



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGIA

NATUR-ABONO Y FERTILIZANTE QUÍMICO COMO FUENTE DE NITRÓGENO EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ

DANIEL ALBERTO ALARCÓN PERALTA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2015

La presente tesis titulada: **Natur-abono y fertilizante químico como fuente de nitrógeno en el rendimiento de maíz** realizada por el alumno: **Daniel Alberto Alarcón Peralta** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EDAFOLOGIA

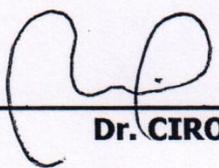
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



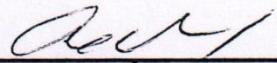
Dr. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

ASESOR



Dr. CIRO VELASCO CRUZ

ASESOR



Dr. JOSÉ APOLINAR MEJÍA CONTRERAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2015

NITRÓGENO EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ

Daniel Alberto Alarcón Peralta, Mc.
Colegio de Postgraduados, 2015.

RESUMEN

El uso de los fertilizantes químicos ha sido común en todos los sistemas de producción agrícola, con el fin de mantener e incrementar los rendimientos de los cultivos; pero el uso excesivo de estos fertilizantes ha ocasionado que el 70% de suelos presenten algún tipo de deterioro en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que pierden la sostenibilidad a través del tiempo y se abaten los rendimientos de los cultivos, además contaminan el ambiente. Con base a esta problemática se llevó a cabo un estudio sobre el uso de Natur-abono, que es un abono orgánico enriquecido con microorganismos antagónicos, para evaluar el efecto como fuente de nutrimentos en el cultivo de maíz. Se incluyeron tratamientos con abono orgánico (Natur-abono) y químico solos, y la combinación de ellos. En total se manejaron 10 tratamientos, distribuidos en un diseño experimental de bloques al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos se generaron de un factorial completo 2x5 en donde 2 indica los niveles de nitrógeno y 5, porcentajes de sustitución del fertilizante químico por natur-abono. El experimento se llevó a cabo en el campo experimental de Montecillo Colegio de Postgraduados, bajo condiciones de temporal con riegos suplementarios. Las características del suelo son las siguientes: materia orgánica 2.71% (pobre), fósforo (Bray) 17.6 ppm (medio), potasio $1.44 \text{ meq}100^{-1}$ (alta) y pH 8.3 (alcalino). Como resultados se observó que en la dosis alta de fertilización ($120 \text{ kg de N ha}^{-1}$) el tratamiento T3 (50% de fertilizante químico y 50% de Natur-abono) produjo el mayor peso de grano (8.6 t ha^{-1}) y mayor número de mazorcas (59 375), el tratamiento T4 (25% de fertilizante químico + 75% de Natur-abono) registró el mayor peso de rastrojo (11.44 t ha^{-1}), mientras que en el tratamiento T1 (100% de fertilizante químico + 0% de Natur-abono) se observó el mayor índice de cosecha (0.44). En la dosis baja ($80 \text{ kg de N ha}^{-1}$) el mayor peso de grano (8.3 t ha^{-1}) y peso de rastrojo (12.1 t ha^{-1}) se obtuvo con el tratamiento T8 (50% de fertilizante químico y 50% de Natur-abono); en tanto que, el mayor número de mazorcas (57 060) se registró en el tratamiento T9 (25% de fertilizante químico + 75% de Natur-abono) y el índice de cosecha más alto (0.43) en

el tratamiento T6 (100% de fertilizante químico + 0% de Natur-abono). El Natur-abono como fuente de nutrimentos fue superior en el rendimiento de maíz que lo obtenido con el fertilizante químico. Aun cuando no hubo diferencias significativas al substituir el fertilizante químico por el abono orgánico en diferentes proporciones, sí se observó un incremento notorio cuando se aumentó la dosis de Natur-abono. Lo anterior indica que el Natur-abono es una alternativa muy importante en la fertilización de maíz, no solo por el aporte de nutrimentos sino por otros efectos que al combinar con el fertilizante químico se obtienen las mejores respuestas en el rendimiento de maíz.

Palabras clave: suelo, sistemas de producción, abono orgánico híbrido Promesa.

NATUR-ABONO AND CHEMICAL FERTILIZER AS A SOURCE OF NITROGEN ON CORN YIELD

**Daniel Alberto Alarcón Peralta, Mc.
Colegio de Postgraduados, 2015.**

ABSTRACT

The use of chemical fertilizers has been common practice in all agricultural production systems, to maintain and increase crop yields; but excessive use of these fertilizers has caused that 70% of soils present some kind of deterioration in their physical, chemical and biological properties. This cause that soils lose their sustainability over time and yields are lowered in addition to environmental contamination. Based on this problem it was conducted a study about the use of Natur-abono. Natur-abono is an organic fertilizer enriched with antagonistic microorganisms to assess the effect as a source of nutrients for growing corn. Treatments with organic fertilizer (Natur-abono) and chemical, applied alone, and the combination of them were included as a treatments. In total 10 treatments distributed in an experimental randomized block design with 4 replicates were handled. Treatments were generated as a complete factorial 2x5 where 2 indicates the levels of nitrogen and 5 the proportional combination of Natur-abono and chemical fertilizer. The assay was conducted in the experimental field of Montecillo, Colegio de Postgraduados, under rainfed conditions with supplementary irrigation. Soil characteristics are as follows: 2.71% organic matter (poor), phosphorus (Bray) 17.6 ppm (medium), 1.44 meq100⁻¹ potassium (high) and pH 8.3 (alkaline). As a result it was found that in the high doses of fertilization (120 kg N ha⁻¹), T3 treatment (50% of chemical fertilizer and 50% of Natur-abono) produced the highest grain yield (8.6 t ha⁻¹) and greater number of ears (59 375). Treatment T4 (25% of chemical fertilizer + 75% of Natur-abono) recorded the highest weight of stubble (11.44 t ha⁻¹). T1 (100% of chemical fertilizer + 0% of Natur-abono) produced 0.44 the highest harvest index. In the low dose (80 kg N ha⁻¹) a grain yield (8.3 t ha⁻¹) and weight of stubble (12.1 t ha⁻¹) was obtained with treatment T8 (50% of chemical fertilizer and 50 % of Natur-abono); while the largest number of ears (57 060) was recorded in the treatment T9 (25% of chemical fertilizer + 75% of Natur-abono) and the highest harvest index (0.43) in the T6 treatment (100% of chemical fertilizer + 0% of Natur-abono).

Natur-abono as nutrient source was better in yields obtained than the chemical fertilizer. Although there was no significant difference with chemical fertilizer or combination in different proportions of them. However, a notable increase was observed when the dose was increased of Natur-abono. This indicates that the Natur-abono is a important alternative for corn fertilization, not only by the contribution on nutrients, but other effects that it's obtained when chemical fertilizer is combined with Natur-abono in the corn production.

Key words: soil, production systems, manure organic, hybrid promesa.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios el arquitecto del universo, por haberme dado el poder del libre albedrio de mi destino.

Al Gobierno Mexicano, que a través de su sistema de becas por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo por haberme acogido y brindado la oportunidad de realizar los estudios de maestría y formar parte de su comunidad.

Al Dr. Antonio Trinidad Santos, por su amistad, su apoyo moral y académico, y la disposición de su tiempo que hicieron posible la realización del presente trabajo.

Al Dr. Ciro Velasco Cruz, por su apoyo en los análisis de datos estadísticos y formar parte de mi consejo.

Al Dr. José Apolinar Mejía Contreras, por su apoyo, sugerencias y revisiones al presente documento.

A todos los maestros que formaron parte de mí formación, mi más profundo agradecimiento por compartir sus conocimientos sus enseñanzas y por todo el tiempo que con paciencia dedicaron en el aula.

A mis compañeros de generación (2013-2014) y amigos: Eslit, Cristopher, Tocush, Jaime, David, por compartir el tiempo y espacio en esta etapa de mi vida, les deseo lo mejor.

DEDICATORIAS

A mi hijo:

Al hombre pequeño que me inspira con su amor y me ha enseñado a ser paciente, para ti hijo mío, Alonso Daniel Alarcón Reyes.

A mis padres:

Al Ing. Carlos Alejandro Alarcón Nava y a la Prof. ^a. Ma. Del Carmen Peralta Flores por el amor y apoyo incondicional que me han dado, por confiar en mí en todo momento, LOS AMO.

A mi hermano:

Al Lic. Carlos E., por todo ese gran apoyo que siempre he tenido de tu parte, te quiero mucho hermano.

A mis tíos, primos y amigos, que a través de sus consejos me han motivado a seguir adelante, por estar ahí con una cálida sonrisa y enseñarme que la adversidad es prosperidad para los que poseemos una buena actitud.

CONTENIDO

	PÁG.
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
AGRADECIMIENTOS	vii
DEDICATORIAS	viii
LISTA DE CUADROS EN EL TEXTO	xii
LISTA DE FIGURAS EN EL TEXTO	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 La materia orgánica en el suelo.....	3
2.2 Los microorganismos del suelo.....	4
2.2.1 Uso de microorganismos benéficos en el suelo como una biotecnología sustentable.....	5
2.3 Fertilización orgánica.....	6
2.3.1 Ventaja de la fertilización orgánica.....	7
2.3.2 Desventaja de la fertilización orgánica.....	9
2.4 El compostaje.....	10
2.4.1 Mineralización de la materia orgánica.....	10
2.4.2 Ventajas del compost.....	12
2.4.3 Desventaja del compost.....	13
2.5 Natur-abono como biofertilizante.....	14
2.5.1 Resultados de investigación con Natur-abono.....	16
2.6 Fertilización química.....	16
2.6.1 Ventajas de la fertilización química.....	17
2.6.2 Desventaja de la fertilización química.....	17
2.7 Fertilización órgano-mineral.....	19

2.8	El cultivo de Maíz.....	21
2.8.1	Situación de la producción de Maíz en los valles altos centrales de México.....	22
III.	OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	23
3.1	Objetivo general.....	23
3.1.1	Objetivo específico.....	23
3.2	Hipótesis general.....	24
3.2.1	Hipótesis específica.....	24
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
4.1	Localización del área de estudio.....	25
4.2	Características del suelo y fertilizante Natur-abono.....	25
4.3	Semilla de Maíz.....	26
4.4	Factor de estudio y tratamientos.....	27
4.5	Parcela útil, unidad y diseño experimental.....	27
4.6	Labores agronómicas.....	29
4.6.1	Preparación del terreno.....	29
4.6.2	Fertilización del cultivo.....	29
4.6.3	Siembra.....	31
4.6.4	Riego.....	31
4.6.5	Control de malezas, plagas y enfermedades.....	31
4.6.6	Cosecha.....	31
4.7	Variables de respuesta.....	31
4.7.1	Rendimiento.....	31
4.8	Análisis de datos.....	32
4.8.1	Análisis estadístico SAS (Statistical Analysis System).....	32
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
5.1	Observaciones durante el desarrollo del cultivo.....	33
5.2	Variables de Rendimiento.....	33
5.2.1	Número de Mazorcas.....	33
5.2.2	Rendimiento de grano.....	37
5.2.3	Peso seco de rastrojo.....	41

5.2.4 Índice de Cosecha (IC).....	44
VI. CONCLUSIONES.....	47
VII. LITERATURA CITADA.....	48

LISTA DE CUADROS EN EL TEXTO

Cuadro		Pág.
1	Clasificación de los abonos orgánicos.....	7
2	Contenido de nutrientes mayores en subproductos orgánicos con base húmeda (70% H ₂ O en promedio).....	9
3	Relación C/N y pérdida de nitrógeno en estiércol de ave pre-compostado.....	12
4	Microrganismos presentes en Natur-abono.....	14
5	Características físico químicas de Natur-abono.....	15
6	Características físicas y químicas del suelo del lote 5B del campo experimental de Montecillos, Montecillos Edo. De México.....	25
7	Características físicas y químicas del fertilizante Natur-abono reportado por la planta procesadora de residuos urbanos, San Nicolas Romero, Edo. De México.....	26
8	Factores y tratamientos en estudio.....	27
9	Dosis de fertilizante mineral (kg ha ⁻¹) y abono orgánico (t ha ⁻¹)...	30
10	Bactericidas, fungicidas e insecticidas aplicados para el control de plagas y enfermedades.....	31
11	Análisis de varianza del número total de mazorcas ha ⁻¹ en respuesta a la fertilización química y abono orgánico (Natur-abono).....	34
12	Análisis de varianza del peso seco de grano de maíz (t ha ⁻¹) en respuesta a la fertilización química y abono orgánico (Natur-abono).....	38
13	Análisis de varianza de peso seco de rastrojo ha ⁻¹ en respuesta a la fertilización mineral y orgánica (Natur-abono).....	42
14	Análisis de varianza del índice de cosecha en respuesta a la fertilización mineral y orgánica (Natur-abono).....	45

	abono.....	
11	Efecto del Natur-abono y fertilizante químico en el rendimiento de rastrojo ($t\ ha^{-1}$). FQ= Fertilizante químico; NA=Natur-abono.....	43
12	Regresión polinómica de la dosis de $120\ kg\ de\ N\ ha^{-1}$ en la respuesta de peso seco de rastrojo de maíz ($t\ ha^{-1}$) por aplicación de Natur-abono y fertilizante químico.....	44
13	Regresión polinómica de la dosis de $80\ kg\ de\ N\ ha^{-1}$ en la respuesta de peso seco de rastrojo ($t\ ha^{-1}$) por aplicación de Natur-abono y fertilizante químico.....	44
14	Efecto del Natur-abono y fertilizante químico sobre el Índice de Cosecha, bajo condiciones de campo. FQ= Fertilizante químico; NA= Natur-abono.....	46

I. INTRODUCCIÓN

De todos los recursos de un país, el más importante es el suelo; este es el material sobre el que se basa la producción vegetal y animal, por lo tanto la producción de alimentos para los seres humanos depende del mismo, y sin él la vida del planeta estaría limitada (Salgado y Núñez, 2010). Desde el punto de vista agronómico, se concibe el suelo como un hábitat biológico, físico y químico enfocado a la producción de alimentos, cuya capacidad para suministrar elementos esenciales depende tanto de la cantidad de nutrimentos disponibles de inmediato como de la capacidad del suelo para almacenarlos y ponerlos a la disposición de las plantas (Cortez, 2010).

El uso de los fertilizantes químicos es requerido en todos los sistemas de producción agrícola, para mantener e incrementar los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, el uso excesivo de los fertilizantes y el bajo contenido de materia orgánica en el suelo, hace que los suelos presenten problemas en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. El desarrollo de la agricultura se ha regido por una producción cada vez más intensa, contribuyendo al uso indiscriminado de fertilizantes inorgánicos y otros productos químicos, lo que ha propiciado la pérdida de fertilidad y contaminación de los suelos cultivables, lo cual impacta en la calidad de los alimentos cosechados y en la calidad nutrimental humana (Hernández *et al.*, 2010). En los últimos años se ha promovido una renovada filosofía, que es la agricultura orgánica, la cual mejora los suelos y produce alimentos sanos (Salgado y Nuñez, 2010). Entre los abonos orgánicos de origen animal o vegetal, la vermicompost, los biofertilizantes y los ácidos húmico y fúlvicos, son buenas opciones para la nutrición de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes sintéticos y los costos de producción (Planes *et al.*, 2004; Armenta-Bojorquez *et al.*, 2010).

Aunque los abonos orgánicos contienen una concentración baja de nutrientes en comparación a los fertilizantes químicos, la disponibilidad de estos es más constante durante el desarrollo del cultivo por la mineralización gradual a la que están sometidos los materiales orgánicos (Trinidad, 1999).

