* (2007), el suelo incrementa su capacidad de

resiliencia o tamponadora frente a los efectos de los imput aportados al suelo, así como su capacidad para inmovilizar elementos o compuestos tóxicos.

La materia orgánica tiene además la función de mantener y en su caso, regenerar la estructura del suelo, ya que éstos por lo general presentan bajos contenidos en arcilla en el horizonte superficial. Un resultado de la disminución en el contenido en materia orgánica por exceso de laboreo y otros usos inadecuados es que los agregados se hacen más inestables (Franzluebbers *et al.*, 1996; Six *et al* (2000); Pulleman *et al* (2005); Pikul *et al* (2007), y los poros tienden a ser más pequeños o directamente a perderse, limitándose el intercambio de gases, la infiltración del agua y su retención (Arshad *et al.*, 1999).

Los materiales que contienen el valor nutritivo son los abonos orgánicos, como abonos de cuadra, estiércoles de caballo o de vaca, abonos verdes; los restos de vegetación y las cáscaras de frutos (Hardy, 1970).

La adición de materia orgánica a un material erosionado lo transforma de una masa inerte en un suelo viviente. En primer lugar conduce a la agregación de las partículas minerales en partículas compuestas o pequeños terrones. El suelo adquiere así una estructura porosa, que hace posible el movimiento del agua y del aire (Sir hall, 1961).

La materia orgánica incorporada al suelo, cuando se descompone en mantillo, es arrastrada hacia el interior del suelo mineral, aumenta grandemente la capacidad de intercambio de bases del suelo y consecuentemente mejora su estado nutritivo (Hardy, 1970).

El mantillo conserva la humedad del suelo, reduce el efecto secante del viento que sopla sobre la superficie (Hardy, 1970), mejora mucho la textura, la plasticidad y la cohesión de las partículas pueden ser disminuidas por la presencia de materia orgánica. (Sirr Hall, 1961).

Los aportes de materia orgánica al suelo resultan críticos para el mantenimiento de este componente y de la fertilidad del suelo a largo plazo. Los nutrientes contenidos en la materia orgánica (N, P, S, entre otros) se hallan en forma orgánica por lo que no son directamente asimilables por las plantas, se requiere la acción microbiana para que pasen a formas minerales que son las utilizadas en la biomasa de la planta (Porta *et al.*, 1999)

Las interacciones entre plantas y organismos del suelo, ha sido reconocidas por su importancia en la nutrición mineral y el reciclaje de nutrientes (Bever, 1994). Así, se ha postulado que cerca del 90% de las especies de plantas vasculares establecen relaciones mutualistas con microorganismos (Mousain *et al.*, 1997). Un ejemplo clásico de ello, es el que se establece entre plantas y hongos del suelo, siendo esta interacción de tipo facultativa y de tipo trófico, centrándose fundamentalmente en la obtención de nutrientes minerales (Bever, 1994).

### **Efecto de los abonos orgánicos en la productividad de suelos**

Hasta hace poco los desechos orgánicos habían sido considerados como una fuente de contaminación y no eran valorados como el subproducto de la agricultura susceptible de originar abonos orgánicos de calidad (Martínez, 2004). Además, se han registrado problemas de fitotoxicidad, lixiviación de nitratos y contaminación de mantos acuíferos, debido al mal manejo de fuentes orgánicas al ser incorporadas al suelo sin un tratamiento previo (Romero, 2004)

Los resultados de investigaciones generados han demostrado que una de las prácticas de manejo que contribuye a la recuperación física, química y biológica de los suelos es el uso de abonos orgánicos (Rivero *et al.*, 1998; Barrio (2001); Velásquez *et al* (2002); Torres *et al* (2005); Linares *et al* (2005); López *et al* (2006); López, *et al* (2006<sup>a</sup>); Torres *et al* (2006). La contribución de esta práctica es referida no sólo al aspecto nutricional sobre las plantas, sino

que tiene un alcance en todos los componentes relacionados con la fertilidad y productividad del suelo agrícola. Entre los principales efectos regenerativos de esta práctica se encuentran:

- Estimulación inmediata de la actividad biológica (Clement *et al.*, 1995; Scott *et al* (1996); Gregorich *et al* (1996); López (2001); Barrio (2001); España *et al* (2002); Thorup- Kristensen *et al* (2003).
- Mejoras en propiedades físicas, tales como estructura, retención de humedad y reducción de la densidad aparente (Rivas, 1993; León (1993); Rivero *et al* (1998); Bravo y Florentino (1999); Barrio (2001); Ohep (2001); Torres *et al* (2005); Torres *et al* (2006).
- Cambios en propiedades bioquímicas, tales como la actividad de fosfatasa ácida y de la deshidrogenada en la rizosfera de cultivos indicadores (España y López , 2003; España, 2003).
- Mejoras en las propiedades químicas: aumentos en la disponibilidad de macronutrientes y reducción de Al<sup>3+</sup> en el complejo de intercambio (Blackmer y Green, 1995; Franco-Viscaino (1997); Urquiaga y Zapata ( 2000); López (2002); López (2003).

## **Fertilizantes químicos**

### **Definición de fertilizantes químicos**

Fertilizante, sustancia o mezcla química natural o sintética utilizada para enriquecer el suelo y favorecer el crecimiento vegetal. Los suelos vírgenes suelen contener cantidades adecuadas de todos los elementos necesarios para la correcta nutrición de las plantas. Pero cuando una especie determinada se cultiva año tras año en un mismo lugar, el suelo puede agotarse y ser deficitario en uno o varios nutrientes (Fernández, 2003), en tal caso, es preciso reponerlos en forma de fertilizantes. La aplicación de fertilizantes adecuados estimula el crecimiento de las plantas. Aunque esenciales para la agricultura moderna.

En cada cosecha se extraen del suelo altos volúmenes de elementos que hacen que el suelo sea más pobre cuando se cultiva que cuando permanece en barbecho; el suelo bajo cultivos pierde buena parte de su biodinámica debido al uso de agroquímicos, a las sales de los fertilizantes inorgánicos; altos volúmenes de agua de riego, que provocan lixiviación y percolación profunda de elementos nutritivos y lavado de bases, acidificando el terreno y causando toxicidad; todos estos factores contribuyen a la pérdida de la fertilidad y la biodiversidad del suelo (Orozco 1999). Es por ello que desde hace algunas décadas se trabaja con la intención de buscar alternativas más ecológicas de fertilización en las plantas, con el objetivo de preservar el ambiente.

Los fertilizantes químicos correctamente utilizados no causan residuos tóxicos en las plantas, puesto que están compuestos de nutrientes que pasan a ser elementos integrantes de la estructura química de la planta. Así, el nitrógeno se transforma en clorofila y luego en proteínas, el fósforo en sabia y el potasio permite la concentración de azúcares y color (Salazar, 1999).

### **Efectos de los fertilizantes químicos**

El fertilizante químico que no es recuperado por el cultivo termina en el medio ambiente contaminando el suelo, mayormente en las aguas subterránea, creando graves problemas de salud si se consume agua rica en nitratos, debido a la participación de bacterias. A su vez los nitritos se transforman en ciertos compuestos cancerígenos (Nitrosaminas), que afectan al estómago e hígado (N.P.F.I, 1986).

La adopción de insumos externos como fertilizantes y pesticidas provocó que en todo el mundo, en los últimos 50 años, del 30-80% del nitrógeno aplicado se depositara en el ambiente, contaminando el agua, la comida y la atmósfera (Conway y Pretty, 1991).

## **Desventajas de los fertilizantes químicos**

Los fertilizantes son productos que representan entre el 20 y 30% de los costos de producción de un cultivo. Muchos agricultores están aplicando fertilizantes en exceso, encareciendo los costos de producción, desmejorando la calidad y desnaturalizando la fertilidad de los suelos para la producción agrícola (Bernal, 2004).

El incremento en la mecanización y en los fertilizantes a base de nitrógeno, ha provocado que el consumo de energía sea sustancialmente mayor que en las técnicas orgánicas o de bajos insumos. La agricultura es una fuente directa de contaminación atmosférica pues emite metano, óxido nítrico, amoníaco y derivados de la combustión de biomasa (Conway y Pretty, 1991).

Según el Worldwatch Institute, la degradación ambiental reduce en un porcentaje los rendimientos agrícolas en el mundo anualmente, cuando el crecimiento poblacional es de 2% anual. La Revolución Verde, ha provocado que anualmente se pierdan 2.8 toneladas por hectárea de suelo fértil (Torres y Trápaga, 1997).

Para el caso de México, es pertinente mencionar un factor decisivo que indujo la potencial importación de fertilizantes químicos. Durante los años 40, la Fundación Rockefeller y la Secretaría de Agricultura llevaron a cabo una investigación y encontraron que uno de los límites principales en la producción agrícola era la disponibilidad de nitrógeno. A partir de los 80's, empezó la aplicación de las tecnologías de la Revolución Verde, aportando una cantidad importante de fertilizantes. El hecho es que las compras externas de fertilizantes subieron de 9.53% en 1972, a 99.59% en 1992, según datos obtenidos del Sexto Informe de Gobierno, 1994. Este aumento pudo haberse debido a que se dejaron de producir fertilizantes en el país, pero aún así, nos da

una idea clara de que durante la Revolución Verde, se incrementó la utilización de fertilizantes.

La mayor parte del daño ocasionado por la agricultura moderna, se debe no tanto a las características intrínsecas de los compuestos de los pesticidas, sino a la manera en que éstos son utilizados (Pretty, 1997). En las áreas rurales la restricción al crédito provoca que los paquetes tecnológicos no se adopten por completo.

### **Tipos de fertilizantes químicos**

Los fertilizantes minerales convencionales son los más conocidos y usados, en la agricultura. Se caracterizan por que se disuelven con facilidad en el suelo y, por lo tanto, las plantas disponen de estos nutrientes:

- ✓ Fertilizantes nitrogenados: Urea, Nitrato amónico  $(\text{NH}_4)_2 \text{NO}_3$ , Nitrato cálcico  $\text{Ca} (\text{NO}_3)_2$ , Nitrato sódico  $\text{Na NO}_3$ .
- ✓ Fertilizantes Fosfóricos: Superfosfato, Fosfato amónico,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (Cook, 1992).

Fertilizantes de lenta liberación: se caracterizan por que se disuelven poco a poco y van liberando para las raíces los nutrientes lentamente, a lo largo de varios meses esto se consigue por la propia formulación química. Son más caros que los convencionales pero duran más (Rodríguez, 1996).

### **Consumo mundial y nacional de fertilizantes químicos**

El consumo global de fertilizante aumentó alrededor de 31% de 1996 al 2008 y en los países en vías de desarrollo este incremento es de 56%, según la Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes. El precio de algunos fertilizantes va en aumento año con año, siendo este uno de los factores que actualmente contribuyen en el alza de los precios de los alimentos (El Universo, 2008).

El consumo masivo de fertilizantes en nuestro país data de 1950, creció de manera ininterrumpida hasta llegar a 4.5 millones de toneladas el consumo nacional, a mediados de los noventa.

## **Agricultura Sustentable**

Opuesto a la agricultura moderna se encuentra el sistema agrícola sustentable que también ha sido llamado de diferentes formas: agricultura sustentable, alternativa, regenerativa, biológica, orgánica, biodinámica, agroecológica. La agricultura sustentable la define Pretty (1995) como la agricultura que se concentra en la conservación de los recursos, en la utilización de escasos insumos y en la regeneración de los sistemas agrícolas. Una concepción del desarrollo sustentable propone garantizar la producción de hoy, sin poner en riesgo la disponibilidad de recursos para el mañana.

