



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA**

**FERTILIZACION ORGÁNICA Vs MINERAL EN EL
RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE CAPSAICINA
EN CHILE MANZANO (*CAPSICUM PUBESCENS*
R. Y P.)**

RUFINA CARLOS MARCELO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2012

La presente tesis, titulada: "Fertilización Orgánica Vs Mineral en el rendimiento y contenido de capsaicina en Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.)", realizada por la alumna: **Rufina Carlos Marcelo**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA
CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO: _____

DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

ASESORA: _____

DRA. MARIA DE LAS NIEVES RODRÍGUEZ MENDOZA

ASESOR: _____

DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS

Montecillo, Texcoco, México, Junio de 2012

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	III
INDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Fertilización orgánica	4
2.1.1 Ventajas de la fertilización orgánica.....	5
2.1.2 Desventajas de la fertilización orgánica	7
2.2 El compostaje.....	7
2.2.1 Mineralización de la materia orgánica.....	8
2.2.2 Ventajas del compost.....	11
2.2.3 Desventajas del compost	11
2.3 Compostaje del estiércol.....	12
2.3.1 El estiércol como abono orgánico	16
2.4 Fertilización química	20
2.4.1 Ventajas de la fertilización química	22
2.4.2 Desventajas de la fertilización química	23
2.5 Fertilización órgano-mineral.....	25
2.6 Cultivo de chile.....	28
2.6.1 Los Capsaicinoides	30
2.6.2 Contenido de capsaicina en chile manzano	33
III. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	36
IV. MATERIALES Y METODOS.....	37
4.1 Localización del sitio experimental.....	37
4.2 Caracterización del suelo y fertilizante orgánico	37
4.3 Aplicación de fertilizantes.....	39
4.4 Material vegetal.....	40
4.5 Diseño experimental y diseño tratamientos	41
4.6 Variables evaluadas	41

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
5.1 Altura de planta	44
5.2 Diámetro de tallo	45
5.3 Lecturas SPAD.....	46
5.4. Área foliar.....	48
5.5 Rendimiento total y de fruto	49
5.6 Índice de cosecha	54
5. 7 Diámetro ecuatorial y polar	56
5.8 Firmeza de fruto, Grosor de pericarpio y Grados Brix.....	58
5.9 Pérdida de peso en vida de anaquel.....	61
5.10 Contenido de capsaicina	62
5.11 Concentración de nitrógeno foliar	64
5.12. Propiedades físicas y químicas del suelo	68
5.12.1 Capacidad de campo y punto de marchitez permanente	68
5.12.2. pH y Conductividad eléctrica	70
VI. CONCLUSIONES.....	72
VII. BIBLIOGRAFIA.....	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Relación C/N y pérdida de nitrógeno en estiércol de ave composteado	10
Cuadro 2.	Valores promedio del contenido mineral de varios estiércoles en compostaje.	14
Cuadro 3.	Contenido de cenizas, relación C/N, pH, CE en diferentes tipos de estiércol.	15
Cuadro 4.	Tipo de microorganismos presentes en estiércol.	15
Cuadro 5.	Contenido mineral de algunos tipos de estiércol	18
Cuadro 6.	Componentes de algunos estiércoles.	19
Cuadro 7.	Caracterización química y física del suelo utilizado en la producción de chile manzano	38
Cuadro 8.	Caracterización química del fertilizante orgánico utilizado en la producción de chile manzano	38
Cuadro 9.	Capacidad de campo y punto de marchitez permanente para las mezclas evaluadas y el suelo	39
Cuadro 10.	Dosis de fertilizante químico por tratamiento y planta en el cultivo de chile manzano	40
Cuadro 11.	Dosis de fertilizante orgánico por planta y por tratamiento	40
Cuadro 12.	Correlaciones de Pearson para las variables de rendimiento. Capsaicina, firmeza y nitrógeno	66
Cuadro 13.	Correlaciones de Pearson de 13 variables respuesta en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. y P.).	67
Cuadro 14.	Análisis de varianza de las variables morfológicas en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. y P)	91
Cuadro 15.	Análisis de varianza de las variables de rendimiento en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. y P)	91
Cuadro 16.	Análisis de varianza de las variables postcosecha en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. y P)	91
Cuadro 17.	Análisis de varianza de las variables postcosecha después	92