Un sistema agrícola ideal es aquel que mantiene y mejora la salud humana, produce alimentos suficientes y de calidad para la población humana, y protege el entorno

(Shankar *et al.*, 2011). Con base a lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar la fertilización química, orgánica y combinada entre ellas para seleccionar la mejor combinación en la respuesta al rendimiento de maíz.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La sostenibilidad del recurso suelo tiene como punto importante, mantener e incrementar su productividad y depender menos del uso de los agroquímicos. Dentro de este concepto el uso de los abonos orgánicos y microorganismos de múltiples beneficios sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas va encaminada hacia este concepto, buscando siempre el equilibrio idóneo entre la sostenibilidad y rentabilidad del cultivo. Se asume además, de que el mundo enfrenta un reto para poder satisfacer las necesidades alimentarias a una población en aumento y tan demandante (Escobar, 2010).

2.1 La Materia Orgánica en el Suelo

Diferentes autores denominan indistintamente materia orgánica o humus a la parte orgánica que cumple un papel esencial en el suelo. No existe una definición de humus con la que los especialistas estén de acuerdo. Pero en general, el término humus designa a las sustancias orgánicas variadas, de color pardo y negruzco, que resultan de la descomposición de materiales orgánicos (Navarro *et al.*, 1995).

El humus tiene efecto sobre las propiedades físicas y químicas y biológicas del suelo, forma agregados y estabilidad estructural, se une a las arcillas para formar complejos de cambio; favorece la infiltración del agua y la retención, disminuye la erosión y aumenta el intercambio gaseoso e iónico. El efecto sobre las propiedades químicas del suelo se refiere al aumento de la capacidad de intercambio, al aumento de las reservas de nutrimentos para el aprovechamiento de la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo. En cuanto a su efecto en las propiedades biológicas, los microorganismos del suelo favorecen los procesos de mineralización de los elementos esenciales, componentes de la cubierta vegetal que sirve de alimento a una multitud de microorganismos, y cuyos nutrimentos liberados favorecen el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado (Julca *et al.*, 2006).

Los abonos orgánicos son muy importantes por su contenido de materia orgánica; todos los suelos requieren la aportación de esta como portadora de energía degradable y nutrimentos para los microorganismos del suelo. Los residuos orgánicos contienen

todos los elementos esenciales que requieren las plantas para su desarrollo en formas orgánicas complejas las cuales al ser transformadas por la descomposición y mineralización, se convierten en formas aprovechables, constituyéndose en valiosos auxiliares de los fertilizantes químicos coadyuvando en la nutrición y optimizando el aprovechamiento de los mismos (Cruz, 1986).

La aplicación de materia orgánica al suelo aumenta la degradación de fumigantes como el 1,3-D, bromuro de metilo y el isotiocinato de metilo y disminuye la volatilización de estos tres pesticidas, cuando las enmiendas son aplicadas en los primeros 5 cm del suelo (Gan *et al.*, 1998).

2.2 Los Microorganismos del Suelo

Se ha demostrado que los microorganismos del suelo interactúan con las raíces de las plantas. La interacción entre suelo, raíces y microorganismos da lugar al desarrollo de un ambiente dinámico conocido como rizósfera, donde una variedad de formas microbianas pueden desarrollarse activamente, y en equilibrio (Pedraza *et al.*, 2010).

La rizósfera constituye uno de los puntos más importantes en la respuesta de cualquier cultivo, debido a que en ella se concentra una gran actividad metabólica con intercambio de nutrimentos entre la atmósfera y el suelo, la cual es mediada por la acción e interacción de plantas y microorganismos del suelo (Pedraza *et al.*, 2010).

Los microorganismos de la rizósfera contribuyen al crecimiento vegetal aumentando la disponibilidad de nutrimentos limitantes como el fósforo y el nitrógeno. La composición y actividad de la comunidad bacteriana que está fuertemente influenciada por el tipo de vegetación presente (Thomson *et al.*, 2010; Semmartin *et al.*, 2010).

Una característica biológica relacionada con la disponibilidad nutrimental es la actividad de los microorganismos responsables de la transformación de los residuos orgánicos y, en general, de la degradación de otros compuestos orgánicos al suelo. Si dicha actividad es baja, significa que la transformación de los residuos orgánicos ocurre a baja velocidad, esto es, que la tasa de liberación de nutrimentos esenciales

contenidos en esos residuos, llega a la solución de suelo lentamente, lo que pudiese afectar la nutrición del cultivo (Etchevers y Padilla, 2012).

La mayoría de los estudios microbiológicos están centrados a las bacterias y hongos, de acuerdo a sus funciones, estos los han agrupado en tres grupos, a). Degradadores de residuos orgánicos, b). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal, y c). Hongos y bacterias antagonistas de patógenos de raíces. Algunos de estos microorganismos, los endofíticos, colonizan internamente los tejidos radicales y desarrollan actividades dentro de la planta que influyen en la promoción del crecimiento y protección vegetal. Algunos de ellos son simbioses mutualistas de las plantas, entre los más importantes se incluyen a las bacterias fijadoras de nitrógeno y a los hongos micorrizicos (Barea *et al.*, 2005).

Las micorrizas contribuyen en la nutrición de las plantas, particularmente en la absorción de fósforo. Esta relación simbiótica mejora también la captación de agua y otros nutrimentos, mejora la sanidad vegetal de manera biótica y abiótica, disminuyendo el estrés. Además coadyuva en la mejora de la estructura del suelo a través de la formación de microagregados, necesarios para un buen estado nutricional e hídrico del suelo (Barea *et al.*, 2005).

El micelio de los hongos micorrizicos, forma parte fundamental en la formación de los agregados del suelo, ya que estos excretan glomalinas, una glicoproteína producida por las hifas externas de los hongos, por su naturaleza de tipo pegamento hidrofóbico, el cual permite la estabilización de los agregados (Miller y Jastrow, 2000).

2.2.1 Uso de Microorganismos benéficos en el suelo como una biotecnología sustentable

Uno de los puntos importantes que permite alcanzar mayor competitividad en el mercado mundial de los productos agrícolas es la reducción del uso de agroquímicos. El costo de estos productos depende en gran medida del precio del petróleo, especialmente el fertilizante nitrogenado. Pero su uso puede tener impactos negativos sobre el ambiente. La sustitución parcial o total de agroquímicos por productos

orgánicos, es una alternativa valiosa para lograr una producción sostenible, para poder conquistar mercados demandantes de dichos productos (Pedraza *et al.*, 2010).

La utilización de microorganismos benéficos ha tenido una amplia difusión en los últimos años, debido a su efecto positivo sobre el rendimiento de muchos cultivos en distintas situaciones y a la factibilidad de permitir desarrollar una agricultura orgánica (Caballero-Mellano, 2004; García y Monzón 2008).

Los inoculantes microbianos representan una nueva tecnología conducente a mejorar la productividad del sistema agropecuario a largo plazo. Puede ser considerada como una agricultura sustentable, frente al aumento abusivo en la utilización de pesticidas y fertilizantes en estos últimos tiempos (Maddonni *et al.*, 2004).

La incorporación de microorganismos, es una alternativa que permite lograr aumentos en el crecimiento radical, favoreciendo la exploración radical, infiltración del agua y absorción de nutrimentos limitantes para los cultivos. De esta manera se reducen los procesos de pérdida de nutrimentos, se amortigua el estrés hídrico y se mantiene la tasa de crecimiento activo del cultivo por su capacidad fotosintética eficiente (Díaz-Zorita y Fernández, 2008).

2.3 Fertilización orgánica

Los abonos orgánicos fueron los primeros fertilizantes utilizados por el hombre para favorecer el crecimiento de las plantas y aumentar las cosechas (Salgado y Núñez, 2010).

El valor de la materia orgánica que contiene el suelo ofrece grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (Castellanos, 1980). Los abonos orgánicos: estiércoles, compostas y residuos de cosecha se han recomendado para aquellos suelos que se han sometido a una agricultura intensiva, con el fin de mejorar y mantener las propiedades de la estructura del suelo (Castellanos, 1982).

La agricultura orgánica es un movimiento que promueve la conversión de los desechos orgánicos del hogar, la agricultura, mercados, desasolve de drenes, entre otros, en un material relativamente estable llamado humus, mediante un proceso de

descomposición aeróbica bajo condiciones controladas, particularmente de humedad y aireación. En este proceso participan bacterias, hongos y actinomicetos. La calidad del humus dependerá de la materia orgánica utilizada en su producción, en cuanto a características físicas, químicas y microbiológicas, por lo que mientras mayor sea la diversidad de elementos que dan origen a dicho humus mayor será su contenido de nutrimentos y de microorganismos (Felix *et al.*, 2008).

Por el origen y la naturaleza de los abonos orgánicos, estos pueden clasificarse como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de los abonos orgánicos.

Fertilizantes orgánicos	Estiércoles
	Compostas
	Esquilmos
	Abonos verdes
	Desechos de plantas agroindustriales
	Aguas negras y derivados
	Efluentes de biodigestores
Biofertilizantes	Inoculantes a base de <i>Rhizobium</i> , <i>Azospirillum</i> , micorriza, etc.

Fuente: IFDC-UNIDO, 1998.

2.3.1 Ventajas de la fertilización orgánica

Los abonos orgánicos pueden ser una alternativa viable al uso de fertilizantes químicos para proveer el Nitrógeno requerido por un cultivo. Sin embargo, la capacidad o potencial de un abono para proveer Nitrógeno debe ser conocida para evitar deficiencias o excesos durante la adición del abono al suelo (Cerrato *et al.*, 2007).

Los abonos orgánicos muestran ventajas sobre los fertilizantes químicos e influyen de la manera siguiente:

- Reduce el uso de los fertilizantes químicos e incrementa las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio a mediano y largo plazo (Ochoa *et al.*, 2000).

- Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo a través de su efecto sobre la estructura (granulación y estabilidad de agregados), porosidad y la densidad aparente (Salgado y Núñez, 2010).
- Incrementa las poblaciones de microorganismos presentes en el suelo (Porta, 1999).
- Mejora las condiciones físicas del suelo, en particular la estructura, considerada el factor principal que favorece la fertilidad y productividad de los suelos (Castellanos, 2000).
- Libera CO₂ que propicia la solubilización de nutrientes (Salgado y Núñez, 2010).
- Estabiliza el pH e incrementa la capacidad de intercambio catiónico y degradación de residuos de plaguicidas (Soto y Muños, 2002).
- Abastece de carbono orgánico como fuente de energía a la flora microbiana e incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo, protegiendo los nutrientes de la lixiviación (Salgado y Núñez, 2010).
- Mejora la fertilidad del suelo, observándose un mejor porcentaje de germinación de semillas mejor adaptación de plántulas al trasplantarlas, y reduce algunas enfermedades inducidas por hongos fitopatógenos (Felix *et al.*, 2008).

Sin embargo, es necesario guardar ciertos criterios de calidad para escoger los abonos orgánicos, ya que pueden acarrear problemas de enfermedades, toxicidad de elementos metálicos como Cu o As (Pastrana, 1999).

Los residuos orgánicos más comunes en México y sus contenidos nutrimentales, los cuales tienen potencial para ser utilizados como abonos orgánicos se muestran en el Cuadro 2.

Algunos componentes importantes que hay que determinar en los abonos orgánicos son los siguientes (Salgado y Núñez, 2010).

- Contenido de materia seca.
- Relación C/N.

- Contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio y otros nutrimentos.
- Humus total y lábil.
- Contenido de materiales potencialmente tóxicos.

Cuadro 2. Contenido de nutrientes mayores en subproductos orgánicos con base húmeda (70% H₂O en promedio).

Subproductos	Nutrimentos (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Estiércol de bovinos	0.50	0.36	0.73
Estiércol de equinos	0.46	0.28	0.67
Estiércol de porcinos	0.70	0.71	0.61
Estiércol de caprinos	0.67	0.21	0.63
Estiércol de ovinos	0.56	0.32	0.86
Estiércol de aves	0.87	1.84	0.81
Bagazo de caña de azúcar	0.46	0.14	0.18
Cachaza	0.87	1.11	0.18
Pulpa de café	0.40	0.19	0.15
Fracción orgánica de basuras	0.50	0.25	0.22
Aguas negras	0.001	0.0005	0.001

Fuente: Cruz (1986).

2.3.2 Desventaja de la fertilización orgánica

Las principales desventajas del uso de materiales orgánicos son los cambios físicos y químicos que ocurren en el suelo como la retención de humedad, decremento de la materia orgánica y nivel de fertilidad del suelo. Los fertilizantes minerales liberan nutrimentos que son absorbidos rápidamente por la planta que los nutrimentos de abonos orgánicos, por lo que se recomienda un sistema combinado de químico con orgánico, que se refleja en una mejor respuesta del cultivo al abonamiento. Los abonos orgánicos favorecen un cambio gradual del restablecimiento del equilibrio natural. Esto ocurrirá poco a poco ya que el suelo restituirá los procesos de formación y degradación

de la materia orgánica hasta llegar a un nivel donde solo requerirá una mínima cantidad de nutrimentos para mantener dicha actividad.

El periodo de transición para que un suelo sea orgánico oscila entre los 3 y 5 años, dependiendo del manejo previo del suelo y de los factores del medio ambiente, este proceso puede tardar hasta 8 años (Félix *et al.*, 2008).

2.4 El compostaje

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas. Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y adecuado para las plantas. El compostaje se da por procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno aprovechan el nitrógeno y el carbono presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost (Román *et al.*, 2013).

La calidad del compost está relacionada con los materiales que la originan y con el proceso de elaboración, esta variación será tanto en contenido de nutrimentos como de microorganismos y con base a estas variaciones se modificará el uso potencial del compost maduro (Félix *et al.*, 2008).

El compost mantiene la actividad biológica de la tierra, aportando los elementos nutritivos más importantes y oligoelementos al suelo. Además, gracias a los procesos microbianos, permite movilizar los oligoelementos bloqueados en el suelo y ponerlos a disposición de las plantas. Los microorganismos y las enzimas sirven de catalizadores para la absorción de una gran parte de los elementos nutritivos (Ruíz, 2009).

2.4.1 Mineralización de la materia orgánica

La humificación de la materia orgánica es un proceso importante de la fertilidad del suelo, no solo mientras van mejorando las características físico-químicas del mismo (Vaughan y Ord, 1985), sino también ejerciendo efectos directos en el crecimiento de la planta y metabolismo, como se ha demostrado en diferentes investigaciones.

La relación C/N es un factor muy importante en el proceso de mineralización de un abono orgánico, ya que los contenidos de C y N son esenciales para la vida y la reproducción de los microorganismos. Los microorganismos necesitan C como fuente de energía y junto con el N intervienen en la síntesis de proteínas y estructuras celulares. Si la relación C/N excede de 25, entonces los microorganismos degradarán la materia orgánica si hay suficiente N disponible para ellos en el medio, si no, causaran una inmovilización temporal de N que existe en el suelo. Cuando la relación C/N es baja, por ejemplo menor que 20, la materia orgánica es degradada fácilmente por la suficiencia de nitrógeno. Cuando la relación C/N es alta (>30) el N del suelo es inmovilizado por los microorganismos, aunque al morir estos, el N se libera a la solución del suelo. De cualquier manera se compite con el desarrollo de la planta al inicio de la mineralización. Cuando la relación C/N se encuentra entre 20 y 25 ambos procesos, mineralización e inmovilización estarán ocurriendo aunque en general terminarán liberando N al llegar a un equilibrio determinado (Stevenson, 1986; Epstein, 1997; Foth y Ellis, 1997).

Determinar la relación C/N de un abono orgánico, es de gran ayuda, para saber si podemos esperar mineralización o inmovilización del N contenido en el abono orgánico. Conocer esta relación, permite cuantificar la cantidad de N que será liberado o inmovilizado. Por ello es necesario determinar otras características de un abono orgánico como el potencial de mineralización de N y la tasa de mineralización de N. El potencial de mineralización de N, es la cantidad máxima de N disponible que podrá ser liberada de un abono, después de su degradación por los microorganismos del suelo (Stevenson, 1986).