A diferencia de la agricultura sustentable, la agricultura orgánica no utiliza ningún tipo de fertilizantes o pesticidas sintéticos o químicos. La agricultura orgánica es una forma de agricultura sustentable, pero no toda la agricultura orgánica es sustentable.

## **Los objetivos de la agricultura sustentable**

Según Pretty (1995) son:

- 1) Una mayor incorporación de los procesos naturales (ciclo de los nutrientes, fijación de nitrógeno, relaciones de plaga-depredador) a los procesos de producción agrícola.
- 2) Reducción de insumos externos e insumos no renovables.
- 3) Acceso más equitativo a los recursos productivos, a las oportunidades y al progreso.

- 4) Uso más productivo del potencial biológico y genético de especies de animales y plantas.
- 5) Uso más productivo del conocimiento y prácticas locales.
- 6) Incrementar las relaciones entre productores y la población rural.
- 7) Asegurar la sustentabilidad de largo plazo por medio del mejoramiento de las relaciones entre patrones de cultivo, el potencial productivo y las restricciones ambientales.
- 8) Producción eficiente y remunerativa con énfasis en el manejo integrado de plagas y en la conservación del suelo, agua, energía y recursos biológicos,

Como una actividad que depende de los recursos bio-físicos, la agricultura tiene que ajustarse a las necesidades de la evolución del sistema ambiental, es decir, las actividades agrícolas no deberán perjudicar a los sistemas biológicos, físicos y sociales.

La agricultura sustentable tiene una base más cercana a la racionalidad en el uso de los recursos naturales. En un principio se sustentó en la recuperación de prácticas tradicionales que venían realizando los campesinos más pobres por herencia milenaria; se definió esta opción por el hecho de que estas prácticas prescindían totalmente de la mecanización, del uso de fertilizantes sintéticos y de los plaguicidas (FAO, 2004)

Pretty (1995) hace una descripción detallada de las prácticas sustentables y sus implicaciones. Entre algunas de las consecuencias de la agricultura sustentable se encuentran las siguientes:

- Los pesticidas naturales tienen la ventaja de ser selectivos en su acción, pues matan a las plagas y no a los depredadores.
- La rotación de cultivos contribuye a la fertilidad del suelo y reduce el daño por plagas.

- Los abonos verdes y de animales afectan positivamente la estructura del suelo, la retención del agua y benefician a los organismos del suelo.
- El composteo es una técnica que combina el uso de abonos animales, verdes y desechos orgánicos. Aumenta la cantidad de materia orgánica en el suelo, aumenta la retención de humedad y mejora su estructura.
- La labranza de conservación previene la erosión, reduce los deslaves, la pérdida de sedimentación y de nutrientes en la tierra.
- Los cultivos de cobertera incrementan las propiedades del suelo.

### **Limitaciones de la implementación de la agricultura sustentable**

Aunque muchas tecnologías de conservación de recursos hayan probado su viabilidad, el número total de productores utilizando dichas prácticas es muy reducido. Esto se debe a que su adopción es un proceso costoso, en el sentido de que no se puede simplemente cortar el uso de fertilizantes o pesticidas y esperar que se mantenga la misma producción. La conversión requiere de inversiones iniciales en trabajo, en prácticas y el conocimiento del manejo de la tierra. La falta de información sobre las prácticas adecuadas son un mayor obstáculo para su adopción. Los costos de conversión no son constantes sino que es el capital inicial requerido para la conversión hacia la agricultura orgánica o sustentable. Generalmente se incurre en dichos costos antes de obtener beneficios y además los rendimientos se reducen durante dicho periodo de transición. Sin embargo, existe evidencia que sugiere que los sistemas de bajos insumos y los sistemas producto de la Revolución Verde pueden hacer rápidas transiciones hacia un cultivo sustentable y productivo.

Otra limitación es el tiempo tomado por los procesos biológicos para regenerar la agricultura. Esto incluye la regeneración de la micro y macrofauna, el aumento en los niveles de nutrientes, el desarrollo de interacciones positivas

y benéficas entre los organismos y el crecimiento de árboles proveedores de sombra.

La producción, certificación y comercialización del café orgánico es casi inalcanzable para un pequeño productor, son los grandes productores quienes tienen mayores oportunidades. Las exigencias de la producción, la certificación y las particularidades del mercado requieren de mayor organización para poder hacerles posible a los pequeños productores participar en este tipo de producción. Otro factor que ha frenado la implementación de la agricultura sustentable se refiere al establecimiento de reglas en el comercio mundial que rescaten el verdadero sentido de la sustentabilidad y sean diferentes a las asimetrías que se presentan en el renglón convencional.

Las políticas de gobierno son una importante limitación, pues incentivan el uso de insumos convencionales abaratando su precio, provocando con ello que las tecnologías insostenibles sean más redituables. Los subsidios y las políticas de incentivos que promueven los métodos químicos convencionales deben desaparecer (Altieri y Nicholls, 2000).

La crisis del medio ambiente, a juicio de algunos economistas (Naredo, 1987) va más allá de internalizar las externalidades otorgando un precio a los servicios ecológicos, requiere incorporar factores más complejos que rebasan las posibles delimitaciones de la propiedad, ya que supera los ecosistemas y se acumula en el tiempo, amenazando con romper el equilibrio de la vida. La economía por lo tanto debe reorientar sus factores de producción hacia la conservación de la biosfera y la vida humana (Torres y Trápaga, 1997).

La sustentabilidad encuentra sus límites en los criterios del desarrollo económico y más particularmente en las estructuras de mercado y los precios. Así, se ve limitada por bajas significativas de precios de los productos y aumento de insumos.

## **Biofertilizantes**

El conocimiento de los beneficios de los microorganismos en el desarrollo de las plantas se remonta a la edad media, en la Roma antigua, pero su evolución y progreso aumentaron con el invento del microscopio y las técnicas microbianas durante el periodo de 1891-1910 (Freire, 1975).

Los primeros Biofertilizantes microbianos distribuidos en grandes cantidades en el campo mexicano fueron en el programa Alianza para el Campo-SAGARPA durante el ciclo agrícola de Primavera-Verano (PV) 1999, Otoño-Invierno (OI) 1999-2000 y Primavera-Verano (PV) 2000. Los microorganismos utilizados fueron *Azospirillum brasilense*, *Glomus intraradices* y *Rhizobium etli*. En total se distribuyeron para 1, 882, 263 hectareas en casi todo el país. Desde el principio tuvieron amplia aceptación por los productores agropecuarios de México. Se han utilizado en cultivos anuales y perennes con diferentes sistemas de manejo debido a sus importantes y múltiples funciones en la agricultura, como en la nutrición de los cultivos, especialmente con nitrógeno y fósforo (Aguirre-Medina, 2006).

## **Que son los biofertilizantes**

Los biofertilizantes son productos a base de microorganismos benéficos del suelo, en especial bacterias y/u hongos, que viven asociados o en simbiosis con las plantas y ayudan de manera natural a su nutrición y crecimiento, además de ser mejoradores de suelo. (Font Quer, 1977).

Con el uso de los biofertilizantes se pretende mejorar la productividad agrícola y disminuir los costos de producción al mismo tiempo que se reduce la degradación de los sistemas agrícolas causada por el uso de agroquímicos y por las prácticas agrícolas que causan la erosión del suelo. Asegurando así que la vida productiva de las parcelas no disminuya con el tiempo. Entre los microorganismos más utilizados se encuentran: *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium etli* y los hongos micorrízicos.

El vocablo Micorriza, proviene de mico y raíz y significa la unión de la raíz de una planta con las hifas de determinados hongos (Font Quer, 1977). Etimológicamente, la palabra se forma del griego “mykos” (hongo) y del latín “rhiza”, para designar esta simbiosis como “la asociación de hifas a los órganos subterráneos de las plantas superiores” por lo tanto, el término implica “la asociación de un hongo con las raíces de las plantas”. La planta aporta al hongo productos de carbono (azúcares, carbohidratos y otros) y el hongo facilita a la planta la obtención de nutrimentos como fósforo, zinc y cobre (Salazar, 2002).

La relación micorrízica es una asociación mutualista en la que ambos participantes, hongos y plantas, mantienen un balance de beneficios y costos positivos, ya que a pesar de los costos que representan estar juntos, los beneficios son mayores y recíprocos, lo cual se ve reflejado en incremento de las tasas de crecimiento, reproducción y supervivencia de ambas poblaciones involucradas (Hernández et al., 2003).

### **Funciones de los biofertilizantes**

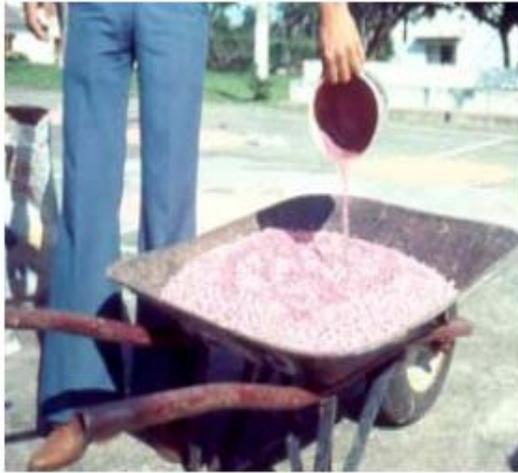
El uso de estos productos ha mejorado la comprensión de la relación planta-microorganismo en su contribución a minimizar los riesgos de degradación de los suelos y a maximizar el regreso de energía a los sistemas de producción. Estas consideraciones han tomado importancia en las últimas tres décadas para establecer fronteras a la agricultura, no sólo desde el punto de vista de lograr una máxima producción sostenida, sino buscando la estabilización de los sistemas de producción a largo plazo. El incremento en la productividad a base de grandes cantidades de energía (como es el caso de la aplicación de fertilizantes químicos sintéticos) no puede ser mantenido indefinidamente, existe un límite en la capacidad de producción que va a estar regulada por los costos externos de la energía que se introduce en los sistemas de producción. Los fertilizantes biológicos, con base en bacterias y hongos benéficos tienen las siguientes funciones principales:

- Fijadores de nitrógeno del medio ambiente para la alimentación de la planta.
- Protectores de la planta ante microorganismos patógenos del suelo.
- Estimulan el crecimiento del sistema radicular de la planta.
- Mejoradores y regeneradores del Suelo.
- Incrementan la solubilización y la absorción de nutrientes, como el fósforo, que de otra forma no son asimilables por la planta.

### **Formas de aplicación y cantidades**

Los biofertilizantes microbianos pueden aplicarse a la semilla, el suelo o al material vegetativo. En cultivos anuales los beneficios de la simbiosis se expresan en plazos muy breves, de 20-30 días después de la biofertilización, pero en cultivos perennes en vivero hasta después de tres meses, como en cacao y cafeto (Aguirre-Medina 2006). La forma más precisa de aplicarlos es mediante su adhesión a las semillas. Los biofertilizantes que tiene como sustrato el suelo o la turba, vienen acompañados de un adherente, que en muchos casos es el carboximetil celulosa a una concentración de 0.5%.

Para aplicar el biofertilizante a la semilla se sugiere extenderla en un plástico y asperjar sobre ella el adherente y mezclar muy bien; es importante verificar que toda la semilla quede “pegajosa” e inmediatamente agregar el biofertilizante. Si no queda pegajosa, se puede mejorar la adhesividad agregando agua con azúcar. También puede hacerse como se presenta en la Figura 1, en una carretilla o en una revolvedora elaborada con un tambo.