	de refrigeración y vida de anaquel en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. y P)	
Cuadro 18.	Prueba de comparación de medias tukey $\alpha= 0.05$ y diferencias significativas en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. y P). Como respuesta a la aplicación de 4 niveles de fertilización química y 5 niveles de fertilización orgánica en relación al testigo.	92
Cuadro 19.	Prueba de comparación de medias tukey $\alpha= 0.05$ para las variables de rendimiento en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. y P). Como respuesta a la aplicación de 4 niveles de fertilización química y 5 niveles de fertilización orgánica en relación al testigo.	93
Cuadro 20.	Prueba de comparación de medias tukey $\alpha= 0.05$ en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. y P). Como respuesta a la aplicación de 4 niveles de fertilización química y 5 niveles de fertilización orgánica en relación al testigo.	93
Cuadro 21.	Análisis de la varianza para variables de postcosecha después de refrigeración y vida de anaquel.	94
Cuadro 22.	Análisis de la varianza para la variable Capsaicina en chile manzano	94
Cuadro 23.	Análisis de la varianza para las variables capacidad de campo, punto de marchitez permanente, pH y Conductividad eléctrica	94
Cuadro 24.	Prueba de comparación de medias Tukey $\alpha=0.05$ en chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i> R. y P). Como respuesta a la aplicación de 5 niveles de fertilización Orgánica en relación al testigo.	95

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Altura de planta en chile manzano, durante el ciclo de cultivo, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha-1) de T6-T10 y T1 testigo absoluto 44
- Figura 2. Diámetro de tallo en chile manzano, durante el ciclo de cultivo, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha-1) de T6-T10 y T1 testigo absoluto 45
- Figura 3. Lecturas SPAD (Contenido de clorofila) en chile manzano, durante el ciclo del cultivo, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha-1) de T6-T10 y T1 testigo absoluto 46
- Figura 4. Lecturas SPAD, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha-1) de T6-T10 y T1 testigo absoluto 47
- Figura 5. Respuesta del área foliar a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha-1) de T6-T10 y T1 testigo absoluto 49

Figura 6.	Rendimiento de fruto comercial, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha ⁻¹)de de T6-T10 y T1 testigo absoluto	50
Figura 7.	Rendimiento total de frutos, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha ⁻¹)de compost de T6-T10 y T1 testigo absoluto	51
Figura 8.	Número de frutos comerciales, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha ⁻¹ de compost de T6-T10 y T1 testigo absoluto	53
Figura 9.	Número de frutos total promedio por planta, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha ⁻¹ de compost de T6-T10 y T1 testigo absoluto	54
Figura 10.	Diámetro ecuatorial, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha ⁻¹ de compost de T6-T10 y T1 testigo absoluto	57
Figura 11.	Diámetro polar como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha ⁻¹ de compost de T6-T10 y T1 testigo absoluto	58

Figura 12.	Respuesta en Grados Brix a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha-1) de T6-T10 y T1 testigo absoluto.	59
Figura 13.	Capsaicina en chile manzano como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha-1 de T6-T10 y T1 testigo absoluto	62
Figura 14.	Contenido de Nitrógeno, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha-1 de T6-T10 y T1 testigo absoluto	65
Figura 15.	Capacidad de campo como respuesta a 5 dosis de fertilización orgánica (10, 20, 30, 40 y 50 Mg ha-1) con respecto al testigo (suelo)	68
Figura 16.	Punto de marchitez permanente como respuesta a 5 dosis de fertilización orgánica (10, 20, 30, 40 y 50 Mg ha-1) con respecto al testigo (suelo)	68
Figura 17.	pH como respuesta a la aplicación de 5 dosis de fertilización orgánica, 10, 20, 30, 40 y 50 Mg ha-1 con respecto al testigo (Suelo)	70
Figura 18.	Conductividad Eléctrica (CE) como respuesta a la aplicación de 5 dosis de fertilización orgánica, 10, 20, 30, 40 y 50 Mg ha-1 con respecto al testigo (Suelo)	71

FERTILIZACIÓN ORGÁNICA VS MINERAL EN EL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE CAPSAICINA EN CHILE MANZANO (*CAPSICUM PUBESCENS* R. Y P.)