El potencial de mineralización de N, se establece a partir de la mineralización acumulada de N. Que se define como la cantidad de N disponible, liberada después de un periodo de tiempo específico (Foth y Ellis, 1997). La tasa de mineralización de N es la cantidad de N que se libera por una unidad de tiempo específica. La tasa de mineralización es igual a la velocidad o grado de mineralización, y se interpreta como el porcentaje de N que se mineraliza y que permite conocer cuánto está siendo liberado en forma disponible en periodos específicos de tiempo (Epstein, 1997). El rango óptimo

en la relación C/N del material por compostear debe ser menor de 30, de acuerdo a lo que se muestra en el Cuadro 3, ya que las mayores pérdidas se presentan cuando la relación C/N es más alta.

Cuadro 3. Relación C/N y pérdida de nitrógeno en estiércol de ave pre-compostado.

Experimento	C/N	Pérdida de nitrógeno (%)	pH final
1	42:1	4.5	8.8
2	31:1	7.9	8.9
3	35:1	5.9	8.4
4	28:1	7.2	8.9
5	38:1	3.8	8.9
6	43:1	2.7	8.8
7	25:1	3.8	8.7
8	27:1	3.3	8.8

Fuente: Galler y Davey (1971).

Los dos componentes importantes en la materia orgánica son los ácidos húmicos y los fúlvicos; las sustancias húmicas elevan la capacidad de intercambio catiónico de los suelos al formar complejos de arcilla-húmus, forman también complejos fosfo-húmicos manteniendo el fósforo en un estado asimilable por la planta (Guerrero, 1996; Chen *et al.*, 2001).

Las sustancias húmicas tienen un efecto sobre la nutrición vegetal por su acción a nivel de membrana celular, además afectan la permeabilidad de las membranas. Las altas concentraciones (1500 mg L⁻¹) de dichas sustancias también afectan las membranas celulares (Visser, 1986).

2.4.2 Ventajas del compost

El objetivo de la producción de compost es doble. Por un lado, la de recibir la fracción orgánica de los residuos, y por otro, producir humus con el que se puede enriquecer los suelos (Ruíz, 2009).

Las mayores ventajas del uso del compost como aporte de materia orgánica es que en él se encuentran presentes nutrimentos tanto disponibles como de lenta liberación (Román *et al.*, 2013). Este material también regula la humedad, absorbe el agua como una esponja y la libera lentamente, hace que los suelos se calienten bien por su color oscuro y puede almacenar bien el calor debido a su estructura porosa (Ruíz, 2009).

El compost también tiene efectos positivos en el suelo, tales como: incremento de la fauna del suelo, reducción de microorganismos patógenos (Bulluck *et al.*, 2002), decremento en la densidad aparente, estabilización del pH, incremento de la capacidad de intercambio catiónico, disminución del lavado de nitratos, eliminación de patógenos y semillas de malezas por las altas temperaturas generadas por la actividad microbiana y degradación de residuos de plaguicidas (Stamatiadis *et al.*, 1999; Pickering *et al.*, 1998).

Cortez (2010), con el propósito de estudiar los cambios químicos y bioquímicos de la materia orgánica en los suelos con residuos orgánicos (vermicompost y estiércol) y fertilización química (nitrato de amonio), demostró que los enmendantes orgánicos aumentaron la biomasa microbiana del suelo, mientras que la fertilización mineral causó una gran alteración en la materia orgánica del suelo.

2.4.3 Desventaja del compost

El compost que no esté maduro ocasiona que los microorganismos del compost pueden secuestrar nutrimentos, especialmente nitrógeno del suelo con efectos perjudiciales sobre el crecimiento de los cultivos (Ruiz, 2009).

Por otro lado, el compost comparado con los fertilizantes químicos, son fuentes diluidas de NPK, por lo que con el uso conjunto del mismo y del fertilizante químico se pueden obtener mejores beneficios (Ruiz, 2009).

La estabilidad o madurez de compost es a menudo determinada por parámetros fisicoquímicos y biológicos, tales como la temperatura y relación C/N (Iglesias-Jiménez y García Pérez, 1992).

Un compost inmaduro produce sustancias fitotóxicas como el amoníaco, ácidos orgánicos que queman los cultivos o bien causan daños en la fisiología de la planta afectando su crecimiento (Ruíz, 2009).

2.5 Natur- Abono como Biofertilizante

El Natur-abono es un biofertilizante, mejorador y recuperador de suelos, de origen natural y orgánico, el cual se obtiene a partir del manejo integral de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos, utilizando inóculos de microorganismos antagónicos que ayudan al control del ataque de microorganismos patógenos. La aplicación de Natur-abono en diferentes cultivos ha incrementado el rendimiento considerablemente, disminuyendo el consumo de agua, fertilizantes y agroquímicos y mejorando los suelos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Arias y Chacón, 2010).

En el Cuadro 4 se observan los diferentes grupos de microorganismos presentes en Natur-abono.

Cuadro 4. Microorganismos presentes en Natur-abono.

Grupo	Especie
Bacterias	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus thuringiensis</i> , <i>Bacillus polymixa</i> , <i>Azotobacter sp</i> ,
Hongos	<i>Beauveria bassiana</i> , <i>Glomus intraradices</i> , <i>Paecilomyces fumosoroseus</i> , <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Trichoderma virens</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i> .

Fuente: Laboratorio A&L de México (2010).

El contenido mineral del Natur-abono es relativamente rico en nutrimentos y, además se vuelve más atractivo debido a que está enriquecido con microorganismos benéficos que ayudan a lograr un biocontrol sobre plagas y enfermedades, disminuyendo su incidencia sobre las plantas. Más aun el Natur-abono beneficia la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno y la oxidación del fósforo, contribuyendo también a la degradación de la materia orgánica. Con la idea de que estos microorganismos se conviertan en hospederos permanentes de los suelos (Arias y Chacón, 2010).

Al mejorar las condiciones generales del suelo y con el uso constante del Natur-abono, se logra una disminución gradual en la aplicación de insumos de síntesis química, reduciendo los costos de fertilización y como consecuencia aumentando la rentabilidad (Escobar, 2010).

El buen manejo del Natur-abono permite reducir las pérdidas de nutrientes. Sin embargo, existen otras características como el porcentaje de cenizas, relación carbono-nitrógeno (C/N) y pH, que determinan la velocidad en que los microorganismos puedan degradar la materia orgánica y que los nutrientes puedan ser absorbidos por las plantas. En el Cuadro 5 se observan las características físico-químicas del Natur-abono.

Cuadro 5. Características físico químicas de Natur-abono.

Elemento	Resultado análisis
Nitrógeno	0.94%
Fósforo	0.69%
Potasio	0.83%
Calcio	3.69%
Magnesio	0.27%
Sodio	0.41%
Zinc	371 ppm
Boro	15 ppm
Azufre	2660 ppm
Hierro	239 ppm
Manganeso	209 ppm
pH	7,7
Humedad	12.60%
Materia orgánica	13.60%
Materia seca	87,40%
Relación C/N	13/1
Capacidad de retención de humedad	1.25 veces su peso

Fuente: Laboratorio A&L de México (2010).

2.5.1 Resultados de investigación con Natur-Abono

Franco (2011), al aplicar 1 ton ha⁻¹ de Natur-abono más 50% de la fórmula de fertilización química (160 N–80 P₂O₅–30 K₂O) en maíz amarillo genotipo Impacto, obtuvo un rendimiento de 10.3 ton ha⁻¹ comparado con el testigo que fue de 8.6 ton ha⁻¹, en el ciclo primavera-verano con riego por gravedad en Miacatlán, Mor.

En Alpuyecá, Morelos, Ocampo (2011) evaluó la aplicación de 300 kg de Natur-abono, 150 kg de Sulfato de Amonio, 22 kg de Superfosfato de Calcio Triple y 50 kg de Cloruro de Potasio, obteniendo 2 ton ha⁻¹ más que el testigo.

2.6 Fertilización química

El uso de los fertilizantes se ha vuelto indispensable debido a la baja fertilidad de la mayoría de los suelos para obtener altos rendimientos y la buena calidad que se esperan en la actualidad, por lo que hacer un uso adecuado de ellos es importante para una agricultura sostenible (Sagarpa, 2011).

Los suelos contienen todos los elementos esenciales que la planta requiere para su desarrollo y producción; sin embargo, en la mayoría de los casos, no los contienen en las cantidades suficientes para obtener rendimientos altos y de buena calidad, por lo que es indispensable agregar los nutrimentos en cantidades requeridas por medio de fertilizantes (Salgado y Núñez, 2010).

Sin el uso de los fertilizantes, los rendimientos serán cada vez más bajos, debido al empobrecimiento paulatino del suelo por la extracción de los nutrimentos en las cosechas. El uso adecuado del fertilizante requiere conocer sus características, su efecto en las plantas y en el suelo (Sagarpa, 2011).

Cuando se aplican los fertilizantes adecuados suele presentarse una considerable mejora, tanto en la calidad como la cantidad de las cosechas. La transición de una agricultura de subsistencia a una de tipo mecanizada moderna, viene acompañada por un incremento en el uso de fertilizantes, tanto químicos como orgánicos; generalmente el tipo de abono no tiene mucha importancia, siempre y cuando proporcione los nutrimentos que las plantas necesiten (Felix *et al.*, 2008).

El uso eficiente de fertilizantes es una estrategia muy importante para reducir el costo unitario de producción de alimentos. El productor que emplea fertilizantes de manera eficiente, posee una gran ventaja competitiva sobre los que no lo hacen. Gran parte de esa ventaja, se transfiere al consumidor en forma de precios más bajos de los productos. En México y en muchos otros países, los precios de los alimentos serían mucho más elevados si no se utilizaran fertilizantes (Salgado y Núñez, 2010).

2.6.1 Ventajas de la fertilización química

La elevada concentración de nutrimentos, la baja humedad y la solubilidad de los fertilizantes son consideradas unas de las principales ventajas. La solubilidad de los fertilizantes químicos hacen que los nutrimentos estén rápidamente disponibles para las plantas, siendo rápidamente asimilables, aumentando el rendimientos de los cultivos (Vieira, 1999).

El contenido de nutrimentos en los fertilizantes químicos son más fácilmente conocidos, fijables y controlables. Además, se manejan más rápido y, así tener en los suelos concentraciones adecuadas de nutrimentos que respondan a necesidades específicas de acuerdo al cultivo (Conley *et al.*, 2009).

Arias y Chacón en el 2010 al evaluar el efecto de la fertilización química, orgánica y combinada, en el cultivo de papa variedad granola, obtuvieron los mejores rendimientos al aplicar los tratamientos con NPK+Mg (38.39 ton ha⁻¹), seguido del tratamiento NPK+ B más 5 ton ha⁻¹ de gallinaza.

2.6.2 Desventaja de la fertilización química

El uso de fertilizantes en la agricultura también puede contribuir a la contaminación ambiental. La síntesis de fertilizantes nitrogenados contribuye significativamente a la producción de gases de efecto invernadero (GEI) y los fertilizantes nitrogenados son la mayor fuente de emisiones de GEI en la agricultura de labranza (Galloway *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2008). El uso de fertilizantes (N y P) en la agricultura es uno de los principales contribuyentes a los procesos de eutrofización en las aguas, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (Conley *et al.*, 2009). Por tanto, es evidente

que los fertilizantes deberían utilizarse con precaución, y que la producción de cultivos para alimentos en el futuro con seguridad requiere del manejo de la fertilización sostenible, que podría incluir herramientas más sofisticadas, mejores prácticas agronómicas y sistemas de cultivo con menos fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes en dosis altas puede ocasionar un riesgo de asimilación de nutrientes (N y P) en el suelo y agua, causando la lixiviación contaminando los mantos freáticos y pozos de agua potable. Para reducir pérdidas de fertilizante en el suelo, es necesario realizar un adecuado manejo en la aplicación de fertilizantes químicos (Schenkeveld *et al.*, 2008).

Los fertilizantes nitrogenados son los de mayor incidencia en la contaminación del suelo, atmósfera, acuíferos superficiales y subterráneos (Peña-Cabriales *et al.*, 2001).

En los últimos años, el aumento de los costos de fertilizantes nitrogenados y las emisiones de gases de efecto invernadero han llevado a una mayor atención en el uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados debido a la contaminación que estos generan (Smith *et al.*, 2008).

Los fertilizantes químicos son preparados a base de materias primas importadas y sus procesamientos son altamente dependientes de energía. Tanto las materias primas como los productos terminados están en manos de unas pocas empresas a nivel mundial, lo que crea una dependencia un tanto riesgosa para los agricultores y en última instancia para el país que basa su desarrollo agrícola en estos insumos (Martínez, 2002).

Los fertilizantes cuando se suministran a través de fertirrigación pueden provocar salinidad en los sustratos, debido a la presencia de fertilizantes insolubles como los de liberación lenta, por otra parte algunos pueden perderse por lixiviación.

Martínez *et al.*, (2002), mencionan que utilizando fertilizantes orgánicos en la producción intensiva de hortalizas han obtenido igual o mejor calidad de productos que un sistema de siembra convencional.

Pedraza *et al.*, (2010) estudiaron el efecto de la aplicación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos sobre el crecimiento y la acumulación del nitrato en lechuga. Determinaron que altas aplicaciones de compost de estiércol de oveja son necesarias para alcanzar el crecimiento de la lechuga que se obtiene con fertilizantes inorgánicos sobre condiciones óptimas climáticas y que las dosis elevadas de fertilizantes inorgánicos deben ser evitadas puesto que ciertas condiciones de clima producen acumulaciones de nitratos en las hojas y un rendimiento marginal. La disponibilidad residual de N, P y K en el suelo se obtuvo con el abono de ovejas, mientras que por el contrario la disponibilidad residual fue nula con la fertilización química aplicada.

Álvarez *et al.*, (2011), al evaluar la aplicación de fertilizante químico y orgánico, no obtuvieron diferencia significativa entre tratamientos, los tratamientos fueron: I. Fertilización química (fuente: urea y superfosfato de calcio triple; II. Fertilización química (fuente: triple 17); III. Abono orgánico (fuente líquida con base en guano de murciélago), y IV. Testigo. Las fuentes de fertilización no influyeron en la fenología, productividad y características físico-químicas del cultivo de cebolla en condiciones ambientales de Apatzingán, Michoacán.

2.7 Fertilización órgano-mineral

La incorporación de fertilizantes y abonos orgánicos (estiércoles, desechos agrícolas verdes y secos, compostas, vermicompostas, etc.) con fines de biorremediación de suelos agrícolas, es una práctica que ha recuperado importancia en los últimos años a nivel mundial (Nieto *et al.*, 2002).

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 de 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 de microorganismos para que las formas orgánicas de los nutrientes pasen a formas minerales que son las utilizadas en la biomasa de la planta (Martínez, 2002).

Olivares *et al.*, (2012), al evaluar el contenido de macro y micronutrientes tanto en tejido foliar de lechuga como en el suelo, los resultados mostraron que el contenido

nutricional de N foliar en plantas de lechuga tratadas con compost y lombricompost, fue similar respecto a la aportación equivalente del fertilizante nitrogenado inorgánico. Se observaron diferencias en el contenido de Ca, Mg, Zn y Mn en las diferentes técnicas de fertilización. Se obtuvieron los mejores contenidos de materia orgánica y en la concentración de macronutrientes en los suelos con fertilización a base de lombricomposta y composta.

López (2001), al evaluar, en Gómez Palacio, Durango, el efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en maíz, registró rendimientos de 6.05 t ha^{-1} al utilizar la fórmula 120-40-00 de N-P-K; el abono orgánico de composta (5.66 t ha^{-1}) mostró similares resultados que la fertilización inorgánica. Los abonos orgánicos, principalmente composta con dosis de 20 a 30 t ha^{-1} , son una alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica.