**Figura No. 1. Aplicación del adherente y forma de revolver la semilla**

Los biofertilizantes que vienen en presentación de 1 kg para el caso de la micorriza y de 400 g para las bacterias, generalmente contienen la cantidad suficiente de microorganismos o progámulos para tratar unos 20 ó 25 kg/ha de semilla de tamaño mediano de cultivos como maíz y frijol, requeridos para sembrar una hectárea. Con base en esta información se pueden hacer los cambios para otras semillas, como las semillas pequeñas de trigo, cebada y avena. En estos casos se recomienda utilizar tres bolsas de cada microorganismo por hectárea.

En semillas para viveros o semilleros, como jitomate, chile o cebolla, la cantidad de producto máxima es de medio kg de micorriza y 200 g de bacteria, y siempre se debe cuidar que la semilla quede cubierta con el adherente y el biofertilizante.

En otros cultivos que requieren etapas de vivero o semillero, como cacao, cafeto, mango o rambután, la cantidad de biofertilizante por aplicar es variable y depende del número y tamaño de semillas a biofertilizar. En todos los casos se debe cubrir la superficie de la semilla con el biofertilizante y al momento de depositar la semilla en la bolsa, agregar en el fondo del hoyo hasta 5 g del biofertilizante, que puede ser de un microorganismo o la mezcla de dos

ó más. Como una recomendación general podemos considerar una proporción de biofertilizante correspondiente al 4 % del peso de la semilla.

En gramíneas forrajeras tropicales que se reproducen por estolones, como estrella de África *Cynodon plectostachyus* (K. Schum) Pilger, *Brachiaria* spp Griseb y *Digitaria* spp Haller, entre otros, el adherente se asperja sobre el material vegetativo y arriba de él, el biofertilizante. En este caso las cantidades de producto varían con la superficie a sembrar.

En condiciones especiales, como en el caso de suelos ácidos en el trópico, además del biofertilizante a la semilla, es posible adicionar algún mejorador del suelo, como puede ser el carbonato de calcio, que se aplica para proteger a los microorganismos en la etapa inicial de colonización radical. Una vez biofertilizada la semilla, sembrar lo más pronto posible.

### **Biofertilizantes VS. Fertilización química**

- 1.- Un menor costo, ya que el costo de Biofertilizar representa aproximadamente un 10% del costo equivalente con los fertilizantes químicos.
- 2.- Menor costo de distribución y aplicación.
- 3.- Mejoramiento de la biología del suelo VS. la salinidad del suelo que provocan los fertilizantes químicos.

### **Biofertilizantes en el mundo**

Las ventajas de los Biofertilizantes se conocen desde hace muchas décadas, de hecho prácticamente toda la soya que se produce en Argentina y Brasil (mas de 10 millones de hectáreas) se utiliza el *Bradirhizobium* para inocular la semilla. En el caso de la India, más de 15 millones de hectáreas son Biofertilizadas con micorrizas todos los años.

Con la tecnología, finalmente es posible Biofertilizar maíz, trigo, cebada y en general todas las gramíneas con *Azospirillum brasilense*. En el caso del frijol, se desarrolló el *Rhizobium etli*, el cual genera los mismos beneficios que el *Bradirhizobium* en la soya, pero en este caso para el cultivo de frijol.

### **Azospirillum brasilense**

Bacteria fijadora de nitrógeno que vive sobre las raíces de las plantas y es capaz de beneficiar diversos cultivos de importancia agrícola, tales como el trigo, maíz, sorgo, arroz, cebada, avena y en cultivos perennes como el café, los cítricos, tanto en vivero como en plantaciones comerciales.

Además de fijar Nitrógeno, esta bacteria es capaz de producir hormonas de crecimiento vegetal, generando un crecimiento importante del sistema radicular, lo que permite mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes disponibles en el suelo, incluyendo la mayor absorción de los nutrientes o fertilizantes aplicados

### **Micorriza (Género *glomus* intraradices)**

El término Micorriza significa asociación hongo-raíz, lo cual es una asociación entre los pelos de la raíz de una planta y el hongo específico de la micorriza. Existen varios tipos de asociación siendo la más popular la micorriza vesículo-arbuscular. Los mayores beneficios de esta asociación son el incremento de la longevidad de los pelos de la raíz incrementando con ello el tiempo y el área de absorción de nutrientes tanto mayores como menores.

Las micorrizas son capaces de absorber, acumular y transferir los principales macro y micro nutrientes y el agua a la planta, más rápidamente que las raíces sin micorrizas. Décadas de investigación muestran que las micorrizas incrementan la tolerancia de las plantas a la sequía, compactación, altas temperaturas del suelo, metales pesados, salinidad, toxinas orgánicas e

inorgánicas y extremos de pH del suelo. Estos hongos también prolongan la vida, viabilidad, y productividad del sistema radicular de la planta.

## **El cultivo del Maíz**

El maíz (*Zea mays*) es una planta completamente domestica, el hombre y el maíz han vivido y han evolucionado juntos desde tiempos remotos. El maíz no crece en forma salvaje y no puede sobrevivir en la naturaleza, siendo completamente dependiente de los cuidados del hombre (Wilkes, 1985; Galinat, 1988; Dowsell, Paliwal y Cantrell, 1996). Pertenece a la familia Poaceas, subfamilia Panicoideas y tribu Maideas y se caracteriza en que la planta es diclinomonoica, dado que los dos sexos que ocurren a formar una flor completa se encuentran separados, pero en la misma planta. La inflorescencia masculina es una panoja laxa y apical, mientras que la parte femenina es una espiga compuesta y axilar (Parodi, 1972).

Es una planta C4 con una alta tasa de actividad fotosintética, (Aldritch *et al.*, 1975). El maíz tiene el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Siendo el primer cereal en ser sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo. Es una planta monoica y su desarrollo es unisexual ya que las flores masculinas y femeninas se encuentran separadas pero en la planta. La flor masculina (panoja) surge del meristemo apical de la planta, mientras la flor femenina (sedas) procede de los ápices de yema axilar (Maiskomitee, 2003).

Por otro lado, Hitchcock y Chase (1971), mencionan que el maíz es una planta anual, teniendo la inflorescencia masculina (panoja), llena de espigas en racimos largos en la punta, que producen de 8 a 16 filas de unos 30cm de largo, mientras que la parte femenina llamada (estigma o seda), incluye grandes y numerosas brácteas foliáceas y una gran cantidad de estilos largos que sobresalen de la punta como una masa de hilos de seda.

Es una planta alógama, monoica y de polinización típicamente anemófila. La polinización cruzada se favorece debido a que el viento y la gravedad son los agentes que transportan el grano de polen de la espiga al estigma (Bartolini 1990). Se siembra en toda la república mexicana, pero son 10 los estados en los que se concentra su producción: Sinaloa, Jalisco, México, Chiapas, Michoacán, Guerrero, Veracruz, Guanajuato, Puebla y Oaxaca. Se siembran alrededor de 8 a 20 millones de hectáreas (Sagarpa 2008).

### **Importancia del cultivo del maíz en México**

El maíz se encuentra entre los cereales de mayor consumo a escala mundial y nacional. En México este cereal es un constituyente primordial de la dieta de los mexicanos aportando el 17% de las calorías; además, es usado para la alimentación animal, ya sea como grano o subproducto del procesamiento industrial del maíz. El maíz es uno de los principales rubros producidos a nivel nacional, es considerado estratégico por su distribución en todo el país y su participación en el volumen de producción agrícola vegetal (García *et al.*, 2002).

Dentro de los cereales que se siembran en nuestro país, el maíz constituye el de mayor importancia por la gran cantidad de superficie cultivada, la dispersión de su siembra dentro del ámbito nacional, el amplio número de personas involucradas en este rubro desde su producción hasta su comercialización y el elevado consumo de maíz por parte de la población. Los principales destinos de la producción nacional de maíz son los siguientes: consumo humano 59.7 por ciento, consumo pecuario 23.2 por ciento, industria de derivados químicos 10.4 por ciento, industria cerealera 2.4 por ciento y semillas 1.1 por ciento (SAGARPA 2008).

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización del trabajo**

La presente investigación se llevó a cabo en el Municipio de Monte Escobedo, Zacatecas. Se localiza al suroeste del estado de Zacatecas, sus coordenadas son: al norte del paralelo 22° 43' al sur 22° 5' su longitud está comprendida entre los 20' y los 42' del meridiano de Greenwich su altura varía entre los 1500 y 2500 MSNM, en la cabecera Municipal es de 2219 m.s.n.m.

Limita al norte con el Municipio de Valparaíso, al sur con Totatiche Jalisco, al oriente con Huejucar, Jalisco y Tepetongo, Zacatecas. Al poniente con Mezquitic, Jalisco, al Noreste con Jerez y Susticacan, Zacatecas y al sureste con Colotlán, Jalisco. La distancia aproximada a la capital del Estado es de 155 km. La superficie total del municipio es de 1,592 Km<sup>2</sup>, equivalente al 2.12% de la superficie total del Estado.

### **Orografía**

Tiene un sistema montañoso muy accidentado derivado de la Sierra Madre Occidental, que forma en medio de las serranías, valles, cañadas, mesetas, y desfiladeros. En la región de Laguna Grande el suelo es ferruginoso.

### **Hidrografía**

El municipio es atravesado de norte a sur por el río Santa Teresa y el de Patos o San Nicolás. En el norte del Municipio nace el río Ojoloac además hay varios arroyos que corren únicamente en temporada de lluvias.

### **Clima**

El Municipio cuenta con clima frío en las sierras altas, caluroso en las barrancas y templado en las llanuras, la temperatura media es de 16 °C. Del sur soplan vientos húmedos y del norte fríos.

## **Actividad económica**

Una de las principales fuentes de la economía del municipio es la agricultura, dividida en un 90% de temporal y un 10% de riego. Las tierras en su mayor parte son de buena calidad. Se cultiva maíz, avena y, en menor escala fríjol, sorgo y calabaza. Los agricultores utilizan fertilizantes químicos y maquinaria agrícola. Los principales cultivos que se dan en este municipio son la avena forrajera, fríjol, maíz, sorgo forrajero, manzana, durazno y chile verde, con una superficie sembrada de 7,170.00 hectareas en el año 2000.

Otra gran fuente de la economía en el Municipio es la ganadería. Aproximadamente 1400 ganaderos tienen su fierro de herrar registrado en la Asociación Ganadera local y se exportan aproximadamente 1600 cabezas de ganado anual con la consiguiente derrama económica para los ganaderos de la región. El Municipio presenta buenas condiciones para el turismo por sus bellezas naturales. Realmente no es de mucha consideración, ya que tan solo se aprovecha en las épocas de las fiestas tanto religiosas como profanas, que son el 8 de diciembre y el 5 de mayo respectivamente, es cuando se tiene la mayor afluencia de turismo. (Web, 14 mayo 2011).

## **Materiales utilizados**

- Semilla de maíz (*Zea mays*) Híbrida 35P12 de la empresa Pioneer y una variedad criolla de la región
- Biofertilizantes
- Determinador de humedad portátil Marca Dickey John, serie Gac-500-xt
- Balanzas

## Metodología

### Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANVA) permite descomponer la variabilidad de un experimento en componentes independientes que pueden asignarse a diferentes causas, por ello es la herramienta básica para el análisis de los modelos estadísticos de diseño de experimentos, porque el análisis de varianza se utiliza para determinar una razón de las diferencias observadas para comprobar hipótesis, nos permite verificar la diferencia entre dos o más valores medios. Los datos obtenidos fueron analizados con el Statistical Analysis System (SAS 9.0). para la comparación de medias se utilizó la prueba tukey al ( $P \leq 0.05$ ).