CARLOS MARCELO RUFINA

RESUMEN

El chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) es originario de Perú y Bolivia, fue introducido a México a principios del siglo XX. Este tipo de chile se produce a altitudes de 1700 a 2500 m. En La Sierra Norte de Puebla la producción de este cultivo se hace a nivel de traspatio, con manejo insuficiente de fertilización y control de plagas. Como parte de una propuesta para mejorar el manejo de este cultivo, y hacer uso de los recursos disponibles en la región, que también se dedica a la ganadería para producción de leche, se compararon dos sistemas de producción, uno con fertilización orgánica y otro con fertilización química, en rendimiento y la calidad del fruto de chile. En el sistema con fertilización química la dosis 200-100-200 (NPK), se fracciono en 4 niveles (25, 50, 75 y 100%), en el sistema con fertilización orgánica se aplicaron 5 niveles (10, 20, 30, 40 y 50 Mg ha⁻¹); además, se estableció el testigo sin fertilización. El experimento se llevo a cabo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, se utilizo suelo del municipio Yaonáhuac, Puebla. Cada tratamiento consistió de una planta como unidad experimental y 5 repeticiones en un arreglo de bloques al azar, el riego fue únicamente con agua. Las variables evaluadas fueron: contenido de nitrógeno % (N), Lecturas SPAD (Clorofila), rendimiento (g planta⁻¹), diámetro ecuatorial y polar de fruto (mm), firmeza(Newton), grosor de pericarpio (mm), Grados Brix (° Brix), contenido de capsaicina (mg ml⁻¹), área foliar (cm²), Índice de cosecha (IC), altura de planta (cm),y en suelo se determino pH, CE mmhos cm⁻¹, CC y PMP % de humedad.

El mejor tratamiento en rendimiento total fue 40 Mg ha⁻¹ y en rendimiento de fruto comercial 30, 40 y 50 Mg ha⁻¹; en diámetro ecuatorial 25 y 75 % mostraron los valores más altos (47.82 y 47.94 mm, respectivamente), en diámetro polar 50 Mg

ha⁻¹ expresó el mayor valor (43.38 mm) y capsaicina en fertilización orgánica mostró valores inferiores al testigo. °Brix, firmeza y grosor de pericarpio e índice de cosecha no presentaron diferencias significativas, con respecto al testigo. En conclusión, para las variables rendimiento de fruto total y comercial resultó ser mejor la fertilización orgánica, por el contrario, diámetro ecuatorial y capsaicina dieron mejor resultado con la fertilización química. En diámetro polar ambos sistemas tuvieron el mismo efecto.

Para las variables en suelo, las constantes de humedad fueron incrementadas conforme fue aumentado el nivel de aplicación de fertilizante orgánico. Para pH y CE se mostro la misma tendencia; sin embargo, solo para pH hubo diferencias significativas.

Palabras clave: *Capsicum pubescens* R. y P., fertilización orgánica, índice de cosecha, diámetro, °Brix

INORGANIC Vs. ORGANIC FERTILIZATION ON YIELD AND CONTENT OF CAPSAICIN IN MANZANO HOT PEPPER

CARLOS MARCELO RUFINA

ABSTRACT

The hot pepper (*Capsicum pubescens* R. y P.), originated in the highlands of Peru and Bolivia, and was introduced to Mexico in the early twentieth century, is the only type of hot pepper that occurs at altitudes of 1700-2500 m. The Sierra Norte of Puebla is characterized by the production of this crop to a level of backyard with insufficient management in the fertilization and pest control. As part of a proposal to improve this crop, and use this resource that are available in the region, which also cattle activity is important, a study to compare two production systems one utilizing chemical fertilization and the other one with organic fertilization on the yield and quality hot pepper fruit. The main dosege of chemical NPK (200-100-200) was fractionated into four levels (25, 50, 75 and 100%) and five levels of bovine organic fertilizer (10, 20, 30, 40 and 50 Mg ha⁻¹) was used. A treatment without fertilization was including as a check treatment. The experiment was conducted in the greenhouse located in the experimental station of Chapingo. The soil used in the experiment was collected in Yaonáhuac, Puebla where hot pepper is cultivated. The chemical fertilizer was incorporated to the soil and organic fertilizer was mixed whit the soil. Each treatment consisted of one plant as an experiment unit whit five replications in a randomized block design. In the essay dry the matter yield, harvest index, nitrogen concentration, SPAD lectures, diameter polar and equatorial of fruit, capsaicin concentration, Brix grade, pericarp thickness, fruit consistence, foliar area were evaluated as a dependent variables. After harvest the fruits and the plants on pots pH, EC mmhos cm⁻¹, CC and PMP % were determinate in the soil.