El Campo Experimental de CIBNOR ubicado en Comitán en la Península de Baja California Sur Nieto *et al.*, (2002), al evaluar la aplicación de tres dosis de composta ($25, 50$ y 100 t ha^{-1}) en el cultivo de chile, con el fin de determinar la dosis para obtener una mejor producción, obtuvo la mayor cantidad de frutos comercializables con la dosis de 25 t ha^{-1} de composta, mientras que las dosis de 50 y 100 t ha^{-1} se recomiendan para mejorar las características físicas del suelo.

En un trabajo sobre el uso de fertilizantes minerales (fosfato diamónico, urea y cloruro de potasio) en conjunto con gallinaza y cal dolomítica, en un diseño factorial, los resultados obtenidos mostraron que el rendimiento de grano (14% de humedad) de maíz fue cercano a 2.5 t ha^{-1} para el testigo, y aumentó 3.9 t ha^{-1} cuando se aplicó fertilizante inorgánico y a 9.1 t ha^{-1} cuando se aplicó gallinaza; por otra parte, cuando se aplicó gallinaza y fertilizante mineral el rendimiento fue casi de 10 t ha^{-1} lo cual sugiere que la gallinaza cubrió prácticamente todas las necesidades nutrimentales del maíz (Pool-Novelo *et al.*, 2000).

En Atlixco Puebla, en condiciones de invernadero en el cultivo de Fresa cv. Festival, se evaluó la fertilización química y orgánica de diferentes productos comerciales. Al utilizar la fórmula 100-35-35 de N-P-K más reguladores de crecimiento (20 L ha^{-1}) y 50

g/maceta de vermicompost, se obtuvieron los mayores valores para peso total de frutos (189.42 g/semana). La fertilización orgánico-mineral mostro los mejores resultados, en comparación con la fertilización orgánica (157.44 g/semana) (Romero-Romano *et al.*, 2012).

2.8 El Cultivo de Maíz

En México, centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), existen 59 razas de acuerdo con la clasificación más reciente basada en características morfológicas (Sánchez *et al.*, 2000).

Desde el punto de vista alimentario, político, económico y social, el maíz es el cultivo más importante del país (SIAP, 2013). Basta con decir que el consumo *per cápita* de maíz en México es aproximadamente 10 veces mayor que el de Estados Unidos (Serna-Saldivar y Amaya-Guerra, 2008). Este cereal cubre poco más de la mitad de la superficie agrícola sembrada, con aproximadamente 7.5 millones de hectáreas (SIAP, 2013), principalmente en las zonas sub-húmeda tropical, templada húmeda y sub-húmeda (Mera-Ovando y Mapes-Sánchez, 2009).

De la superficie sembrada con maíz, la mayor parte (80%) es de temporal (SIAP, 2013), fundamentalmente a cargo de más de 2 millones de productores a pequeña escala, quienes lo siembran sobre todo para autoconsumo (Mera-Ovando y Mapes-Sánchez, 2009). Más de la mitad de la producción nacional de maíz proviene de este sistema, el cual es conocido como de subsistencia porque contribuye significativamente a la seguridad alimentaria de los estados rurales más pobres (Turrent *et al.*, 2012).

Los maíces mejorados (híbridos) son los que satisfacen en buena medida las necesidades de la agroindustria mexicana, y ocupan tan solo 20% de la superficie total sembrada con maíz (SIAP, 2013). Se producen principalmente bajo sistemas de riego en el noroeste de México, en donde se registra un uso notable de agroquímicos (Mera-Ovando y Mapes-Sánchez, 2009).

Las variedades mejoradas han mostrado ser notablemente superiores a las nativas, pero los pequeños productores suelen preferir sus variedades locales. Esto se debe a

ciertas ventajas que se han identificado en las razas nativas, que en su mayoría se siembran en terrenos más limitativos (Turrent *et al.*, 2012).

2.8.1 Situación de la producción de maíz en los Valles Altos Centrales de México

En la región centro del país que considera al Distrito Federal y los estados de México, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y Querétaro; se cosecha anualmente una superficie con maíz del orden de 1.8 millones de hectáreas (23% de la superficie cosechada a nivel nacional). El 56% de la superficie cosechada con maíz en la zona centro, corresponde a los estratos de Valles Altos. De esta superficie, el 59% (643.6 mil hectáreas) son de temporal limitado y el 41% (440.1 mil hectáreas), corresponden a temporal benigno y de riego. El 46% (495.9 mil hectáreas) de la superficie se localiza en el Estado de México y junto con el estado de Puebla representan el 79% del maíz cosechado en los Valles Altos (Calles *et al.*, 2003).

El rendimiento de Maíz en el 2013 en el Estado de México fue alrededor de 3.46 t ha⁻¹ (SIAP, 2013), lo que se considera bajo en relación al potencial biológico de la región en función de las condiciones climáticas y de productividad de los suelos en la zona. Los rendimientos se explican en parte, por un relativo bajo uso de tecnología moderna. De hecho, una de las demandas reiteradas de los productores ha sido la actualización de los paquetes tecnológicos y la regionalización de la tecnología, pues de acuerdo a encuestas realizadas, solo el 20% de los productores reciben algún tipo de asistencia técnica para la producción es la comercialización; el 26% utiliza semilla mejorada, ya sea del tipo de variedad, de polinización libre o de híbridos y el 100% aplica fertilizantes inorgánicos; el 90% de los productores manifiesta que la cosecha la hacen de forma manual y es la labor que demanda más mano de obra de todo el proceso productivo; solo el 15% de los productores manifestaron obtener alguna ganancia en los años buenos y el 85% revelo tener pérdidas con respecto a lo invertido en el año. También se encontró que el 52% de los productores tienen rendimientos inferiores a la media de 3.46 t ha⁻¹ (Calles *et al.*, 2003).

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

De acuerdo con la problemática existente en el manejo de la fertilización química y orgánica se generaron los siguientes objetivos e hipótesis:

3.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de la fertilización orgánica (Natur-abono) y química sobre el rendimiento de Maíz (hibrido Promesa) en condiciones de temporal.

3.1.1 Objetivo específico

- Evaluar la respuesta de maíz a la incorporación de fertilizante orgánico y químico bajo dos niveles de fertilización nitrogenada 120 y 80 kg de N ha⁻¹.

3.2 Hipótesis general

- Con Natur-abono se obtiene igual o mejor rendimiento de maíz que un sistema tradicional de fertilización mineral.

3.2.1 Hipótesis específicas

- El rendimiento del cultivo es mayor cuando se incorpora Natur-abono.
- La incorporación de Natur-abono favorece el aprovechamiento de nutrimentos permitiendo un mejor aprovechamiento del fertilizante químico.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del área de estudio

La investigación se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México kilómetro 36.5 de la carretera México-Texcoco. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 28' 54'' de latitud norte y el meridiano 98° 54' 15" de longitud oeste, a una altura de 2251 msnm. Presenta una temperatura media anual de 15.9°C y una precipitación pluvial de 686 mm.

4.2 Características del suelo y fertilizante Natur-abono

Se realizaron análisis químicos y físicos para la caracterización del suelo. Los resultados muestran que el suelo es de textura franca con un contenido de arena, limo y arcilla de 32, 36 y 19% (Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, 2014), respectivamente. La materia orgánica es de 2.71%, densidad aparente de 0.93 g/cm³, pH de 8.3 y conductividad eléctrica de 0.90 ds/m, con un contenido de N-NO₃ de 11 ppm, que se considera muy bajo desde el punto de vista de fertilidad del suelo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Características físicas y químicas del suelo del lote 5B del Campo Experimental Montecillo, Montecillo Edo. de México.

ELEMENTO	RESULTADO ANALISIS (ppm)	ELEMENTO	RESULTADO ANALISIS (ppm)
Nitrógeno (N-NO ₃)	11.9	Hierro (Fe)	7.77
Fósforo (P-Bray)	17.6	Manganeso (Mn)	9.59
Potasio (K)	564	Cobre (Cu)	1.13
Calcio (Ca)	4374	pH (1:2 agua)	8.3
Magnesio (Mg)	1604	Materia orgánica	2.71%
Sodio (Na)	237	Nt	0.136
Zinc (Zn)	1.3	Dap	0.93 g/cm ³
Boro (B)	0.93	CE	0.9 ds/m
Azúfre (S)	37.9		

Fuente: Laboratorio Fertilab (2013).

El Natur-abono es un Biofertilizante, mejorador y recuperador de suelos, de origen natural y 100% orgánico, el cual se obtuvo de la planta de Nicolás Romero Edo. de México, conocida como Biosistemas Sustentables Sapi S.C. Este material se obtiene de los residuos sólidos urbanos domiciliarios, utilizando inóculos microbianos benéficos y antagonistas. Además, mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo que promueve una buena estructura y aumenta la retención de agua, porosidad, drenaje, aireación, que combinado se obtiene una mejor densidad aparente. Las características anteriores favorecen un ambiente propicio para el desarrollo radical y un mejor desarrollo del cultivo. Este material tiene un alto contenido de hierro y manganeso, con 239 y 209.7 ppm respectivamente (Cuadro 7). Tiene un contenido de materia orgánica de 13.6% y una relación C/N de 13/1. Aporta el 0.94% de nitrógeno total, que a través de su mineralización libera el nitrógeno aprovechable de la planta.

Cuadro 7. Características físicas y químicas del fertilizante Natur-abono reportado por la planta procesadora de residuos urbanos, Nicolás Romero, Edo. de México.

ELEMENTO	RESULTADO ANALISIS	ELEMENTO	RESULTADO ANÁLISIS
Nitrógeno (N)	0.94%	Hierro (Fe)	239 ppm
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.69%	Manganeso (Mn)	209.7 ppm
Potasio (K ₂ O)	0.83%	pH	7,7
Calcio (Ca)	3.69%	Humedad	12.60%
Magnesio (Mg)	0.27%	Materia orgánica	13.60%
Sodio (Na)	0.41%	Materia seca	87,4%
Zinc (Zn)	371 ppm	Ceniza	86.4%
Boro (B)	15 ppm	Relación C/N	13/1
Azufre (S)	2660 ppm	Retención humedad	1.2 veces su peso

Fuente: Laboratorio A&L de México (2010).

4.3 Semilla de Maíz

El material genético utilizado en la investigación es el híbrido CP-Promesa proporcionada por el programa de producción de semillas y mejoramiento genético del

Colegio de Postgraduados; esta semilla se caracteriza por ser un maíz con potencial productivo para grano y forraje, resistente al acame, tolerante a la enfermedad conocida como carbón de la espiga. Su rendimiento promedio bajo condiciones de manejo adecuado es de 7 ton ha⁻¹ de grano al 14% de humedad.

4.4 Factor de estudio y tratamientos

El factor principal que se estudió en este trabajo fue la dosis de Nitrógeno de fertilizante químico (urea) y Natur-abono en las proporciones que se indican en el Cuadro 8, para dos condiciones de fertilización nitrogenada 120 y 80 kg N ha⁻¹ manteniendo constantes las dosis de fósforo y potasio en ambos niveles de nitrógeno.

Cuadro 8. Factores y tratamientos en estudio.

Tratamiento	Factores	
	Fertilizante (%)	Nitrógeno kg ha ⁻¹
1	100 FQ*+ 0 NA**	120
2	75 FQ + 25 NA	120
3	50 FQ + 50 NA	120
4	25 FQ + 75 NA	120
5	0 FQ + 100 NA	120
6	100 FQ + 0 NA	80
7	75 FQ + 25 NA	80
8	50 FQ + 50 NA	80
9	25 FQ + 75 NA	80
10	0 FO + 100 NA	80

*FQ=Fertilizante químico; **NA= Natur-abono.

4.5 Parcela útil, unidad y diseño experimental

El experimento se llevó a cabo bajo dos niveles de nitrógeno, 120 y 80 kg N ha⁻¹ repetidos cuatro veces. Estos niveles de nitrógeno se combinaron utilizando como fuente de nitrógeno el fertilizante químico y Natur-abono, en las siguientes proporciones 100, 75, 50, 25 y 0; de tal manera que el tratamiento de 100% de Nitrógeno (120 kg N

ha⁻¹) correspondió al fertilizante químico, mientras que el tratamiento 0% de fertilizante químico llevó 100% de Natur-abono (120 kg N ha⁻¹ de Natur-abono), y lo mismo se hizo para la dosis de 80 kg N ha⁻¹. Por lo tanto, el diseño de tratamientos fue un factorial completo de 5x2 igual a 10 tratamientos repetidos 4 veces como se indica en el Cuadro 9. La distribución de estos tratamientos en el campo se hizo como se observa en la Figura 1 para facilitar la fertilización química y orgánica. La unidad experimental estuvo conformada por 6 surcos de 80 cm de ancho (4.8 m) por 9 m de largo, cuya superficie es de 43.2 m² con una distancia entre matas de dos plantas a cada 40 cm sobre el surco (Figura 1).

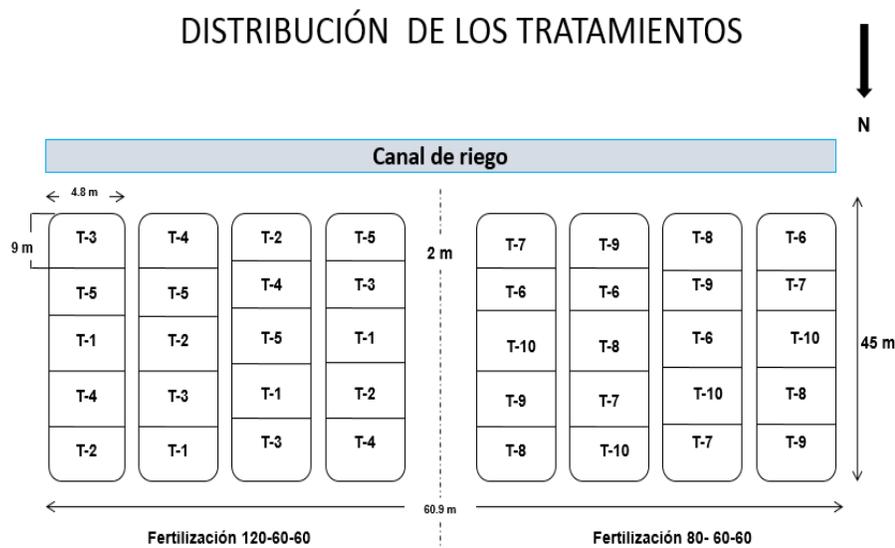


Figura 1. Distribución de los tratamientos

De la parcela útil se seleccionaron todas las plantas en los cuatro surcos centrales para, número de mazorcas y peso de forraje e índice de cosecha. Para el rendimiento de grano se tomaron en cuenta el total de plantas de la unidad experimental (6 surcos).

4.6 Labores agronómicas

4.6.1 Preparación del terreno

Se realizó el barbecho de forma mecanizada con arado de disco, el tres de Abril de 2013, con el fin de incorporar los residuos de la cosecha anterior. El rastreo se realizó el 20 de Abril de 2013, de forma mecanizada con el propósito de destruir los terrones y eliminar malezas. El surcado y los canales de riego se realizaron el primero de Mayo del mismo año, de igual forma, mecanizada.

4.6.2 Fertilización del cultivo

La fertilización se hizo de forma manual, tanto de los tratamientos como de la aplicación de 60-60 kg de P_2O_5 y K_2O ha^{-1} , respectivamente como dosis constante. Como fuente de nitrógeno se utilizó urea al 46% y Natur-abono al 1%, súper fosfato de calcio triple como fuente de P_2O_5 al 46% y cloruro de potasio como fuente de K_2O al 60%. La aplicación del fertilizante orgánico y químico se llevó a cabo al momento de la siembra, en banda y a lo largo del surco. La siembra se hizo con una humedad aprovechable de 75% después de un riego pesado con anterioridad.