### Modelo estadístico

El experimento se estableció con un diseño experimental de bloques al azar, con arreglo factorial A x B x C. El modelo estadístico del diseño es:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl};$$

Donde:

$$I = 1, 2, \dots, a$$

$$J = 1, 2, \dots, b$$

$$K = 1, 2, \dots, c$$

$$L = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

$\mu$  = media general

$l$  = repeticiones o réplicas del experimento

$\alpha_i$  = efecto del nivel  $i$ -ésimo del factor A

$\beta_j$  = efecto del nivel  $j$  del factor B

$\gamma_k$  = efecto del nivel  $k$  en el factor C

$(\alpha\beta)_{ij}$ ,  $(\alpha\gamma)_{ik}$ ,  $(\beta\gamma)_{jk}$  = efectos de interacciones dobles (de dos factores) en los niveles  $ij$ ,  $ik$ ,  $jk$ , respectivamente.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$  : efecto de interacción triple en la combinación o punto  $ijk$

$\epsilon_{ijkl}$  : error experimental.

Todos los efectos cumplen la restricción de sumar cero, es decir, son desviaciones respecto a la medida general  $\mu$ .

### Descripción de los tratamientos

En el cuadro 1 se ilustra el factor A (dosis de Nitrógeno) con sus respectivos niveles, factor B (biofertilizantes) y C tipo de semilla (criolla o híbrida).

**Cuadro No. 1. Cuadro No. 1. Niveles de los factores A, B y C**

<b>Factor A (Dosis de Nitrógeno)</b>	<b>Factor B (Biofertilizantes)</b>	<b>Factor C (Tipo de Semilla)</b>
<b>150</b>	<b>Sin aplicación</b>	<b>Criolla</b>
<b>200</b>		
<b>250</b>	<b>Con aplicación</b>	<b>Híbrida</b>
<b>300</b>		

En esta investigación se evaluaron 16 tratamientos con tres repeticiones que se presentan en el cuadro 2.

**Cuadro No. 2. Descripción de los tratamientos utilizados en el experimento**

Numero de Tratamiento	Nombre
1	150 - No - C (testigo)
2	150 - No - H
3	150 - Si - C
4	150 - Si - H
5	200 - No - C
6	200 - No - H
7	200 - Si - C
8	200 - Si - H
9	250 - No - C
10	250 - No - H
11	250 - Si - C
12	250 - Si - H
13	300 - No - C
14	300 - No - H
15	300 - Si - C
16	300 - Si - H

### **Inoculación de la semilla**

El proceso de inoculación de la semilla se llevó a cabo con una revolverdora para construcción, depositando la semilla de maíz (*Zea mays*), mezclandola con biofertilizante (*Micorriza glomus* y *Azospirillum brasilense*, Bacteria fijadora de nitrógeno y solubilizadora de fósforo). Las dosis utilizadas de biofertilizantes fueron: una bolsa de *Azospirillum brasilense* y una bolsa de micorriza de un kilogramo en 20 kilogramos de semilla (figura 2)



**Figura No. 2. Proceso de inoculación de semilla de maíz con biofertilizante. Monte Escobedo, Zacatecas. Mayo-Septiembre 2010.**

### **Establecimiento del cultivo**

Al momento de la siembra se aplicaron las diferentes dosis de nitrógeno. El establecimiento del cultivo se llevó a cabo en la última semana de junio del 2010, como maíz de temporal utilizando semilla híbrida 35P12 de la empresa Pioneer y una variedad criolla de la región.

### **Parámetros a evaluar**

Para conocer los efectos sobre el cultivo al aplicar los tratamientos, en esta investigación se evaluaron las siguientes variables:

### **Altura de planta**

Se etiquetaron dos plantas de diferente surco en la parte central de cada parcela y se tomaron las lecturas de estas, registrando el valor promedio, midiendo desde la base de la planta hasta el ápice con una regla graduada, el resultado se registró en centímetros, durante la investigación se tomaron tres lecturas, la primera se realizó a los 46 días después de la siembra, las otras dos se hicieron con un intervalo de 20 días entre una y otra.

### **Días a Floración**

Las plantas que se usaron en cada tratamiento de la variable anterior sirvieron para floración. Dichas plantas se observaron cuando se inició el periodo de floración y se anotaron los días en que se llevó a cabo para llegar a esta etapa del cultivo.

### **Rendimiento**

Se tomaron los surcos de la parte central de cada parcela donde estaban las plantas anteriormente identificadas y se cosecharon las mazorcas, después se llevaron a la Universidad, donde posteriormente se desgranaron, también se determinó el porcentaje de humedad del grano con el equipo portátil Marca Dickey John Gac-500-xt, se ajustaron los contenidos de humedad al 12% para cada tratamiento. Se procedió a tomar el peso con una báscula de reloj, registrándolo en kg/ha., siendo este el rendimiento.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en este estudio, así como la comprobación de la hipótesis, este capítulo incluye los resultados y la discusión del los análisis estadísticos realizados a las diferentes variables agronómicas evaluadas.

El cuadro 3 muestra los cuadrados medios, grados de significancia y el coeficiente de variación para rendimiento (R), días a floración (DF) y altura de planta (AP).

**Cuadro No. 3. Valores de cuadrados medios para las variables agronómicas evaluadas. Monte Escobedo, Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

FV	G L	Rendimiento	Días a Floración	Altura de Planta
<b>BLOQUES</b>	2	75807.06	6.25	0.13
<b>FACTOR A</b>	3	3926576.75**	17.18 ns	0.52**
<b>FACTOR B</b>	1	2825610.75**	4.68 ns	0.31 ns
<b>FACTOR C</b>	1	35643.00 ns	117.18 **	0.31 ns
<b>A X B</b>	3	700228.75 ns	4.68 ns	0.12 ns
<b>A X C</b>	3	5212776.00**	17.18 ns	0.44**
<b>B X C</b>	1	2116800.00**	4.68 ns	0.15 ns
<b>A X B X C</b>	3	2303419.00**	4.68 ns	0.10 ns
<b>ERROR EXPERIMENTAL</b>	30	268381.40	7.25	0.07
<b>C V (%)</b>		15.61054%	4.76036%	11.39161%

\*\* = significancia al 0.01, \* = Significancia al 0.05, N/S= No significativo.

## Rendimiento

El ANVA (cuadro 3) para esta variable en los factores A (dosis de nitrógeno), factor B (aplicación de biofertilizantes), AXC (dosis de nitrógeno vs tipo de semilla), BXC (biofertilizantes vs tipo de semilla) y en la interacción AXBXC muestran diferencias altamente significativos, mientras que para los demás factores: C (tipo de semilla) y factor AXB (dosis de nitrógeno vs biofertilizantes) no hay diferencias estadísticas entre ellos. El coeficiente de variación fue de 15.6 %, por lo tanto podemos sacar conclusiones a partir de estos resultados.

Los resultados significativos se evaluaron con la prueba de medias de Tukey para determinar los mejores tratamientos. Los resultados se presentan enseguida.

**Cuadro No. 4. Efecto de las dosis de nitrógeno en el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

Dosis de Nitrógeno (Kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)
150	2927.8 b
200	<b>3750.8 a</b>
250	<b>3864.3 a</b>
300	2731.8 b

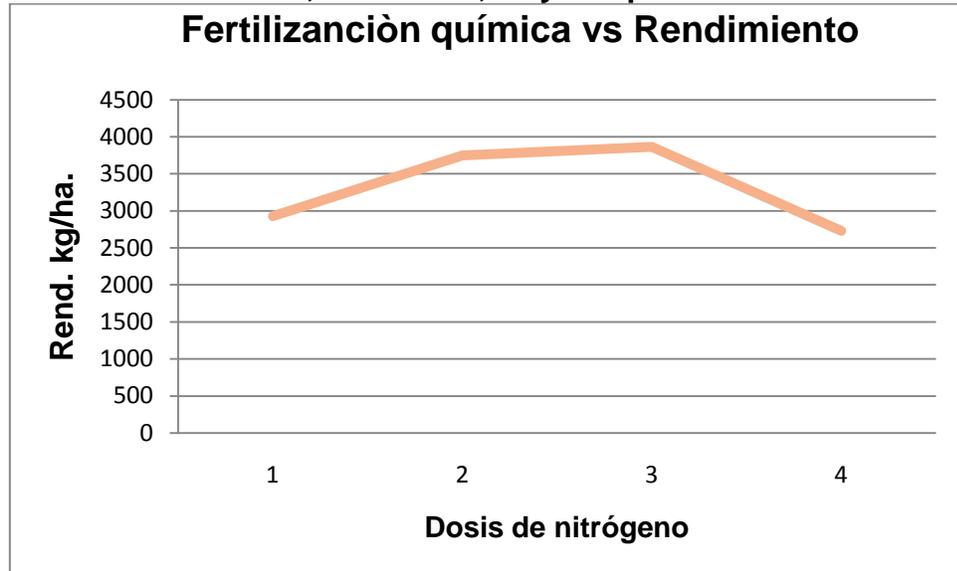
El cuadro anterior se observa que los mejores rendimientos se obtuvieron con las dosis de nitrógeno de 200 y 250 kg/ha, con rendimientos de 3750.8 y 3864.3 kg/ha respectivamente. Ambas dosis fueron estadísticamente iguales. Los resultados más bajos se obtuvieron con la dosis de 300 kg de nitrógeno, con un rendimiento de 2731.8 kg/ha. Esto representa un rendimiento inferior en 1133.5 kg (30 %). El tratamiento testigo (150 kg/ha) alcanzó un rendimiento de 2927.8 kg/ha.

De los dos mejores tratamientos, se considera que el mejor para el productores es el correspondiente a la dosis de 200 kg/ha, pues su diferencia en rendimiento (113.5 kg/ha), no es significativa respecto a la mejor dosis. Esto representa un ahorro de 50 kg de N por hectárea, lo que permite además del ahorro económico, una reducción en la contaminación química del suelo por nitratos.

Cabe destacar el rendimiento del tratamiento testigo que obtuvo un rendimiento promedio superior al tratamiento con la máxima dosis de N estudiada (300 kg/ha). Consideremos el rendimiento promedio de grano de maíz para los dos tratamientos más altos (200 y 250 kg/ha N), que es de 3807.5 kg/ha. Con respecto a esto, la diferencia en rendimiento de grano de este promedio contra el testigo fue de 989.7 kg, y con respecto a la máxima dosis de N estudiada (300 kg) la diferencia en rendimiento fue de 1075.7. en resumen, la máxima dosis de N resultó en menor rendimiento de grano que el tratamiento testigo, lo que pudiera indicar un efecto tóxico del N en el cultivo.

Lo anterior corresponde con lo citado por Brady y Weil (1999), quienes citan que al utilizar una alta dosis de nitrógeno, existe la posibilidad de obtener menor rendimiento por causa de toxicidad por exceso de este elemento. Menciona que generalmente cuando las tasas de fertilizantes se incrementan, la eficiencia de los nutrientes decrece, incrementando la proporción de nutrientes agregados a la solución del suelo (grafica 1).

**Grafica No. 1. Comportamiento del rendimiento de grano en maíz bajo condiciones de temporal, en base a las diferentes dosis de fertilizante químico. Monte Escobedo, Zacatecas, Mayo-Septiembre de 2010**



**Cuadro No. 5. Efecto de la biofertilización sobre el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)
Sin biofertilización	3076 b
Con biofertilización	<b>3561.3 a</b>

El rendimiento logrado por la acción del biofertilizante (cuadro 5), fue de 3561.3 kg/ha, superior en 485.3 kg/ha respecto a los tratamientos que no recibieron este factor. Este resultado es estadísticamente diferente de acuerdo a la prueba de Tukey. Esto fue debido a que los biofertilizantes fomentan o estimulan en las raíces la formación de asociaciones de microorganismos (bacterias y hongos), capaces de incrementar la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, que deriva en una mayor elongación del sistema radicular. Este mejor desarrollo de las raíces permite a la planta una mayor exploración y aprovechamiento de la rizosfera del suelo haciendo que el cultivo alcance un mayor rendimiento, pues el sistema radicular aprovecha mejor el agua y los nutrientes del suelo, reduciendo los estados de estrés hídrico y nutricional. (Da

Silva et al., 1999). Brown y Bethlenfalvay (1988) citan que estas condiciones en la raíz dan como resultado un mayor vigor, acelera el crecimiento y área foliar de la planta, incrementan la disponibilidad de nutrientes y hacen eficiente la absorción de los mismos.

Aunque en esta investigación no se realizó un estudio exhaustivo del comportamiento radicular que respalde estadísticamente lo antes señalado, debido a la falta de recursos económicos para tomar muestras de raíz de cada parcela, la figura tres nos muestra claramente el efecto en las raíces del maíz de la aplicación de biofertilizantes, contra los tratamientos que no recibieron este producto

En conclusión se tiene que el uso de biofertilizantes contribuyen a un mayor rendimiento y a la restauración del suelo por que mejoran sus propiedades fisico-química, lo que es un indicativo serio de las ventajas que se obtienen al practicar una agricultura sustentable, la cual entre otras cosas otorga un mayor beneficio económico al productor y reduciendo los efectos negativos al agroecosistema.



**Figura No. 3. Resultado de la inoculación en el cultivo de maíz. Monte Escobedo, Zac. Mayo-Septiembre 2010**

## Efecto de la Interacción A x B

En este apartado abordaremos el estudio de los resultados del efecto de la interacción entre las dosis de fertilizante nitrogenado y el biofertilizante, tomando como referencia el rendimiento de grano.

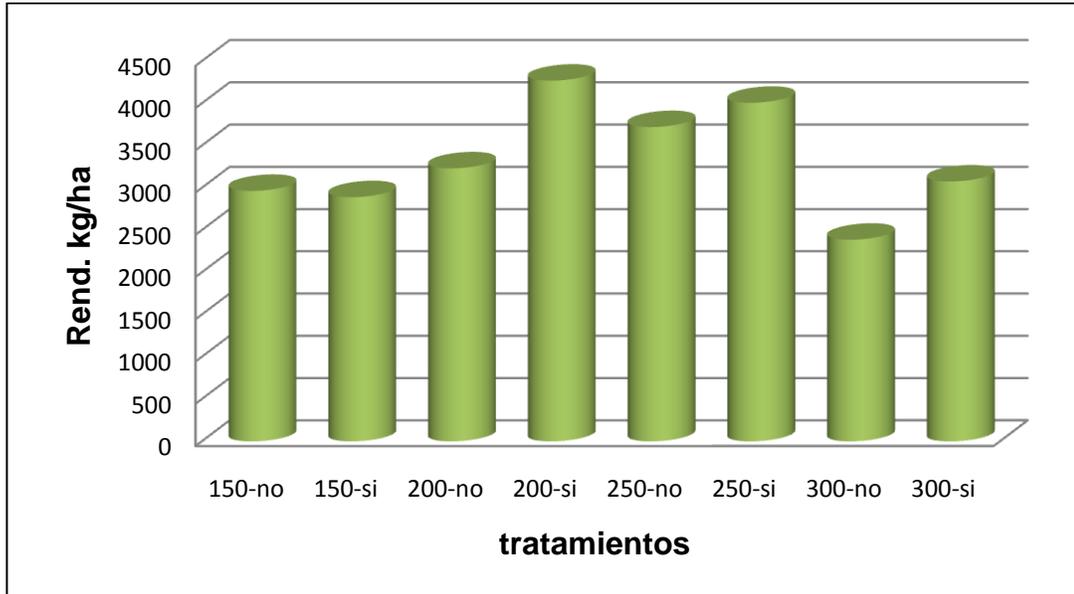
**Cuadro No. 6. Efecto de las dosis de nitrógeno con biofertilizantes en el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)
<b>150 – no</b>	<b>2965 cd</b>
150 – si	2890.5 cd
200 – no	3231.5 bcd
<b>200 – si</b>	<b>4270.0 a</b>
250 – no	3720.5 abc
250 – si	4008.0 ab
300 – si	3076.5 bcd
<b>300 – no</b>	<b>2387 d</b>

La combinación de fertilizantes químicos con biofertilizantes (cuadro 6), resultó ser una buena alternativa, pues el mejor resultado se obtuvo con el tratamiento que combinó 200 kg de nitrógeno + biofertilizantes, con un rendimiento promedio de grano de 4270 kg/ha. Por arriba de la menor dosis sin biofertilizantes (2965 kg/ha) con 1305 kg/ha. En contraparte, el rendimiento menor fue con la aplicación de 300 kg de nitrógeno sin biofertilización (cuadro 6; grafica 1). La diferencia en rendimiento entre ambas interacciones fue de 1883 Kg/ha de grano.

De acuerdo con los resultados mostrados en el cuadro 6, se deduce que el biofertilizante aplicado tuvo una influencia potencializadora sobre la fertilización química, pues salvo en el tratamiento testigo, en los demás incrementó substancialmente los rendimientos de maíz cuando se utilizó el biofertilizante, en comparación con los rendimientos obtenidos sin su aplicación (cuadro 6; grafica 2).

**Grafica No. 2. Efecto de dosis de nitrógeno y biofertilización en el rendimiento de maíz.**



A este respecto, Döbbelaere et al (2001), citan que pues los microorganismos presentes en estos productos asimilan una mayor cantidad de nitrógeno atmosférico desarrollando una mejor raíz en las plantas, adquiriendo mayor cantidad de agua y nutrientes, finalmente posibilita la reducción de fertilizantes químicos, lo que se traduce en prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente. Wani et al. (1997), encontraron que cuando la disponibilidad de nitrógeno es alta en el suelo, los microorganismos no cumplen con su función de fijar el nitrógeno atmosférico y toman lo disponible en el medio, por lo tanto, el proceso simbiótico no se establece. Con lo anterior se concluye que es posible reducir las dosis de fertilizante químico con la aplicación de biofertilizantes. Por lo tanto se acepta la hipótesis.

### **Comportamiento del Factor C (Tipo de semilla)**

Como ya se mencionó, en esta investigación se utilizaron dos tipos de semilla: una variedad criolla de la región y el híbrido 35P-12 de la empresa Pionner. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro No. 7. Efecto del tipo de semilla en el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

<b>Tipo de semilla</b>	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	
Criolla	3291.4	a
Híbrida	3345.9	a

El ANVA para este factor no mostró diferencia estadística para este factor, lo que indica que ambos tipos de semilla se comportan igual en cuanto a rendimiento. Lo anterior indica que la variedad criolla tiene la ventaja sobre el híbrido de la adaptación a las condiciones edafo-climáticas de la región, permitiéndole una gran plasticidad a los cambios que se presentan a lo largo del ciclo de cultivo.

Es por esto que lo mas recomendable técnicamente es la utilización de la variedad criolla de la región, pues el productor obtendra mayores ahorros, favoreciendo su economía.

### **Efecto de la interacción A x C**

En la presente investigación se utilizaron cuatro dosis de fertilizante químico y semilla criolla e hibrida de maíz. En el siguiente cuadro se observan los resultados en la combinación de estos factores.

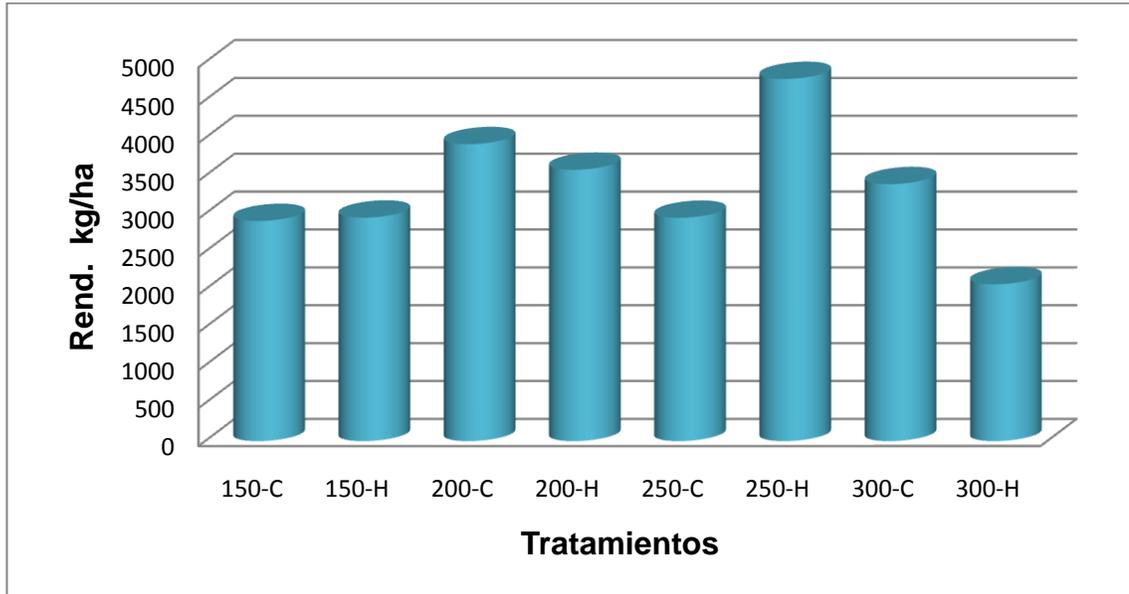
**Cuadro No. 8. Efecto de dosis de nitrógeno y el tipo de semilla, en el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>
<b>150 – criollo</b>	<b>2905.5 cd</b>
150 – híbrido	2950 bcd
200 - criollo	3920.0 ab
200 – híbrido	3581.5 bc
250 – criollo	2947.5 bcd
<b>250 - híbrido</b>	<b>4781.0 a</b>
300 - criollo	3392.5 bc
<b>300 - híbrido</b>	<b>2071.0 d</b>

Los resultados obtenidos en las dosis de fertilizante nitrogenado - tipo de semilla (cuadro 8), mostraron que el mas alto rendimiento se obtuvo con la combinación de 250 kg de nitrógeno y tipo de semilla híbrida, con un rendimiento de grano de 4781 kg/ha. Lo anterior representa una diferencia de 1875.5 kg/ha con respecto al tratamiento más bajo y semilla criolla, que solo alcanzó una rendimiento de 2905.5 kg/ha (grafica 3). Mientras que el tratamiento con 300 kg/ha y semilla hibrida, fue el rendimiento mas bajo.

Cabe destacar que la semilla criolla al comparar la dosis mas baja contra la mas alta la diferencia en rendimiento es de 487 kg/ha de grano, mientras que en la semilla híbrida, al hacer la compracion en rendimiento entre la dosis minima y la mas alta es de 979 kg/ha.

**Grafica No. 3. Efecto de las dosis de nitrógeno con semilla híbrida y criolla sobre el rendimiento en maíz.**



Los resultados nos conducen a deducir, que el comportamiento de la semilla criolla es más estable en las diferentes dosis de nitrógeno, en comparación con el híbrido. Lo anterior se debió a la aplicación del biofertilizante, pues influyó positivamente y en mayor grado en la semilla criolla, lo que favoreció el buen comportamiento de la semilla criolla en cuanto a rendimiento.