Se realizó el cálculo correspondiente para obtener los kg de fertilizante químico, dividiendo las unidades de la fórmula de fertilización entre el porcentaje del fertilizante y multiplicando por 100, de esta forma se obtuvieron los kilogramos por hectárea de cada una de las fuentes de fertilización. Para P y K los kilogramos por hectárea fueron los mismos para todos los tratamientos, el único que vario fue el nitrógeno de acuerdo a las proporciones de los tratamientos, como se observa en el Cuadro 9.

En el caso de Natur-abono el cálculo se hizo con base a su contenido de humedad (13%), tasa de mineralización (0.35%) y porcentaje de N (1%) de acuerdo con la siguiente fórmula (**Comunicación verbal:** Antonio Trinidad Santos, 2015).

$$kg \text{ Natur} - abono = \frac{Dosis \text{ de nitrógeno}}{Min. X N(100 - CH)}$$

En donde: Min = % de mineralización por unidad de peso

N= % de nitrógeno por unidad de peso

CH= Contenido de humedad (%) del Natur-abono por unidad de peso

Ejemplo: para el tratamiento T5 (0% de Fertilizante químico + 100% de abono orgánico), el cálculo se realizó de la siguiente manera: 120 kg de N ha⁻¹ (formula de fertilización) se divide entre la tasa de mineralización (0.35%) para obtener 342 kg de N orgánico; estos 342 kg se dividen entre el porcentaje de N del abono orgánico (1%) y se multiplica por 100, de esta manera se obtienen 34 285 kg de abono orgánico, después se corrige el peso del abono por la humedad (13%), (34 285 *100)/ 87 peso seco = 39 408 kg de Natur-abono a utilizar para dicha dosis. De la misma forma se obtuvo el resto de las cantidades de Natur-abono para cada una de las proporciones Cuadro 9.

$$kg \text{ Natur} - abono = \frac{120}{0.35 \times 0.01 \times 0.87} = 39\,408 \text{ kg de Natur} - abono$$

A partir de los valores obtenidos de urea, superfosfato de calcio triple, cloruro de potasio y Natur-abono por hectárea, se calcularon para el tamaño de la parcela experimental (43.2 m²).

Cuadro 9. Dosis de fertilizante mineral (kg ha⁻¹) y abono orgánico (t ha⁻¹).

Trat	Proporciones	Urea	Super triple	Cloruro de potasio	Natur- Abono
	Kg ha ⁻¹			(t ha ⁻¹)
120 N - 60 P₂O₅- 60 K₂O					
1	100% FQ + 0 NA	261	130	100	0
2	75% FQ + 25 NA	195	130	100	9.9
3	50% FQ + 50 NA	130	130	100	19.7
4	25% FQ + 75 NA	65	130	100	29.6
5	0% FQ + 100 NA	0	130	100	39.4
80 N - 60 P₂O₅ - 60 K₂O					
6	100% FQ + 0 NA	174	130	100	0
7	75% FQ + 25 NA	130	130	100	6.6
8	50% FQ + 50 NA	86	130	100	13.1
9	25% FQ + 75 NA	43	130	100	19.7
10	0% FQ + 100 NA	0	130	100	26.3

Trat= Tratamiento; FQ= Fertilizante químico; NA= Natur-abono

4.6.3 Siembra

La siembra se llevó a cabo el siete de Mayo del 2013, con una densidad de siembra de 62,500 pl ha⁻¹; la siembra se realizó manualmente con una pala recta, depositando tres semillas por golpe. A los 40 días después de la siembra se hizo el aclareo dejando dos plantas por mata.

4.6.4 Riego

El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de temporal, con riegos complementarios en los momentos necesarios del cultivo (en la preparación del terreno, siembra y durante el desarrollo del cultivo cuando la humedad aprovechable bajaba a menos de 40%).

4.6.5 Control de malezas, plagas y enfermedades

El control de malezas se realizó manualmente con ayuda de azadones, entre los surcos y sobre el surco. El primer deshierbe se hizo a los 70 días después de la siembra (dds) y el segundo a los 105 dds. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron aplicaciones de productos para prevenir y controlar enfermedades y algunas plagas, en forma foliar (Cuadro 10).

Cuadro 10. Bactericidas, fungicidas e insecticidas aplicados para el control de plagas y enfermedades.

Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis L ⁻¹ de agua	Dds	Control
CAPTAN ULTRA 50 WP	Captan	1.5 g	24, 56, 72, 96, 120,136	Carbón de la espiga (<i>Sporisorium reilianum</i>). Pulgón (<i>Rhopalosiphum</i> <i>maidis</i>), Gusano
DISPARO	Clorpirifos + permetrina	1 ml	24, 56, 96, 120,136, 156	cogollorero (<i>Spodoptera</i> <i>frugiperda</i>).

4.6.6 Cosecha

La cosecha se llevó a cabo manualmente en un solo corte a los 213 días después de la siembra, cuando la mazorca estaba seca.

4.7 Variables de respuesta

Al final del ciclo de cultivo se evaluaron las variables que se describen a continuación:

4.7.1 Rendimiento

Las plantas se cosecharon a madurez fisiológica, esto es a 213 dds. Para ello cada planta fue cortada en el punto de inserción con la raíz (cuello) y se separó la mazorca y se pesó con una balanza de reloj por parcela. El rastrojo se pesó y luego se tomaron submuestras que se pesaron, y después se secaron en una estufa a una temperatura de 70°C, hasta peso constante. A partir del peso fresco y seco de la submuestra se determinó el peso seco total del rastrojo de cada parcela.

A las mazorcas cosechadas en cada unidad experimental se les removió el olote y el grano los cuales se pesaron por separado. El grano se ajustó a 14 % de humedad y se determinó el peso por parcela, y posteriormente por hectárea.

También se estimó el índice de cosecha (IC) con la formula $IC = (RE/RB + RE) \times 100$, donde RE= Rendimiento económico (grano) y RB= Rendimiento biológico (rastrojo + grano). El rendimiento de grano de la parcela se transformó a rendimiento por hectárea.

4.8 Análisis de datos

4.8.1 Análisis estadístico SAS (Statistical Analysis System)

El rendimiento de grano, rastrojo, número de mazorcas e índice de cosecha se analizaron usando el sistema SAS (Sistema para Windows 9.0). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias, mediante la prueba de tukey ($\alpha = 0.05$) para detectar diferencias entre tratamientos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Observaciones durante el desarrollo del cultivo

En el transcurso de la investigación se identificaron algunos factores que pudieron influir en el desarrollo y rendimiento del cultivo:

Durante el ciclo de cultivo incidieron algunas plagas principalmente gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* W.) y pulgón (*Rhopalosiphum maidis* Fitch.), que se controlaron oportunamente.

Se registraron lluvias con granizo el día primero de agosto de 2013, que dejó las hojas de maíz rajadas y quebradas, desgarradas lo cual no permitió que se pudiera determinar el área foliar, que era una de las variables de interés en la respuesta de los tratamientos de fertilización química y abono orgánico. Alesandrelli *et al.*, (2009), al evaluar el rajado de hojas y quebrado de nervaduras en el cultivo de maíz en diferentes etapas fenológicas, encontraron que los tratamientos en los cuales no se llevó a cabo el quebrado de las nervaduras fueron superiores los rendimientos hasta en un 12% en comparación con los tratamientos con quebrado de nervaduras y rajado de hojas. Sin embargo en este estudio no se pudo evaluar el efecto del granizo en el rendimiento del cultivo.

5.2 Variables de Rendimiento

5.2.1 Número de Mazorcas

Un factor determinante en la productividad y rentabilidad del cultivo es la cantidad de mazorcas por unidad de superficie, en virtud de que hay una relación directa entre el número de mazorcas y el rendimiento de grano. Se observó una respuesta clara a la aplicación de 120 kg de N ha⁻¹ en comparación a la dosis de 80 kg de N ha⁻¹ (Figura 2).

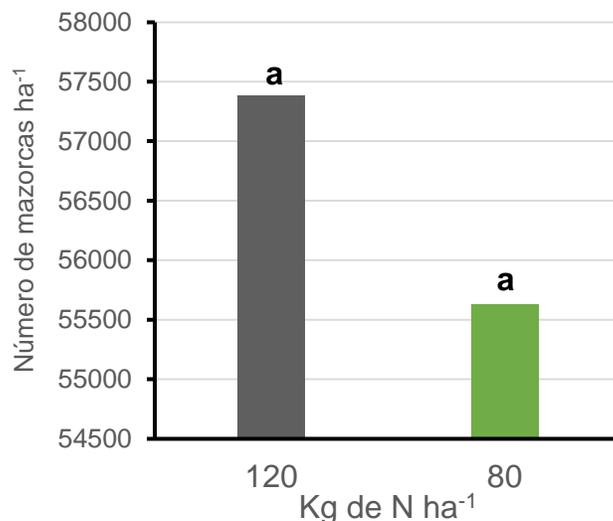


Figura 2. Respuesta de maíz en número de mazorcas a la aplicación de dos niveles de nitrógeno de Natur-abono y fertilizante químico.

En la dosis de 120 kg de N ha⁻¹ se obtuvo en promedio 57,380 mazorcas ha⁻¹, mientras que en la dosis de 80 kg de N ha⁻¹ se obtuvo un promedio de 55,625 mazorcas ha⁻¹. Sin embargo, esta diferencia no fue significativa estadísticamente (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza del número total de mazorcas ha⁻¹ en respuesta a la fertilización química y abono orgánico (Natur-abono).

FUENTE	DF	I SS	CM	Fcal	Pr>F
REP	3	27473626.60	9157875.53	0.26	0.8518 ^{NS}
A	1	30814291.60	30814291.60	0.88	0.3557 ^{NS}
B	4	34543679.15	8635919.79	0.25	0.9087 ^{NS}
A*B	4	13962938.65	3490734.66	0.10	0.9815 ^{NS}

REP= Repetición; A= Niveles de fertilización; B= Proporciones de Natur-abono; *= Significativo ($P > 0.01$ y $P \leq 0.01$); NS= No significativo ($P > 0.05$); DF= Grados de libertad; Fcal= F tabulada; Pr>F= F calculada.

A pesar de que no hubo diferencias significativas entre dosis de nitrógeno y niveles de Natur-abono en la aplicación de niveles crecientes de Natur-abono y disminución de nitrógeno del fertilizante químico, se observó una respuesta clara en el incremento de número de mazorcas al sustituir fertilizante químico por Natur-abono (Figura 3).

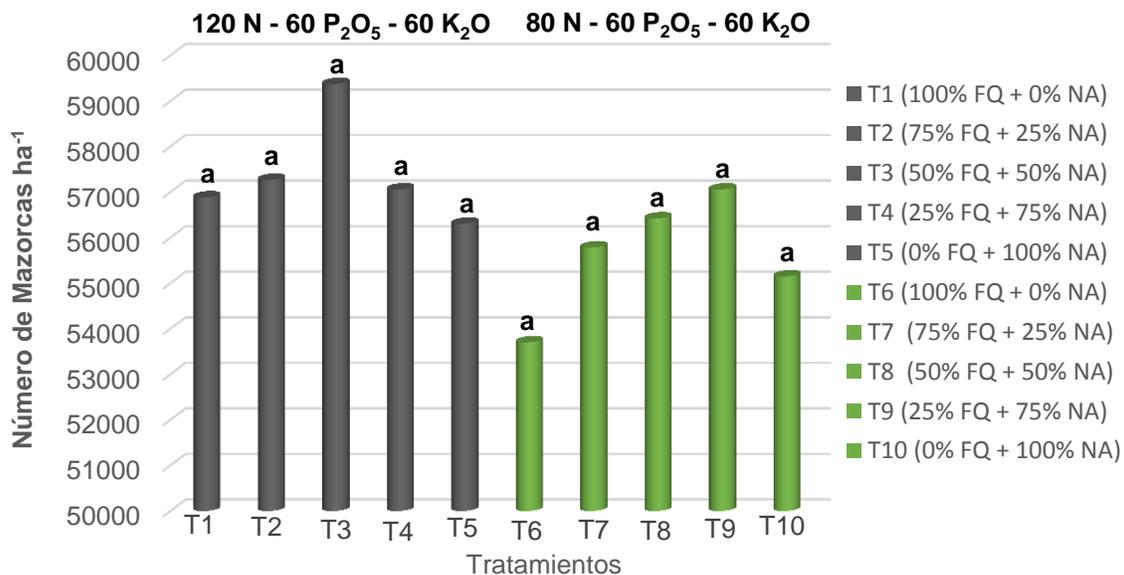


Figura 3. Respuesta de maíz en número de mazorcas ha⁻¹, bajo diferentes porcentajes de aplicación de Natur-abono y fertilizante químico. (FQ= Fertilizante químico; NA=Natur-abono).

En la dosis de 120 kg de N ha⁻¹, el tratamiento T3 (50% de fertilizante químico + 50% de Natur-abono) fue el que rindió la mayor cantidad de mazorcas ha⁻¹ (59, 375). En la dosis de 80 kg de N ha⁻¹, la adición de niveles crecientes de Natur-abono también incremento el número de mazorcas por hectárea. El tratamiento T9 (25% de fertilizante químico + 75% de Natur-abono) fue el que registró el mayor número de mazorcas (57,060). Esta misma respuesta se observó con los tratamientos T1 (100% de fertilizante químico + 0% de Natur-abono) y T6 (100% de fertilizante químico + 0% de Natur-abono). El tratamiento T1 corresponde a la dosis de 120 kg de N ha⁻¹ con solo fertilizante químico y el tratamiento T6 a la de 80 kg de N ha⁻¹. En el tratamiento T1 se obtuvieron 56,886 mazorcas ha⁻¹ mientras que el tratamiento T6 solo se obtuvieron 53,704 mazorcas. Estos dos tratamientos muestran claramente la respuesta del cultivo a la aplicación de 120 y 80 kg de N ha⁻¹, que corrobora los rendimientos medios obtenidos de todos los tratamientos correspondientes a la dosis de 120 kg de N ha⁻¹ y 80 kg de N ha⁻¹ (Figura 2). Es necesario hacer resaltar que con la dosis de 120 kg de N ha⁻¹ el mayor número de mazorcas se logró con los tratamientos T3 (50% de fertilizante químico + 50% de Natur-abono) y, en la dosis de 80 kg de N ha⁻¹ con el tratamiento T9

(25% de fertilizante químico + 75% de Natur-abono). Esto indica que el Natur-abono se está expresando mejor en la respuesta del maíz cuando el suelo es más pobre que cuando es de mayor fertilidad, para esta variable en particular.

El menor número de mazorcas en la dosis alta de fertilización (120 kg de N ha⁻¹) se registró con el tratamiento T5 (0% de fertilizante químico + 100% de Natur-abono). Lo que muestra, que a partir de 50% de aplicación de Natur-abono hubo un efecto negativo en la variable número de mazorcas, posiblemente por una inmovilización de nutrimentos disponibles del suelo por la actividad microbiana (Stevenson, 1986).

Con la dosis de 120 kg de N ha⁻¹ el mayor número de mazorcas (58 367) se obtuvo al aplicar 18.05 t ha⁻¹ de Natur-abono (Figura 4), mientras que la dosis de 80 kg de N ha⁻¹, al aplicar 15.22 t ha⁻¹ se obtuvo el mayor número con 56 862 mazorcas (Figura 5).

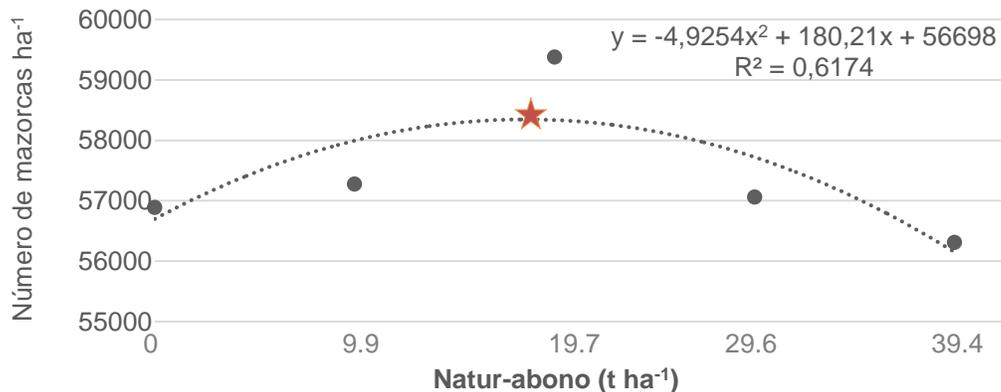


Figura 4. Respuesta de maíz en número de mazorcas por aplicación de Natur-abono y fertilizante químico para la dosis de 120 kg de N ha⁻¹.

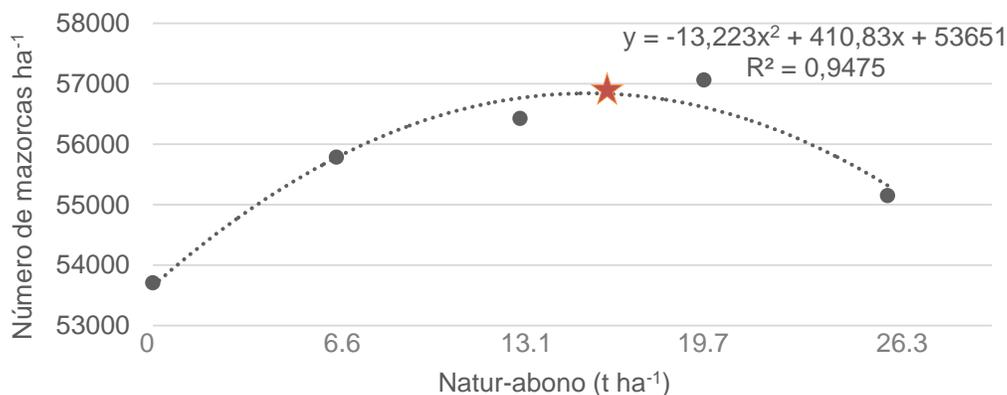


Figura 5. Respuesta de maíz en número de mazorcas por aplicación de Natur-abono y fertilizante químico para la dosis de 80 kg de N ha⁻¹.

Álvarez *et al.* (2010), obtuvo el mayor número de mazorcas al aplicar una dosis de 120-60 de NP con fertilizante inorgánico más 6 t ha⁻¹ de lombricompost. Esto indica que el Natur-abono se está expresando mejor en la dosis de 120 kg que en la dosis de 80 kg de N ha⁻¹.

5.2.2 Rendimiento de grano

El análisis de varianza muestra que no hubo diferencias significativas entre los porcentajes de aplicación de Natur-abono, pero si hubo una diferencia significativa entre los dos niveles de aplicación de nitrógeno sobre el rendimiento de grano (Cuadro 12). En la dosis de 120 kg de N ha⁻¹ se obtuvo en promedio 8.4 t ha⁻¹, mientras que en la dosis de 80 kg de N ha⁻¹ se obtuvo un promedio de 8 t ha⁻¹ (Figura 6). El tratamiento T3, que corresponde a la dosis alta (120 kg de N ha⁻¹) con 50% de fertilizante químico y 50% de Natur-abono, presentó el mayor rendimiento de grano con 8.6 t ha⁻¹, superando a los demás tratamientos (Figura 7). En el caso de la aplicación de 80 kg de N ha⁻¹, también el mayor rendimiento se obtuvo con 50% de fertilizante químico y 50% de Natur abono (8.3 t ha⁻¹). Arriba de este porcentaje de Natur-abono (75 y 100%) se observó un efecto negativo, posiblemente debido a la inmovilización del nitrógeno por la dosis alta de aplicación de abono orgánico que favoreció la proliferación y actividad de microorganismos del suelo (Aranda, 2002) (Figura 7).

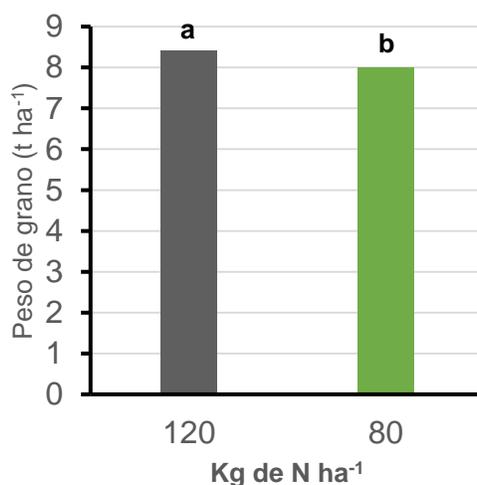


Figura 6. Respuesta de maíz en grano (t ha⁻¹) por aplicación de Natur-abono y fertilizante químico a dos niveles de nitrógeno.

Cuadro 12. Análisis de varianza del peso seco de grano de maíz (t ha⁻¹) en respuesta a la fertilización química y abono orgánico (Natur-abono).

FUENTE	DF	I SS	CM	Fcal	Pr>F
REP	3	0.2112	0.0704	0.39	0.7646 ^{NS}
A	1	1.3176	1.3176	7.20	0.0123 ^{**}
B	4	0.7444	0.1861	1.02	0.4159 ^{NS}
A*B	4	0.1863	0.0465	0.25	0.9043 ^{NS}

REP= Repetición; A= Niveles de fertilización; B= Proporciones de Natur-abono; *= Significativo ($P > 0.01$ y $P \leq 0.05$); **= Altamente significativo ($P \leq 0.01$); NS= No significativo ($P > 0.05$); DF= Grados de libertad; Fcal= F tabulada; Pr>F= F calculada.

También se observa que los tratamientos con Natur-abono en sus diferentes proporciones superaron a los tratamientos con fertilizante químico solo para ambas dosis de fertilización (120 y 80 kg de N ha⁻¹). Es importante señalar que en ambas dosis de fertilización 120 y 80 kg de N ha⁻¹, los tratamientos arriba del 50% de Natur-abono presentaron un decremento en el rendimiento, que debe estar relacionado al proceso de mineralización e inmovilización del nitrógeno (Thomson *et al.*, 2010). Sin embargo, dichos tratamientos (T4, T5, T9 y T10) (Figura 7) superaron a los tratamientos que llevaron solo fertilizante químico (T1 y T6). Este incremento en el rendimiento de maíz en grano con Natur-abono se atribuye al contenido de macro y micro nutrientes esenciales, así como la presencia de microorganismos benéficos que contiene el

fertilizante orgánico Natur-abono, favoreciendo el crecimiento radical y el rendimiento de maíz en grano, como lo señalaron Álvarez *et al.*, (2011).

El efecto benéfico que se presenta al aplicar Natur-abono sobre el peso de grano, es atribuible a la liberación rápida de elementos esenciales al tener una relación C/N de 13/1. Bajo esta relación C/N, el nitrógeno liberado favorece el desarrollo de los microorganismos que aprovechan lo necesario de este elemento para su actividad fisiológica en aplicaciones elevadas, dejando solo una parte de N mineralizado a disposición de la nutrición de las plantas (Estrada, 1998; Thomson *et al.*, 2010). De ahí que al incorporar mayor cantidad de abono orgánico, dentro de ciertos límites, el rendimiento se incrementa considerablemente, pero arriba de este nivel se pueden observar decrementos de rendimiento.

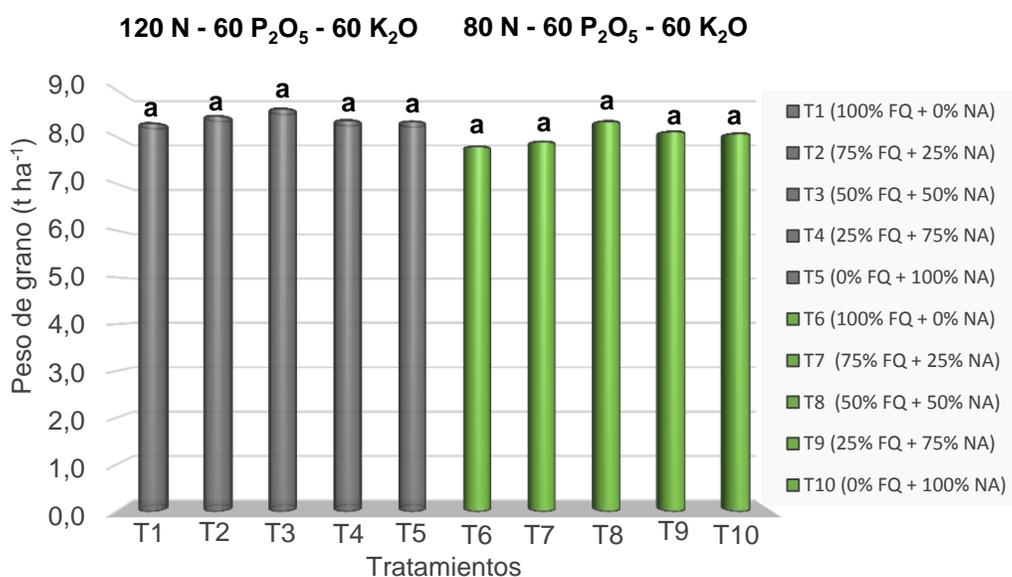


Figura 7. Efecto del Natur-abono y fertilizante químico en el rendimiento de maíz en grano (t ha⁻¹). FQ= Fertilizante químico; NA= Natur-abono.

En la dosis de 120 kg de N ha⁻¹, el mayor rendimiento de maíz en grano (8.6 t ha⁻¹) se obtuvo al aplicar 18.75 t ha⁻¹ de Natur-abono (Figura 8)

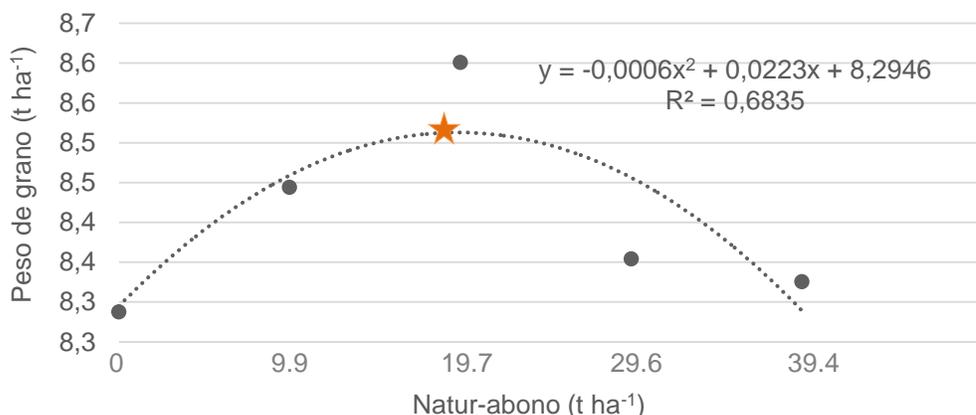


Figura 8. Nivel óptimo de Natur-abono para la dosis de 120 kg de N ha⁻¹ en el rendimiento de maíz en grano (t ha⁻¹).

En la dosis de fertilización nitrogenada de 80 kg de N ha⁻¹, se obtuvo mayor rendimiento en grano con 8.21 t ha⁻¹ al aplicar 16.96 t ha⁻¹ de Natur-abono (Figura 9).

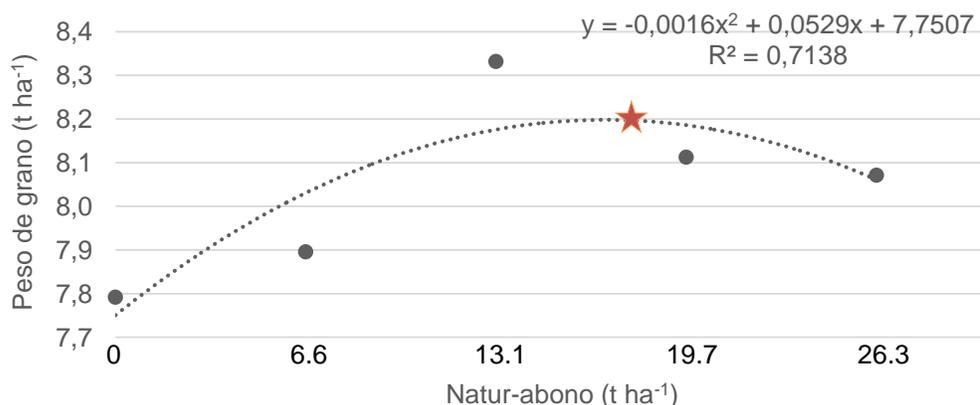


Figura 9. Nivel óptimo de Natur-abono para la dosis de 80 kg de N ha⁻¹ en el rendimiento de maíz en grano (t ha⁻¹).

El efecto positivo en el rendimiento de grano por aplicación de Natur-abono puede relacionarse con el aporte de NPK que se da a través del tiempo por mineralización de formas orgánicas a mineral disponible rápidamente. Además el Natur-abono posee otros efectos benéficos como la disponibilidad de micronutrientes y organismos inhibidores de fitopatógenos del suelo (antagonistas) (Escobar, 2010).

En Gómez Palacios, Dgo. se evaluarón cuatro abonos orgánicos cuyas dosis fueron las siguientes: 0, 20, 30 y 40 t ha⁻¹ para bovino, caprino y compost, 4, 8 y 12 t ha⁻¹ para gallinaza, incluyendo un testigo con fertilización inorgánica de 120-40-00 de NPK. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, el mejor rendimiento de grano se obtuvo con la fertilización inorgánica (120-40-00) (6.05 t ha⁻¹). Respecto a los abonos orgánicos, el compost mostró similares resultados (5.66 t ha⁻¹), señalando que el compost con dosis de 20 y 30 t ha⁻¹, es una alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica (López *et al.*, 2001).

En general, los abonos orgánicos aportan materia orgánica, nutrimentos que favorecen el desarrollo de cultivos y mejoran también las características físicas químicas y biológicas del suelo. El contenido de N de las composts es de 1 a 3% y la tasa de mineralización del nitrógeno es cercana al 1.5% en las zonas templadas y frías, y solamente una fracción del N y otros nutrimentos están disponibles en el primer año después de su aplicación (Sikora y Enkiri, 2001); es decir, tienen un efecto residual mucho mayor que los fertilizantes químicos que en general son altamente solubles.

Para satisfacer las necesidades nutrimentales de maíz, se requieren altas cantidades de abonos orgánicos, por ello un enfoque alterno es el uso de abonos orgánicos complementados con la fertilización química (López *et al.*, 2001).

5.2.3 Peso seco de rastrojo

En el rendimiento seco de rastrojo no se observaron diferencias significativas (Cuadro 13) entre la dosis alta de fertilización (120 kg de N ha⁻¹) y la dosis baja (80 kg de N ha⁻¹). Es importante señalar que al igual que las variables anteriores se obtuvo un promedio del peso seco de rastrojo de 11 t ha⁻¹ para la dosis de 120 kg de N ha⁻¹, mientras que para la dosis baja (80 kg de N ha⁻¹) se obtuvo un promedio de 11.6 t ha⁻¹ (Figura 10). Al parecer, estos valores de rendimiento de rastrojo seco en relación con el rendimiento de grano son comunes encontrar en la mayoría de los cultivos de maíz.