### **Interacción B x C (Biofertilizante vs tipo de Semilla)**

Esta sección abarca la utilización de biofertilizante y la influencia de estos productos sobre la semilla criolla e híbrida. Los resultados se presentan a continuación:

**Cuadro No. 9. Efecto de biofertilizantes y tipo de semilla en el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>
<b>No – criollo</b>	<b>3258.8 ab</b>
<b>Si – criollo</b>	<b>3324 ab</b>
No – híbrido	2893.3 b
<b>Si – híbrido</b>	<b>3798.5 a</b>

El resultado de la combinación de biofertilizante - tipo de semilla, se presenta a continuación:

El mayor comportamiento en cuanto a rendimiento de grano, resulta de la combinación de biofertilizante y semilla híbrida, obteniendo en promedio 3798.5 kg/ha, con una diferencia de 539.7 kg/ha en contra del tratamiento con semilla criolla sin biofertilizante. La combinación de la no biofertilización y semilla híbrida, resulta con un rendimiento de 2893.3, con una diferencia de 905.2 kg/ha con respecto al más alto rendimiento.

Un resultado muy importante es la diferencia que se observa en el cuadro 9, respecto al rendimiento que obtuvieron los híbridos y la semilla criolla en relación con la aplicación ó no de biofertilizantes. En los híbridos la diferencia en rendimiento fue de 905.2 kg y en la semilla criolla de solo 166.8 kg. Esta marcada diferencia en el rendimiento entre los híbridos que fueron biofertilizados y no, indica que este tipo de materiales responden sensiblemente a este tipo de fertilización, en cambio la semilla criolla mostró una diferencia menor entre las biofertilizadas y las que no recibieron este tratamiento. Lo anterior no lleva a concluir que las variedades criollas tiene una mayor estabilidad en rendimiento, lo que representa una mayor plasticidad contra cambios ambientales que los híbridos, por lo que la siembra de semillas criollas en esta región representa una gran ventaja adicional para el productor, pues si el año es bueno, los híbridos tendrán ventaja y rendirán mejor, pero si es malo el año (ambientalmente hablando), la semilla criolla tendrá mejor desarrollo y rendimiento.

### Interacción A x B x C

Esta parte del estudio corresponde a la interacción de los tres factores que considerados en el diseño estadístico de esta investigación. Se estudió el la combinación de estos factores y su efecto conjunto en el rendimiento de maíz. Los resultados se muestran a continuación.

**Cuadro No. 10. Efecto de dosis de nitrógeno, biofertilizantes y tipo de semilla, sobre el rendimiento de grano en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

Numero de tratamiento	Tratamientos	Rendimiento (kg/ha)
1	<b>150 - no – criollo (testigo)</b>	<b>2715 cde</b>
2	150 - no – híbrido	3215 bcd
3	150 - si – criollo	3096 bcd
4	150 - si – híbrido	2685 cde
5	200 - no – criollo	4200 abc
6	200 - no – híbrido	2263 de
7	200 - si – criollo	3640 abcd
<b>8</b>	<b>200 - si – híbrido</b>	<b>4900 a</b>
9	250 - no – criollo	2825 cde
10	250 - no- híbrido	4616 ab
11	250 - si – criollo	3070 cd
<b>12</b>	<b>250 - si – híbrido</b>	<b>4946 a</b>
13	300 - no – criollo	3295 bcd
<b>14</b>	<b>300 - no – híbrido</b>	<b>1479 e</b>
15	300 - si – criollo	3490 abcd
16	300 - si – híbrido	2663 de

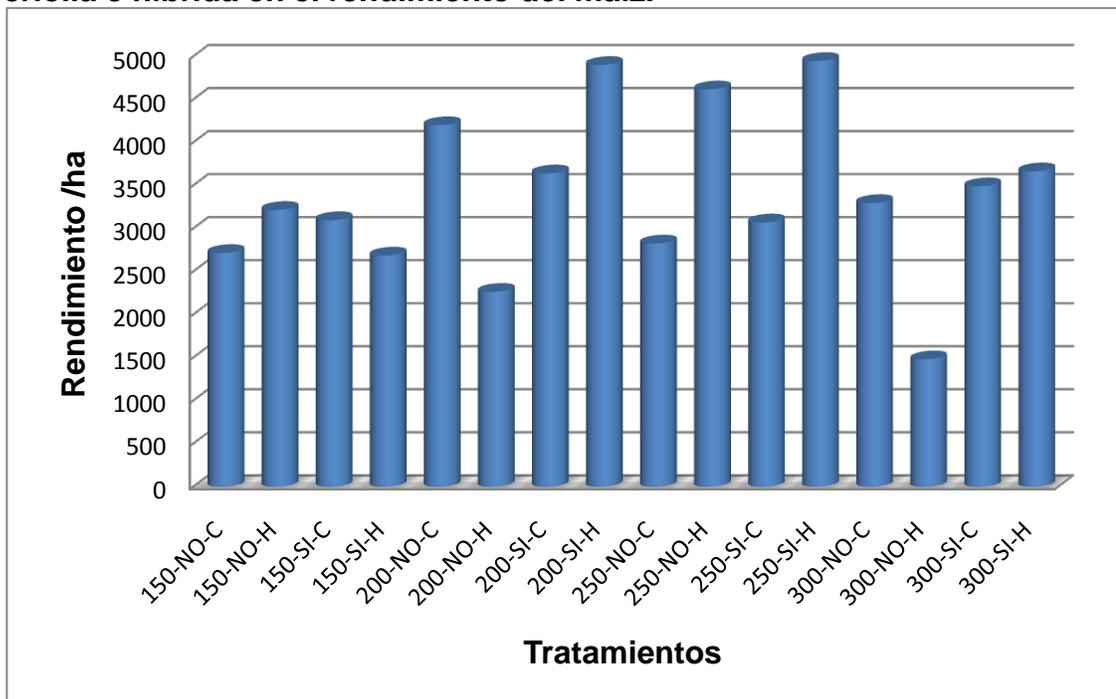
Los resultados del cuadro anterior en la aplicación de dosis de nitrógeno, biofertilizantes y tipo de semilla muestran que, los rendimientos más altos se presentaron en los tratamientos 8 y 12, resultando en promedio con 4923 kg/ha,

superando al testigo en 2208 kg/ha (tratamiento 1), pues este obtuvo un rendimiento de 2,715 kg/ha.

El rendimiento más bajo correspondió al tratamiento 14 (300 N; no biofertilizante; híbrido) con 1479 kg/ha; esto implica una diferencia en rendimiento de 3544 kg con respecto al mejor promedio de rendimiento. El testigo obtuvo 2715 kg/ha.

La gráfica 4 muestra los rendimientos de cada uno de los tratamientos aplicados.

**Gráfica No. 4. Efecto de dosis de nitrógeno, biofertilización y semilla criolla e híbrida en el rendimiento del maíz.**



### **Días a floración**

Los resultados obtenidos para esta variable (cuadro 3) señala que el Factor C (tipo de Semilla) muestra diferencia altamente significativa, y el resto de los factores la diferencia fue no significativa. Los resultados del factor C se sometieron a la prueba de Tukey. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro No. 11. Efecto tipo de semilla sobre la floración en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

<b>Tipo de semilla</b>	<b>Dias a floración</b>
Criolla	55 b
Híbrido	58 a

El cuadro anterior (cuadro 11) señala que la semilla criolla inicia su período de floración tres días antes que el híbrido. Aunque el período es muy corto, en condiciones de temporal puede significar una ventaja en caso de presentarse situaciones de temporal irregular, sobre todo considerando que en los últimos años esta ha sido lo característico en esta región de estudio.

### **Altura de planta**

En el cuadro 3 se presentan los resultados estadísticos para esta variable, donde el factor A (Dosis de Nitrógeno) y factor Ax C (Dosis de Nitrógeno vs tipo de Semilla) son altamente significativos, mientras que para los demás factores no hay diferencias. El coeficiente de variación fué de 11.39 %

**Cuadro No. 12. Efecto de dosis de nitrógeno sobre la altura en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

<b>Dosis</b>	<b>Altura (m)</b>
150	2.18 b
200	<b>2.53 a</b>
250	<b>2.68 a</b>
300	2.45 ab

Para la combinación de dosis de nitrógeno (cuadro 12) las dosis de 200 y 250 kg de nitrógeno obtuvieron los resultados mas altos, con un promedio de 2.61 metros, sobresaliendo de la dosis más baja de N que registrón una altura de 2.18 m; esto representa una diferencia de 43 centímetros entre ambas dosis. Este comportamiento respalda los resultados obtenidos en esta factor A para rendimiento, pues las mismas dosis de N que mostraron los mejores rendimientos, también corresponden a las mejores alturas

**Interacción de los factores (A x C), en la altura del maíz**

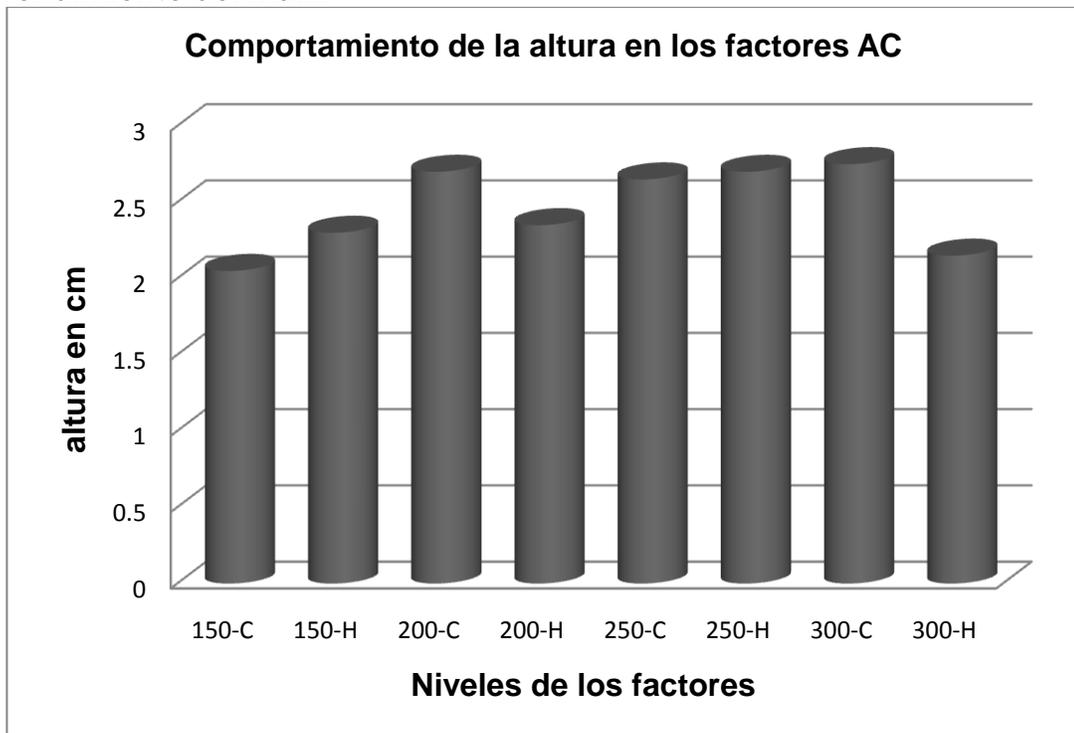
A continuación se plasman los resultados obtenidos durante la investigación entre los factores que corresponde a las dosis de nitrógeno y el tipo de semilla en la variable altura de planta.

**Cuadro No. 13. Efecto de dosis de nitrógeno y tipo de semilla, sobre la altura en maíz, bajo condiciones de temporal. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Altura (m)</b>
<b>150 – criollo</b>	<b>2.05 c</b>
150 – híbrido	2.30 abc
<b>200 – criollo</b>	<b>2.70 a</b>
200 – híbrido	2.35 abc
250 – criollo	2.65 ab
<b>250 – híbrido</b>	<b>2.70 a</b>
<b>300 – criollo</b>	<b>2.75 a</b>
300 – híbrido	2.15 bc

La altura de planta en combinación con dosis de nitrógeno y tipo de semilla (cuadro 13) señala que al aplicar solo 200 kg de N en combinación con semilla criolla, se obtiene una adecuada altura de planta, permitiendo ahorrar en fertilizante y disminuir ó evitar una posible contaminación al suelo, que pudiera ser causada con los otros tratamientos sobresalientes que corresponde a dosis de 250 y 300 kg de este nutriente (grafica 5).