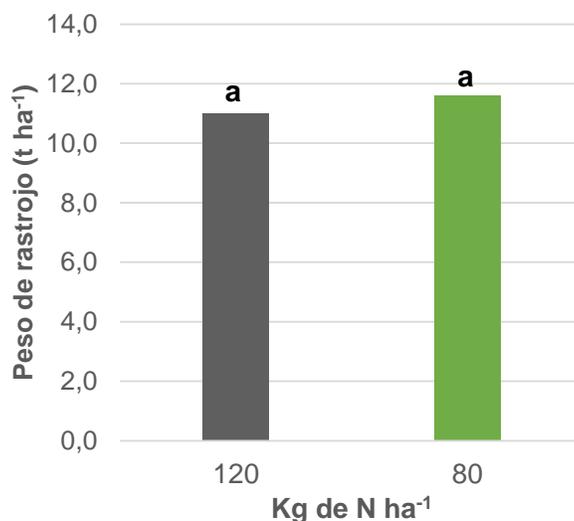


Figura 10. Peso de rastrojo seco de maíz ($t\ ha^{-1}$) en respuesta a la dosis de nitrógeno del fertilizante químico y Natur-abono.

El mayor rendimiento de rastrojo seco se obtuvo con la dosis de $120\ kg\ de\ N\ ha^{-1}$. El tratamiento T4 (25% de fertilizante químico + 75% de Natur-abono), correspondiente a la dosis alta de fertilización, registró un peso total de $11.4\ t\ ha^{-1}$, mientras que la dosis de $80\ kg\ de\ N\ ha^{-1}$ el tratamiento que obtuvo el mayor rendimiento de rastrojo seco con $12.1\ t\ ha^{-1}$ fue el tratamiento T8 (50% de fertilizante químico + 50% de Natur-abono).

Cuadro 13. Análisis de varianza de peso seco de rastrojo ha^{-1} en respuesta a la fertilización química y Natur-abono.

FUENTE	DF	I SS	CM	Fcal	PR>F
REP	3	4.4753	1.4917	0.46	0.7114 ^{NS}
A	1	3.7088	3.7088	1.15	0.2935 ^{NS}
B	4	15.9434	3.9858	1.23	0.3201 ^{NS}
A*B	4	0.1292	0.0323	0.01	0.9998 ^{NS}

REP= Repetición; A= Niveles de fertilización; B= Proporciones de Natur-abono; *= Significativo ($P > 0.01$ y $P \leq 0.01$); NS= No significativo ($P > 0.05$); DF= Grados de libertad; Fcal= F tabulada; Pr>F= F calculada.

Los tratamientos con sólo fertilizante químico T1 (100% de fertilizante químico + 0% de Natur-abono) y T6 (100% de fertilizante químico + 0% de Natur-abono) obtuvieron los rendimientos más bajos con: $9.69\ t\ ha^{-1}$ y $10.4\ t\ ha^{-1}$, respectivamente. Flores *et al.*, (2012), al evaluar la producción de forraje en alfalfa en respuesta a la aplicación de fertilizante orgánico ($28\ Mg\ ha^{-1}$ de estiércol ovino), inorgánico ($0.434\ Mg\ ha^{-1}$ de superfosfato triple) y su combinación ($14\ Mg\ ha^{-1}$ de estiércol ovino y $0.217\ Mg\ ha^{-1}$ de

superfosfato de calcio triple), encontraron que la aplicación combinada de los fertilizantes favoreció una mayor producción de forraje. Esta información ayuda inferir que el Natur-abono influyó con mayor eficiencia en la dosis baja de nitrógeno que en la dosis alta. Esto posiblemente se debe a que hubo una reducción en la inmovilización de nitrógeno a dosis de 80 kg de N ha⁻¹, concordando con lo observado por Félix *et al.*, (2008), quienes mencionan, que las dosis altas de abono orgánico favorecen la proliferación de microorganismos del suelo que inmovilizan el nitrógeno y otros nutrientes disponibles para las plantas. Es posible que las aplicaciones altas de Natur-abono en esté estudio estén favoreciendo la población microbiana que inmovilizan los nutrientes, abatiendo por consecuencia el rendimiento de rastrojo (Figura 11).

García y Monzón (2008) indican que la lombricompost tiene influencia en la absorción de nutrientes y producción de peso seco en plantas de maíz. Sin embargo, la lombricompost al utilizarla en combinación con fertilizante químico resulta en mayores rendimientos que aplicando solo lombricompost como fuente de nutrientes. Los nutrientes contenidos en la materia orgánica se hallan en forma orgánica por lo que no son directamente asimilables por las plantas (Porta *et al.*, 1999).

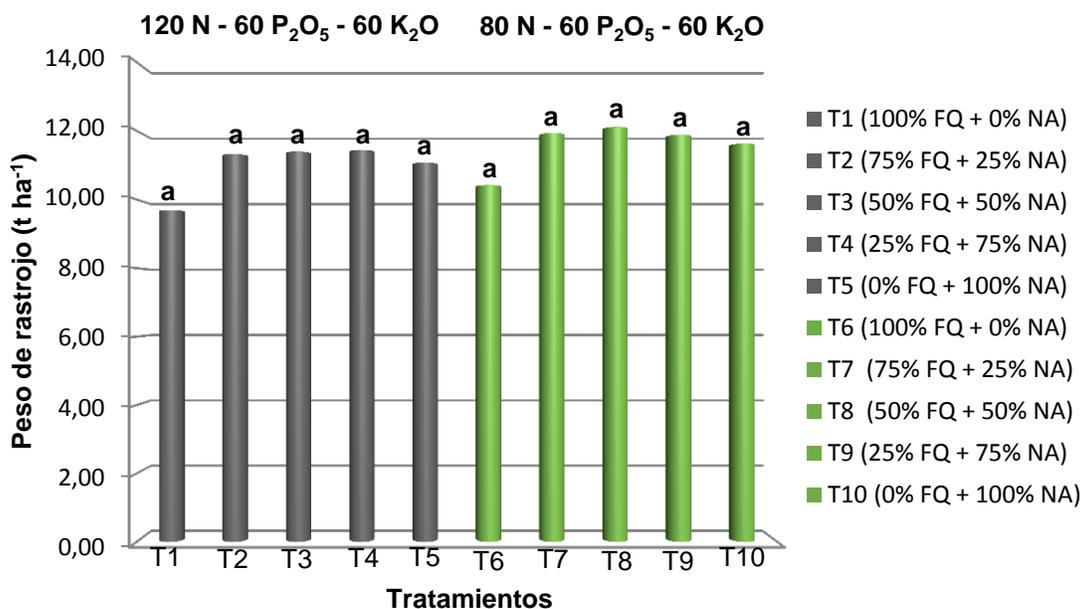


Figura 11. Efecto del Natur-abono y fertilizante químico en el rendimiento de rastrojo (t ha⁻¹). FQ= Fertilizante químico; NA=Natur-abono.

Para la dosis de 120 kg de N ha⁻¹, el mayor peso de rastrojo se obtuvo al incorporar 23.82 t ha⁻¹ de Natur-abono, generando un rendimiento de rastrojo de 11.62 t ha⁻¹ (Figura 12), mientras que para la dosis de 80 kg de N ha⁻¹ el mayor peso de rastrojo (12.20 t ha⁻¹) se obtuvo al incorporar 15.66 t ha⁻¹ de Natur-abono (Figura 13).

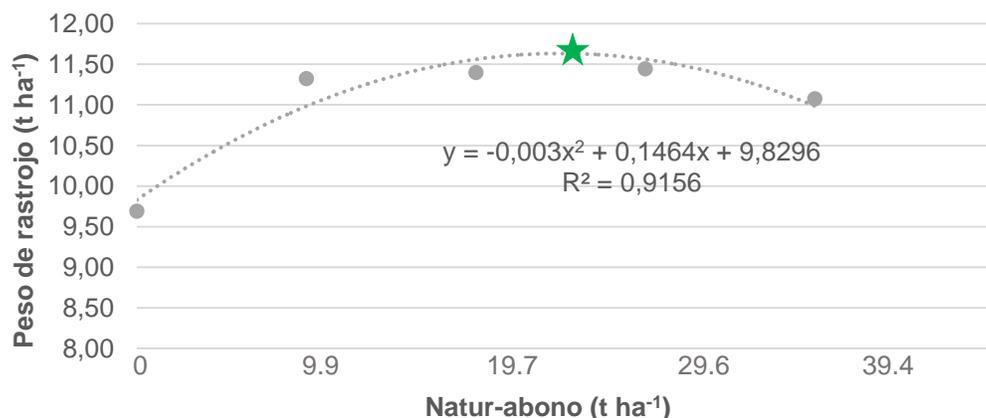


Figura 12. Regresión polinómica de la dosis de 120 kg de N ha⁻¹ en la respuesta de peso seco de rastrojo de maíz (t ha⁻¹) por aplicación de Natur-abono y fertilizante químico.

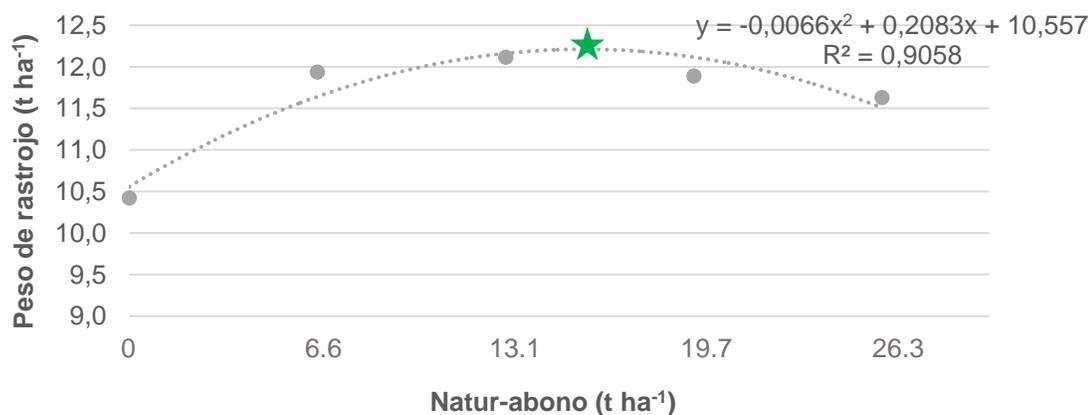


Figura 13. Regresión polinómica de la dosis de 80 kg de N ha⁻¹ en la respuesta de peso seco de rastrojo (t ha⁻¹) por aplicación de Natur-abono y fertilizante químico.

5.2.4 Índice de Cosecha (IC)

Los valores más altos de IC corresponden a los tratamientos de 120 y 80 kg de N ha⁻¹ con 100 % de fertilizante químico, que mostraron valores de 0.44 y 0.43, respectivamente (Figura 14). La dosis de aplicación de nitrógeno fue significativa al

0.06 (valor de P.) (Cuadro 14). Los efectos de los tratamientos mostraron la misma tendencia con la dosis alta y baja de nitrógeno (120 y 80 kg de N ha⁻¹). A medida que se incrementó el porcentaje de Natur-abono, disminuyó el índice de cosecha de 0.44 a 0.43 para la dosis alta, y de 0.43 a 0.41 para la dosis baja, señalando que hubo mayor porcentaje de producción de grano en la dosis alta que en la dosis baja, que muestra una respuesta del cultivo a la aplicación de nitrógeno.

Cuadro 14. Análisis de varianza del índice de cosecha en respuesta a la fertilización mineral y orgánica (Natur-abono).

FUENTE	DF	ISS	CM	Fcal	PR>F
REP	3	0.0018	0.0006	0.42	0.7375 ^{NS}
A	1	0.0055	0.0055	3.72	0.0644*
B	4	0.0051	0.0012	0.86	0.4977 ^{NS}
A*B	4	0.0005	0.0001	0.10	0.9832 ^{NS}

REP= Repetición; A= Niveles de fertilización; B= Proporciones de Natur-abono; *= Significativo ($P > 0.01$ y $P \leq 0.01$); NS= No significativo ($P > 0.05$); DF= Grados de libertad; Fcal= F tabulada; Pr>F= F calculada.

Fernández y Ebert (2005), mencionan que el índice de cosecha responde a la característica del genotipo más que a factores ambientales, no obstante mencionan que la fertilización nitrogenada puede influir en esta variable dependiente.

Castellanos (1980) reportó que la fertilización modificó el índice de cosecha con la aplicación de 200 kg de N ha⁻¹, obteniendo un IC de 0.44; en ese mismo estudio, ellos aplicaron diferentes dosis de N y observaron que cuando aplicaban 500 kg de N ha⁻¹ el IC fue de 0.54. El primer resultado coincide con lo obtenido en esta investigación.

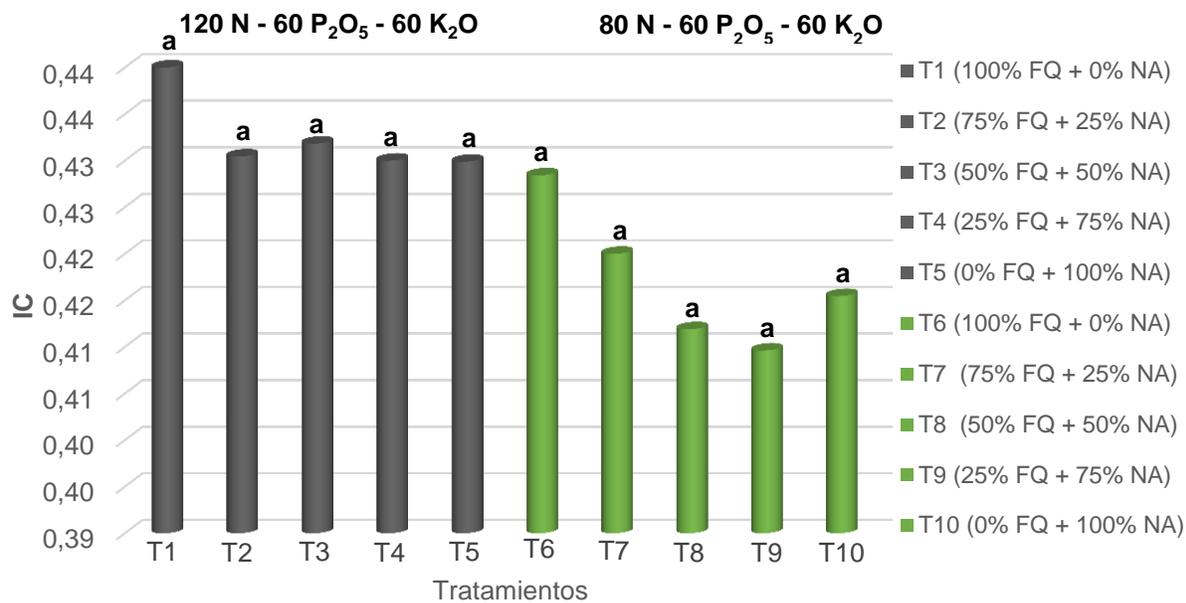


Figura 14. Efecto del Natur-abono y fertilizante químico sobre el Índice de Cosecha, bajo condiciones de campo. FQ= Fertilizante químico; NA= Natur-abono.

VI. CONCLUSIONES

- Con la dosis alta de nitrógeno se obtuvo el mayor número de mazorcas.
- El tratamiento T3 (50% de Fertilizante químico + 50% de Natur-abono) correspondiente a la dosis alta, obtuvo el mayor número de mazorcas por hectárea.
- Con el nivel bajo de fertilización (80 kg de N ha⁻¹), el mayor número de mazorcas se obtuvo con el tratamiento T4 (25% de fertilizante químico + 75% de Natur-abono).
- La dosis alta registró el mayor peso de grano, superando a la dosis baja en un 5%.
- El tratamiento T8 (50% de fertilizante químico + 50% de Natur-abono) de la dosis baja de fertilización registró el mayor peso de grano.
- En promedio el mayor peso de rastrojo se obtuvo con la dosis baja de fertilización, superando a la dosis alta en un 5 %.
- Con el índice de cosecha se muestra una posible falta de translocación de los fotosintatos a la formación del grano, posiblemente por el daño ocasionado del granizo.
- La adición de Natur-abono en combinación con fertilizante nitrogenado condujo a una mayor producción de biomasa y grano en comparación con los tratamientos donde no se aplicó Natur-abono.

VII. LITERATURA CITADA

- A and L Agricultural Laboratories. 2010. Soil and plant analysis. Memphis, USA.
- Alcántara, G. G., L. I. Trejo T. 2012. Diagnóstico de la fertilidad del suelo. *In*: Etchevers B., J., D., y C. Padilla J. (comps.) Nutrición de cultivos. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. pp: 250-255.
- Alesandrelli G., Balsa C., Moro L., Doyen P., Gonzáles A. Papucci S., Cruciani M., Pedrol H. 2009. Incidencia del daño foliar por granizo sobre el rendimiento del cultivo de Maíz (*Zea mays* L.). Agromensajes. Universidad Nacional de Rosario. Zavala, Santa Fe, Argentina. Obtenido de la red: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/26/7AM26.htm> (Consultado: 07/08/2014).
- Álvarez H. J. C.; Venegas F. S.; Soto A. C.; Chávez V. A.; Zavala S. L. 2011. Uso de fertilizantes químicos y orgánicos en cebolla (*Allium cepa* L.) en Apatzingán, Michoacán, México. Redalic. 15(2): 29-43.
- Aranda D. E. 2002. Usos y aplicaciones de lombricomposta en México. Lombricultura y abonos orgánicos. Memorias del II simposio Internacional y Reunión Nacional. Junio 2002. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. P 22-35.
- Arias K. y Chacón A. O. 2010. Efecto de la fertilización química, orgánica y combinada sobre el rendimiento de la papa variedad granola. SCIELO. 60:4-9.
- Armenta-Bojorquez A., García-Gutiérrez C., Camacho-Báez J., Apodaca-Sánchez M., Gerardo-Montolla L. y Nava-Peréz E. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra Ximhai. 6(1):51-56.
- Barea J. M.; Azcón R.; Azcón-Aguilar C. 2005. Interactions between mycorrhizal fungi and bacteria to improve plant nutrient cycling and soil structure. *In*: Buscot F.; Varma A (Eds.). Microorganisms in soil: roles in genesis and functions. Springer-Verlag, Berlin. pp. 195-212.
- Bulluck L. R.; Brosius M.; Evanylo G. K. and Ristaino J. B. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial physical and chemical properties on organic and conventional farms. Applied Soil Ecology. 19: 147-160.

- Caballero-Mellado J. 2004. Uso de *Azospirillum* como alternativa tecnológica viable para cultivos de cereales. In: Monzón A. M.; G. Salamone.; I. S. Miyazaki (Eds.). Biología del suelo. Transformaciones de la material organica, usos y biodiversidad de los organismos edáficos. Editorial FAUBA, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. pp. 45-49.
- Calles S. E. E., B. Sánchez S., P. P. Hernández E. y S. Muciño S. 2003. Cadena maíz grano valles altos. Proyecto estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología en el Estado de México. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX). México. 38 p.
- Castellanos J. Z. y Peña-Cabriales, J. J. 2000. Los nitratos provenientes de la agricultura: una fuente de contaminación de los acuíferos. Terra (8)1:113-126.
- Castellanos R. J. Z. y Reyes C. J. L. 1982. Utilización de los estiércoles en la agricultura. Ingenieros agrónomos del tecnológico de monterrey A.C. México. pp 79-84.
- Castellanos R. J. L. 1980. El estiércol como fuente de nitrógeno. Seminarios Técnicos 5 (13). INIFAP-SARH. México.
- Cerrato M. E.; Leblanc H. A y Kameko C. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad EARTH. Tierra tropical. 3(2): 183-197.
- Chen J. H.; Wu J. T. y Huang W. T. 2001. Effects of compost on the availability of nitrogen and phosphorus in strongly acidic soils. Taiwan ROC.
- Conley J. D., H. Pearl W., R. Howarth. R., D. Boesch D., S. Seitzinger P., K. Havens E., C. Lancelot., G. Likens G. 2009. Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus. Science. (3)23:1014-1015.
- Cortez H. G. 2010. Efecto de la aplicación de compost de cachaza y fertilizante químico en suelos calcáreos en la corrección de clorosis férrica y rendimiento de sorgo. Tesis de Licenciatura, Puebla, México. pp. 3-5.
- Cruz M. S. 1986. Abonos orgánicos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 129 p.

- Díaz-Zorita M.; Fernández C. M. V. 2008. Análisis de la producción de cereales inoculados con *Azospirillum brasilense* en la Republica Argentina. En: Cassán F.; García S. I. E. (eds.). *Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina*. Asociacion Argentina de Microbiología. Buenos Aires. pp. 155-166.
- Epstein E. 1997. The science of composting. Technomic Publishing. Pennsylvania, US. 483 p.
- Escobar, S. S. 2010. Importancia de los fertilizantes. En S. S. Escobar. Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. México D.f. Mundi Prensa. 146 p.
- Félix H. J. A.; Sañudo T. R. R.; Rojo M. G. E.; Martínez R. R. y Olalde P. V. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. RA Ximhai Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable 4:57-67.
- Fernández, V., and Ebert. 2005. Foliar iron fertilization: a critical review. Journal of plant nutrition 28: 2113-2124.
- Franco J. L. 2011. Resultados de investigación Natur-abono. Obtenido de la red: www.naturabono.com/porque_naturabono.html (Consultado: 07/08/2014).
- Foth H. D. and Ellis B. G. 1997. Soil Fertility. 2 ed. CRC Press. Florida, US. 290 p.
- Gan, J., Yates S, R., Crowley , D., and Becker J, O. 1998. Acceleration of 1,3-dichloropene degradation by organic amendments and potencial aplicacion for emissions reduction. Journal of environmental quality. pp.408-414.
- Galler W. S. and Davey C. B. 1971. High rate poultry manure composting with sawdust. In: livestock Waste Management and pollution. Abetment. Procc. Of the international Symposium on Livestock Wastes. Am. Soc. Of Ag. Engineers. USA. pp 159-162.
- Galloway J. N., Townsed A. R. and Erisman J. W. 2009. Transformacion of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. Science 320: 889-892.
- García S. I. y Monzón A. M. 2008. Ecofisiología de la respuesta a la inoculación con *Azospirillum* en cultivos de cereales. In: Cassan F.; García S.I. (eds.). *Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research*. In Argentina. Asociación Argentina de Microbiología. Buenos Aires. pp. 209-226.

- Guerrero A. 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mudi-Prensa. España 206 p.
- Hernández- Rodríguez, A., O. Ojeda-Barríos, L., D. López-Díaz C., J. Arras-Vota, M., A. 2010. Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecniciencia* 5:1-6.
- IFDC-UNIDO. 1998. Fertilizer manual. International Fertilizer Development Center. Reference manual R-1. Kluwer acad. Publishers. Muscle Shoals, Alabama. U.S. A.
- Iglesias-Jiménez E., Pérez-García V. 1992. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agric Ecosyst Environ* 38:331-343.
- Julca Otiniano, A., Meneses Florian, I., Blas Sevillano, R., and Bello Amez, S. 2006. La Materia Orgánica, Importancia y Experiencias de su uso en la Agricultura. SCIELO. pp. 49-61.
- Laboratorios Fertilab. 2013. Elaboración de Análisis de suelo. Celaya, Gto. México.
- López M. D. J., A. Díaz E., E. Martínez R., Valdez C. R. 2001. Abonos Orgánicos y su Efecto en Propiedades Físicas y Químicas del suelo y Rendimiento de Maíz. *Terra Latinoamerica*. 19(4):293-299.
- Maddonni G. A; Ruiz R. A.; Vilariño P.; García I.E. 2004. Fertilización para los cultivos para grano. En: Satorre E.H.; Arnold B. R.; Slafer G.; De la Fuente E.; Otegui M.; Savin R. (eds.). *Producción de granos, bases funcionales para su manejo*. Editorial FAUBA, Universidad de Buenos Aires. pp. 499-557.
- Martínez G. M. A. 2002. El cultivo del chile guajillo con fertirrigación en el Altiplano de San Luis Potosí. SAGARPA. INIFAP. México. 6 p
- Martínez C. C., C. Martínez A. N. Méndez. 2002. Utilización de la lombricomposta en la producción de hortalizas ecológicas. *Lombricultura y abonos orgánicos*. Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional. Junio. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. P 140-142.

- Mera-Ovando L M, C Mapes-Sánchez. 2009. El maíz. Aspectos biológicos. *In: Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica.* T A Kato, C Mapes, L M Mera, J A Serratos, R A Bye (eds). Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. D.F., México. pp:19-32.
- Miller K. A.; Jastrow J. D. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. *In: Kapulnik Y.; Douds Jr. D. D. (Eds.). Arbuscular mycorrhiza: physiology and function.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda. pp. 3-18.
- Navarro-Pedreño, J., Moral Herrero, Gómez Lucas, Mataix Beneyto. 1995. Residuos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones. Alicante. España. 108 p.
- Nieto-Garibay A., B. Murillo-Amador E. Troyo-Diéguez J. A. Larrimaga-Mayoral y J. L. García-Hernández. 2002. El uso de las compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia.* ISSN: 0378-1844. Venezuela. 27 (8) p 417-421.
- Ocampo F.G. 2011. Resultados de investigación Natur-abono. Obtenido de la red: www.naturabono.com/porque_naturabono.html (Consultado: 07/08/2014).
- Ochoa M.; Bustamante C., Rivero R. 2000. Utilización de fuentes de abonos orgánicos en combinación con fertilización mineral (NPK) para la producción de posturas de *Coffea arabica* L. 2da. Convención Internacional de Educación Superior. Editorial. Felix Varela. Universidad Agraria de la Habana, Cuba. 7 p.
- Olivares C., Ma. A. Hernández., R. C. Vences., C. J. Jáquez B. D. Ojeda B. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo.* 28(1): 27-37.
- Pastrana A. L. 1999. Manejo integral de abonos orgánicos y químicos en la producción de naranjo en suelos ácidos de Huimanguillo, Tabasco. En: XII Reunión Científica-Tecnológica y Agropecuaria de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. pp. 242-248.

- Pedraza O. R.; Teixeira S. R. K.; Fernández S. A.; García S. I.; Baca E. B.; Azcón R.; Baldani D. L. V.; Bonilla R. 2010. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Corpoica* 11(2):155-164.
- Peña C., Añez B. Dávila M. 2001. Respuesta de la cebolla (*Allium cepa* L.) a la aplicación de azufre, magnesio, cinc y boro en el suelo alcalino. *Forest. Venez.* 43(2):173-182.
- Pickering J. S., Kendle A.D., Hadley P. 1998. The suitability of composted green waste as an organic mulch: effects on soil moisture retention and surface temperature. *Acta Horticulture* 469:319-324.
- Planes L. M., Calderón A. J., Terry L. A., Figueroa S. I., Utria B. E. Abadis L. 2004. La biofertilización como herramienta biotecnológica de la agricultura sostenible. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(1):5-10.
- Porta C. J.; R. M. López-Acevedo L. C. Roquero. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. México. p 183-184, 778-787.
- Pool-Novelo L., Trinidad-Santos A., Etchevers-Barra J. D., Pérez-Moreno J. Martínez-Garza A. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*. 34(3): 251-259.
- Reyes H. A.; Manes S. A., Gessa G. M. 2000. Efecto de la aplicación del residuo sólido del despulpe del café sobre las propiedades de un suelo. 2da. Convención Internacional de Educación Superior. Editorial. Felix Varela. Universidad Agraria de La Habana, Cuba. 8 p.
- Román P.; Martínez M. M., Pantoja A. 2013. Manuel de compostaje del agricultor. FAO. Chile. pp 107.
- Romero-Romano, C. O., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval- Castro, E., Tobar-Reyes, J. R. 2012. Fertilización orgánica-mineral y orgánica en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananasa* Duch.) bajo condiciones de invernadero. *Redalib*. 8(3):41-49.
- Ruiz F. F. J. 2009. Ingeniería del compostaje. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo Edo. de México. México. 71-105 p.
- Sagarpa. 2011. Uso de fertilizantes. Obtenido de la red: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Usode%20Fertilizantes.pdf> (Consultado: 04/08/2014).

- Salgado García, S., and Nuñez Escobar, R. (2010). Importancia de los fertilizantes. En: S. Salgado García, and r. Nuñez Escobar, Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos D.F. Mundi prensa. Pp. 67-75.
- Sánchez J. J., M. Goodman J., C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of México. *Econ. C. Bot.* 54: 43-59.
- Schenkeveld W. D. C., Dijcker R., Reichwein A. M. Temminghoff E. J. M. and van Riemsdijk W. H. 2008. The effectiveness of soil-applied FeEDDHA treatments in preventing iron chlorosis in soybean as a function of the o, o-FeEDDHA content. *Plant soil* 303:161-176.
- Semmartin M.; Bella C. D.; Salamone I. E. G. 2010. Grazing-induced changes in plant species composition affect plant and soil properties of grassland mesocosms. *Plant and Soil* 328:471-481.
- Serna-Saldívar S. O., C. A. Amaya-Guerra. 2008. El papel de la tortilla nixtamalizada en la nutrición y la alimentación. In: Nixtamalización del Maíz a la tortilla. Aspectos Nutrimientales y Toxicológicos. M. E. Rodríguez.García., S. O. Serna-Saldívar., F. Sánchez-Sinencio (eds). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro; México. pp: 105-151.
- Shankar S.; Chandra P. J. V., Singha D. P. 2011. Efficient soil microorganism. A new dimensión for sustainable agricultura and environment development. *Agricultura, ecosystems and environment* 140: 339-353.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2013. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Obtenido de la red: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> (Consultado: 04/09/2014).
- Sikora, L. J., N. K. Enkiri. 2001. Uptake of ¹⁵N fertilizer in compost-amended soils. *Plant and Soil* 235: 65–73.
- Soto G. Muñoz C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 65:123-129.

- Stamatiadis S., Werner M., Buchanan M. 1990. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field. San Benito Country, California. *Applied Soil Ecology* 12:217-225.
- Smith P., Martino D., y Cai Z. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the royal Society B*. 363:789-813.
- Stevenson F. J. 1986. *Cycles of soil*. John Wiley. United States. 380 p.
- Thomson B.; Ostle N.; McNmara N.; Bailey M.; Whiteley A.; Griffiths R. 2010. Vegetation affects the relative abundances of dominant soil bacterial taxa and soil respiration rates in an upland graalnd soil. *Microbial Ecology* 59:335-343.
- Trinidad, S. A. 1999. El papel de los abonos orgánicos en la productividad de los suelos. *Lombricultura y Abonos orgánicos. Simposium Internacional y Primera Reunión Nacional*. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Unidad de Identificación de Mercados. Chapingo, México. 3-16. pp.
- Turrent-Fernández A, T A Wise, E Garvey. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mex. Rural Develop. Res. Rep.* 24:1-36.
- Vangestel, C. A. M., 1996. Phytotoxicity of some chloroanilines and chlorophenols in relation to bioavailability in soil. *Water, Air and Soil Pollution* (1-2), 119-132.
- Vaughan D. M., Ord B. G. 1985. Soil organic acid. A perspective on its nature, extraction, turnover and role in soil fertility. In: *Soil Organic Matter and Biological Activity*. D. Vauhgan, R. E. Malcolm (eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Vieira J. M. 1999. Abonos orgánicos y fertilizantes químicos ¿son compatibles con la agricultura?. *III Congreso Nacional de Suelos*. Julio. San José, Costa Rica. P 61-67.
- Visser S. A. 1986. Effectto delle sostanze umiche sulla crescita delle piante, In: *Sostanze Umiche*. R. G. Burns.; G. Dell'Agnola S.; Miele S.; Nardi G.; Savioni M.; Schnitzer P.; Sequi D.; Vaughan and S. A. Visser (eds.). pp 96-143.