**Grafica No. 5. Efecto de dosis de nitrógeno y tipo de semilla, en el rendimiento del maíz.**



## CONCLUSIONES

1. Los mejores rendimientos se obtuvieron con las dosis de nitrógeno de 200 y 250 kg/ha, con rendimientos de 3750.8 y 3864.3 kg/ha respectivamente.
2. El mejor tratamiento para los productores es el correspondiente a la dosis de 200 kg/ha, pues su diferencia en rendimiento (113.5 kg/ha), no es significativa respecto a la dosis de 250 kg N.
3. El uso de biofertilizantes contribuyeron a un mayor rendimiento de maíz (cuadro 5).
4. La mejor combinación de fertilizante químico y biofertilizante se obtuvo con 200 kg de nitrógeno + biofertilizantes, con un rendimiento promedio de grano de 4270 kg/ha, superando en rendimiento a la dosis de 300 kg de N y siendo estadísticamente igual a la dosis de 250 Kg N.
5. De acuerdo con los resultados obtenidos, se acepta la Ha:1, que establece que “Es posible reducir la dosis de fertilizante químico mediante la inoculación de la semilla de maíz con *micorrizas* y *Azospirillum*”.
6. Los biofertilizantes estimularon en las raíces la formación de asociaciones de microorganismos (bacterias y hongos), capaces de incrementar la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, que derivó en una mayor elongación de del sistema radicular (Figura 3).

7. El uso de biofertilizantes contribuyen a un mayor rendimiento y a la restauración del suelo por que mejoran sus propiedades fisico-quimica, lo que es un indicativo serio de las ventajas que se obtienen al practicar una agricultura sustentable, la cual entre otras cosas otorga un mayor beneficio económico al productor y reduciendo los efectos negativos al agroecosistema.
  
8. La siembra de semilla criolla e híbrida se comportaron estadísticamente igual, al registrar un rendimiento promedio de 3291.4 para criolla y 3345.9 para híbridos.
  
9. Se han logrado alcanzar los objetivos planteados al inicio del proyecto, pues se ha incrementado los rendimientos de maíz, reducción de las dosis de nitrógeno y una mejora en la propiedades fisico-quimicas al aplicar biofertilizantes.

## RECOMENDACIONES

1. Darle seguimiento a la investigación bajo condiciones de riego para ver el comportamiento que tendrían los tratamientos.  
.
2. Se recomienda la utilización de la variedad criolla regional. Ya que el productor obtendrá mayores ingresos, favoreciendo su economía. Por lo tanto se rechaza la Ha:2, “La variedad de maíz criollo responde diferente a la semilla híbrida de maíz”.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre-Medina, J. F. 2006. Biofertilizantes microbianos: Experiencias agronómicas del programa nacional del INIFAP en México. Libro Técnico Núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. 201 p.
- Aldrich, S.R., Scott, W.O. & Leng, E.R. 1975. Modern corn production, 2nd ed. Champaign, IL, USA, A & L Publications.
- Arshad, M.A., Franzluebbers, A.J., Azooz R.H. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada Soil Tillage Res. 53:41-47.
- Altieri, M.A. and C.I. Nicholls. 2000. Applying Agroecological Concepts to Development of Ecologically Based Pest Management Strategies. In: Professional Societies and Ecologically Based Pest management: proceeding of a workshop. National Research Council. Washington D.C. pp: 14-19.
- Barrio, E. 2001. Calidad de recursos orgánicos, descomposición, disponibilidad de nutrientes y respuesta de los cultivos. Resumen XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Varadero-Cuba.
- Bartolini, R. 1990. El maíz. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pág. 2-25.
- Bernal M. 2004. Abuso de fertilizantes deteriora los suelos agrícolas. Artículo en línea]. Disponible en: [www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/hortalizas/brcoli/orpei.pdf](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/hortalizas/brcoli/orpei.pdf).

Bever J (1994) Feedback between plants and their soil communities in an old field community. *Ecology* 75 : 1965-1977.

Biofabrica siglo XXI disponible en: <http://www.biofabrica.com.mx/>

Blackmer A M y Green C J. 1995. Nitrogen turnover by sequential immobilization and mineralization during residue decomposition in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1052-1058.

Brown, M. S. and Bethlenfalvay, G. J. 1988. The *Glycine-Glomus-Rhizobium* symbiosis. VIL Photosynthetic nutrient use efficiency in nodulate mycorrhizal soybeans. *Plant Physiol.* 86:1292-1297.

Boyle, M., W.T. Frankenberger, Jr., and L.H. Stolzy. 1989. The influence of organic matter on soil aggregation and water infiltration. *Journal of Production Agriculture*. Vol. 2. p. 209-299.

Brady, N.; Weil, R. 1999. *The nature and properties of soils*. 12th ed. New Jersey: Prentice Hall, 881p.

Bravo, C y A Florentino. 1999. Nivel de cobertura, conservación de suelos y agua bajo diferentes sistemas de labranza. *Revista Facultad de Agronomía*. 25: 57-74.

Buckman, H.O. y N.C. Brady 1977 *Naturaleza y Propiedades de los Suelos*. Montaner y Simón, Barcelona.

Castellanos, Uvalle-bueno y Aguilar- Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelo, aguas agrícolas, plantas y ECP. P 48-56.

Conway, G.R.; Pretty J.N. 1991. *Unwelcome harvest. Agriculture and pollution*. Earthscan Publications Ltd., London. 645 p.

Cook G., W. 1992. *Fertilización para rendimientos máximos*. CECSA. 5ta., reimpresión, México. pp: 373.

Clément, A.; J.K. Ladha and F. P.Chalifour. 1995. Crop residue effects on nitrogen mineralization, microbial biomass, and rice yield in submerged soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1595-1603.

Döbbelaere, S.; Croonenborghs, A.; Thys, A.; Ptacek, D.; Okon, Y. and Vanderleyden, J. 2002. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *Biol. Fertil. Soils* 36(4):284-297.

Da Silva, M., C. Bruckner, M. Piçando y C. Cruz. 1999. Factores que afetam a germinação do grão de polen do maracujá: meios de cultura e tipos de agrotóxicos. *Pesq. Agropec. Bras.* 34(3): 347-352

Domínguez, A. 1997. *Tratado de Fertilización*. 3 ed. Mundi-Prensa. España. 613 p.

Dowswell, C.D., Paliwal, R.L. & Cantrell, R.P. 1996. *Maize in the third world*. Boulder, CO, USA, Westview Press.

El universo. 2008. "Costo de fertilizantes amenaza alimentación" [Artículo en línea]. Disponible en: <http://www.eluniverso.com/2008/05/11/0001/1310/72921C2B3670434AE3FE78FA27E3353.html>.

España, M., B. Rodríguez, E. Bisbal y B. Ceccanti. 2002. Actividades enzimáticas y contribución de los residuos de cosecha de maíz al N del suelo en diferentes sistemas de labranza, en los llanos centrales, Venezuela. *Terra* 20 (1): 81-86.

España, M. y M. López. 2003. Actividad de la deshidrogenasa del suelo bajo diferentes tipos de residuo en sabanas ácidas de Venezuela. En el suelo como sistema viviente-Simposio. V Congreso Venezolano de Ecología. Isla Margarita-Venezuela, 5 al 7 de noviembre de 2003.

Fao, 2004, IRRI. 2002. Food security as economic stimulus. *Rice Today* 1 (1): 29

Fernández, R.L. 2003. Adsorption-desorption of metalaxyl as affecting dissipation and leaching in soils: role of mineral and organic components. *Pest Manag. Sci.* 59, 545-552.

Fink A. 1985. *Fertilizantes y fertilización*. Editorial Reverte. Barcelona. 439 pp.

Font Quer P., 1977. *diccionario de botánica*. Labor. barcelona

Franco-Vizcaíno.1997. Comparative soil quality in maize rotations with high or low residue diversity. *Biol. Fertl Soils.* 24:32-38.

Franzluebbers, A. J., R. L. Haney, F. M. Hons, and D. A. Zuberer. 1999. Assessing biological soil quality with chloroform fumigation-incubation: why subtract a control?. *Can J. Soil Sci.* 79:521-528.

Freire, P. *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1975.

Galinat, W.C. 1988. The origin of corn. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, 3rd ed., p. 1-31. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.

García I y Dorronso C. 1995. "Contaminación por fertilizantes". [Artículo en línea]. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema14/nitrog.htm>.

García, W.C. Kumar, M. & Sachan, J.K.S. 2002. The origin of corn. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, 3rd ed., p. 1-31. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.

- Gregorich E G, Ellert B H., Drury C F y Liang B C .1996. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Sci Am.*J.60:472-476.
- Hardy, federick (1970). *Suelos tropicales, pedología tropical con énfasis en América* 1ra. Edición; ed. herrera hermanos, sucesores S.A.; México.
- Havlin, J. L.; Beaton, J. D.; Tisdale, S. L. and Nelson, W. L. 2005. *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management.* Pearson Prentice Hall. 7th Edition. Upper Saddle River, NJ, USA. 515 p.
- Hernandez T. canales, M. Avila., Jc. Duran, A. caballero J. 2003 ethnobotany and antibacterial activity of some plants used in traditional medicine of zapotitlán de las Salinas, Puebla, Mexico. *Ethnopharmacol.* 88:181:188.
- Hitchcock, A. S., and A. Chase 1971. *Manual of the grasses of the United States* volumen 2. P.790-796. Dover Publications: N.Y.  
<http://dev.biologists.org/content/112/3/891.full.pdf>,  
<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/research/2003/tassel/>.
- Jarecki, M.K., and R. Lal. 2003. Crop management for soil carbon sequestration. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22:471–502.
- Johnston, A.E., Poulton, P.R., 1977. Yields on the exhaustion land and changes in NPK content of the soils due to cropping and manuring, 1852-1975, Report for 1976. Part 2., pp. 53-85.
- Labrador, M. J., 2001. *La materia orgánica en los agroecosistemas.* Grupo mundial-prensa. España. p 11-13, 124, 169-171, 174, 177-178.
- León, M. 1993. Efecto de sistemas de labranza conservacionista con uso de leguminosa en un alfisol de la zona maicera de Yaracuy. Tesis Msc Cs. Maracay. Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 147 p.

Linares Aura, Adriana Florentino y Marisol López. 2005. Efecto de prácticas conservacionistas sobre la estabilidad estructural de un suelo con cultivo de sorgo en Chaguaramas estado Guárico. XVII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay, 17 al 20 de mayo de 2005

López, M.; Á Bolívar, M. Salas y María De Gouveia. 2006a. Prácticas conservacionistas y rotación con quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Alternativas sustentables para los agroecosistemas de sabanas de Guárico, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 56(1):75-109.

López, M.; M. Toro; M. Salas; G. Medina. 2006b. Impacto de abonos orgánicos e inorgánicos sobre la sustentabilidad de un sistema *Sorghum bicolor*-*Cajanus cajan* en un ultisol de Venezuela. XV Congreso científico del Instituto Nacional de Ciencia Agrícolas. San José de las Lajas Cuba. Del 07 al 11 de 2006.

Martinez, C. C. 2004. La lombricultura y abonos organicos. Memorias III curso teorico- practico. Lombricultura tecnica mexicana. SOMOLAO. Guadalajara, Jal. Del 8 al 10 de marzo. p 11-12, 21.

Maiskomitee. 2003. Fachinfo Morphology. [http://www.maiskomitee.de/fb\\_fachinfo/02\\_01\\_02\\_04.htm](http://www.maiskomitee.de/fb_fachinfo/02_01_02_04.htm). Deutsches Maiskomitee e.v.

Mirat, 2006. Fertilización: Nutrición vegetal. Disponible en: (<http://www.mirat./fertilizantes/nutrición/macronutrientes/micronutrientes/htm>). Consultado 04/05/2011.

Mousain D, Matumoto P & Quiquampoix H. (1997) Le Rôle des mycorhizes nutrition phosphatée des arbres forestiers. *Rev. Forestier* XLIX n° sp 1997: 67-81.

Naredo, José Manuel. ¿Qué pueden hacer los economistas para ocuparse de los recursos naturales? Desde el sistema económico hacia la economía de los sistemas. En: revista pensamiento iberoamericano. No.12. Madrid. 1987.

N. P. F. I. 1986. Manual de fertilizantes. LIMUSA S. A de C. V. México, D.F.

- Ohep C. 2001. Cambios en la calidad del suelo por el uso continuo de labranza conservacionista en un alfisol de Yaracuy medio. . Tesis de postgrado en ciencias del suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 168p.
- Ordoñez-Fernandez, R., Gonzalez-Fernandez, P., Giraldez-Cervera, J.V., Perea-Torres, F., 2007. Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. *Soil Tillage Res.* 94:47-54.
- Orozco R. J. 1999, Fertilizantes orgánicos y su aplicación en el cultivo del banano. Pp. 82-88 in *Producción de Banano orgánico y, o, ambientalmente amigable. Memorias del taller internacional realizado en EARTH, Guácimo, Costa Rica 27-29 de Julio de 1998* (F.E. Rosales, S.C. Tripon y J. Cerna, eds). INIBAP, Montpellier, Francia.
- Porta J, López M y Roquero C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. (2ª ed) Mundi Prensa. Madrid. 849 p.
- Parodi L. 1972. *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería*. Acmé SACI, Buenos Aires, 1(2)
- Pikul, J.L., Osborne, S., Ellsbury, M., Riedell, W., 2007. Particulate organic matter and water- stable aggregation of soil under contrasting management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:766-776.
- Pretty J. 1995. *Regenerating Agriculture: Policies and Practice for Sustainability and Self-Reliance*. Earthscan, London; National Academy Press, Washington, 320pp
- Pulleman, M.M, Six, J., Breemen, v.B., Jongmans, A.C., 2005. Soil organic matter distribution and microaggregate characteristics as affected by agricultural management and earthworm activity. *European J. Soil Science* 56:453-467.

- Reicosky, D.C., Dugas, W.A., Torbert, H.A., 1997. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. *Soil & Tillage Research* 41:105-118.
- Rivas, E. 1993. Efecto de la labranza mínima y prácticas agronómicas asociadas sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento de maíz de los Llanos altos del estado Monagas. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela. 105 pp.
- Rivero C, Lobo D y López A. 1998. Efectos de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un alfisol degradado. *Revista Venesuelos*. 6 (1y 2): 9-33.
- Rodríguez F., H. y J. Rodríguez A. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Trillas. México, D.F.
- Rodríguez, S., F. 1996. Fertilizantes nutrición vegetal. AGT. México. pp: 49.
- Romero, L. M. 2004. Agricultura organica, elaboración y aplicación de abonos organicos. Memorias III curso teorico- practico. Lombricultura técnica mexicana. SOMELAO. Guadalajara, Jal. Del 8 al 10 de marzo.
- Salazar W. 1999 "Cultivo de hortalizas". [Artículo en línea]. Disponible en:[http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/hortalizas/brocoli/competitividad\\_brocoli.pdf](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/hortalizas/brocoli/competitividad_brocoli.pdf).
- Sánchez, P.A. 1981. Suelo de trópico. Características y Manejos. John Wiley. Costa Rica
- Scott N. A.; Vernon Cole; E. T. Elliott and S.A. Huffman. 1996. Soil texture control on decomposition and soil organic matter dynamics. *Soil Sci Soc.Am J.*60:1102-1109.

- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., 2000 a. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32:2009–2013.
- Torres D., A. Florentino y M. López. 2005. Pérdidas de suelo y nitrógeno por escorrentía en un suelo ultisol degradado bajo diferentes condiciones de cobertura vegetal en Chaguaramas-Guárico. *Agronomía Tropical*. Vol. 55.
- Torres Duillo; A. Florentino y M. López. 2006. Indicadores e índices de calidad de suelo en un ultisol bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista en Guárico, Venezuela. *Revista: Bioagro*. 18 (2):83-91.
- Torres T., Felipe, y Y. Trápaga D. 1997. *La Agricultura Orgánica: Una Alternativa para la Economía Campesina de la Globalización*. IIE–UNAM y Plaza y Valdés. México. 196 p.
- Thorup-Kristensen, K et al. 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Adv. Agrn.*79:228-302.
- Urquiaga, S. Y F. Zapata. 2000. Eficiencia de la fertilización nitrogenada y su relación con la productividad agrícola sostenible. In: Urquiaga S. y Zapata F. (eds). *Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe*. Porto Alegre: Genesis; Río de Janeiro, EMBRAPA Agrobiologia- Arcal. pp:19-23.
- Velázquez G, Salinas G, Patter J, Gallardo F, Caballero H y Díaz P M (2002). Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de maíz sobre el suelo. *Terra*. 20 (2): 171-183.
- Wani, Altaf H.; branion, richard m.r. and lau, anthony k. biofiltration: a promising and cost-effective control technology for odours, vocs and air toxics. *journal of environmental science and health, part a - environmental science and engineering*, 1997, vol. 32, no. 7, p. 2027-2055.

Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. *Maydica*, 30: 209-223.

[www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx)

Yágodin, B.A. 1986. Agroquímica. Trad. al español por R. Rincón-Zabaco y F. Vargas-Salazar. Tomo I. Mir. Moscú. Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.

Zanatta, J.A., Bayer, C., Dieckow, J, Vieira, F.C., Mielniczuk, J., 2007. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. *Soil Tillage Res.* 94:510-519.

Zibilske, L.M., Bradford, J.M., Smart, J.R., 2002. Conservation tillage induced changes in organic carbon, total nitrogen and available phosphorus in a semi-arid alkaline subtropical soil. *Soil Tillage Res.* 66:153-163.

Zhang, B., Horn, R., Hallett P., 2005. Mechanical Resilience of Degraded Soil Amended with Organic Matter. *Soil Water Management Conservation* 69:864-871.

## ANEXOS

### Anexo 1. Concentración de datos de la variable rendimiento. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.

Numero Trat.	Nombre Trat.	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Promedio
1	150-NO-C	2550	2445	3150	2715
2	150-NO-H	3210	3230	3205	3215
3	150-SI-C	2769	3671	2848	3096
4	150-SI-H	2298	3020	2737	2685
5	200-NO-C	3900	4500	4200	4200
6	200-NO-H	2282	2232	2275	2263
7	200-SI-C	5045	2625	3250	3640
8	200-SI-H	4800	4940	4960	4900
9	250-NO-C	2800	2855	2820	2825
10	250-NO-H	4607	4619	4622	4616
11	250-SI-C	3034	3082	3094	3070
12	250-SI-H	4900	4986	4952	4946
13	300-NO-C	3300	3385	3200	3295
14	300-NO-H	2079	425	1933	1479
15	300-SI-C	3320	3727	3423	3490
16	300-SI-H	1693	2603	3693	2663

### Anexo 2. Análisis de varianza para la variable rendimiento. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
<b>BLOQUES</b>	2	151614.13	75807.06	0.28	0.7559
<b>FACTOR A</b>	3	11779730.25	3926576.75	14.63	0.0001
<b>FACTOR B</b>	1	2825610.75	2825610.75	10.53	0.0029
<b>FACTOR C</b>	1	35643.00	35643.00	0.13	0.07181
<b>A X B</b>	3	2100686.25	700228.75	2.61	0.0698
<b>A X C</b>	3	15638298.00	5212766.00	19.42	0.001
<b>B X C</b>	1	2116800.00	2116800.00	7.89	0.0087
<b>A X B X C</b>	3	6910257.00	2303419.00	8.58	0.0003
<b>ERROR</b>	30	8051584.000	268381.40		
<b>TOTAL</b>	47	49610081.25			

C.V. = 15.61054%

**Anexo 3. Concentración de datos de la variable días a floración. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

Número. Trat.	Nombre Trat.	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Repetición
1	150-NO-C	60	52	53	55
2	150-NO-H	54	52	59	55
3	150-SI-C	53	54	58	55
4	150-SI-H	57	53	55	55
5	200-NO-C	59	54	52	55
6	200-NO-H	55	57	53	55
7	200-SI-C	55	55	55	55
8	200-SI-H	63	56	61	60
9	250-NO-C	56	55	54	55
10	250-NO-H	60	58	62	60
11	250-SI-C	54	55	56	55
12	250-SI-H	58	62	60	60
13	300-NO-C	53	56	56	55
14	300-NO-H	59	58	63	60
15	300-SI-C	56	56	53	55
16	300-SI-H	63	62	55	60

**Anexo 4. Análisis de varianza para la variable días a floración. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo- Septiembre de 2010.**

FV	GL	SC	CM	F	P>F
BLOQUES	2	12.500	6.250	0.862	0.432
FACTOR A	3	51.562	17.187	2.370	0.090
FACTOR B	1	4.687	4.687	0.646	0.427
FACTOR C	1	117.187	117.187	16.163	0.000
A X B	3	14.062	4.687	0.646	0.591
A X C	3	51.562	17.187	2.370	0.090
B X C	1	4.687	4.687	0.646	0.427
A X B X C	3	14.062	4.687	0.646	0.591
ERROR	30	217.500	7.250		
TOTAL	47	487.812			

C.V. = 4.76036%

**Anexo 5. Concentración de datos de la variable altura de planta. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

Numero Trat.	Nombre Trat.	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Promedio
1	150-NO-C	1.7	1.8	2.2	1.9
2	150-NO-H	2.6	2.1	2.5	2.4
3	150-SI-C	1.9	2.3	2.4	2.2
4	150-SI-H	2.4	1.9	2.3	2.2
5	200-NO-C	2.5	3	2.9	2.8
6	200-NO-H	2	2.5	2.4	2.3
7	200-SI-C	2.6	2.6	2.6	2.6
8	200-SI-H	2.1	2.6	2.5	2.4
9	250-NO-C	2.6	2.5	2.1	2.4
10	250-NO-H	2.4	2.8	2.9	2.7
11	250-SI-C	3.2	2.8	2.7	2.9
12	250-SI-H	2.8	2.6	2.7	2.7
13	300-NO-C	2.2	2.7	2.6	2.5
14	300-NO-H	1.8	1.5	2.7	2
15	300-SI-C	3.2	2.7	3.1	3
16	300-SI-H	2.5	2	2.4	2.3

**Anexo 6. Análisis de varianza para la variable altura de planta. Monte Escobedo Zacatecas. Mayo-Septiembre de 2010.**

FV	GL	SC	CM	F	P>F
BLOQUES	2	0.271	0.135	1.733	0.194
FACTOR A	3	1.580	0.526	6.730	0.001
FACTOR B	1	0.316	0.316	4.049	0.053
FACTOR C	1	0.316	0.316	4.049	0.053
A X B	3	0.365	0.121	1.556	0.220
A X C	3	1.325	0.441	5.643	0.003
B X C	1	0.151	0.151	1.938	0.173
A X B X C	3	0.320	0.106	1.365	0.272
ERROR	30	2.348	0.078		
TOTAL	47	6.998			

C.V. = 11.39161%