The best treatment in total yield was 40 Mg ha⁻¹ and the yield of marketable fruit 30, 40 and 50 Mg ha⁻¹ in equatorial diameter 25 and 75% showed the highest

values (47.82 and 47.94 mm, respectively), polar diameter 50 Mg ha⁻¹ expressed the highest value (43.38 mm) and capsaicin in organic fertilization showed lower values than the control. ° Brix, firmness and thickness of pericarp and harvest index were not significantly different with respect to control. In conclusion, for the variables total fruit yield and commercial fruit was better organic fertilization, however, equatorial diameter and capsaicin gave best results with chemical fertilization. In polar diameter both systems had the same effect.

For variable soil humidity constants increased as they increase the level of application of organic fertilizer in both CC and PMP. pH and EC showed the same trend, however, only significant differences for pH.

Keywords: *Capsicum pubescens* R. y P., organic fertilization, harvest index, diameter, ° Brix

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por haberme mantenido firme y fuerte en mis convicciones, por haberme dado la vida, la familia y los amigos que me han acompañado durante el trayecto de mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de la presente investigación.

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad brindada para la continuación de mi formación profesional en el ámbito agronómico.

Al DR. Antonio Trinidad Santos, por la confianza, apoyo y consejos que contribuyeron a la finalización de esta investigación.

A la Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza, por impulsar mi trabajo, por las acertadas observaciones, por facilitarme los medios para la realización de la tesis.

Al Dr. Rogelio Castro Brindis, por facilitar mi trabajo en campo, por indicaciones debidas en la fase de campo.

Al Dr. Rosalino Gasga Peña, por contribuir en la parte estadística de la investigación.

Al Instituto Nacional Indigenista de Teziutlán Puebla hoy Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas

DEDICATORIAS

A mis padres: Ángeles y Aureliano, por ser el pilar de mi familia, por su apoyo y confianza, por dejarme elegir quien quiero ser en esta vida.

A mis hermanos: Elpidio, Wenses, Coty, Juan, Rosi y Pablo, por compartir este logro, y estar conmigo en las buenas y en las malas

A mis sobrinos: Cris, Fer, Mary, Alex, Isa, Jesús, Miguel, J. Alberto, J. José, Cris, Santiago y Naye por que han llenado de alegría mi vida y a la familia.

A mis amigos: Carmen, Antelma, Catalina, Salome, Olivia, Ma. Jesús, Rosalino, Huriel e Isidro, por el apoyo que recibí de ellos, los consejos y sobre todo por compartir conmigo momentos inolvidables. Porque siempre encontré una palabra de aliento, mil gracias.

A mis compañeros de la Oisa Cancún: Gracias por hacer mi estancia más placentera

Con cariño, respeto y admiración, Rufina

I. INTRODUCCIÓN

Las plantas requieren un mínimo de 14 elementos minerales para su nutrición, estos incluyen macronutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) y micronutrientes como el cloro (Cl), boro (B), hierro (Fe) , manganeso (Mn), cobre (Cu), cinc (Zn), níquel (Ni) y molibdeno (Mo); la deficiencia en cualquiera de estos elementos minerales reduce el crecimiento de plantas y rendimiento de los cultivos. Las plantas en general adquieren sus elementos minerales de la solución suelo.

La producción de cultivos es a menudo limitada por la baja disponibilidad de los elementos minerales esenciales y/o la presencia de concentraciones excesivas de elementos minerales potencialmente tóxicos, tales como sodio (Na), Cl, B, Fe, Mn y aluminio (Al), en la solución del suelo. Los fertilizantes contiene elementos minerales esenciales para la nutrición humana y ocasionalmente se suministran a los cultivos para aumentar sus concentraciones en las partes comestibles para el beneficio de la salud humana (White y Brown, 2010).

La importancia de los abonos orgánicos como las compostas, vermicompostas y estiércoles, radica no solo en la aplicación de estos como fuente de nutrientes, sino además como parte de la utilización para producción sustentable en un ecosistema, además de que genera menores costos de manejo a diferencia de los rellenos sanitarios e incineradores en zonas urbanas (He, 1992). El uso de compostas retribuye de alguna manera al suelo los minerales que son extraídos a través de la producción de cultivos.

Muchas son las ventajas que se enumeran para la materia orgánica en el suelo, misma que en la agricultura convencional se degrada año con año y no es recuperada, los resultados obtenidos son mejores cuando se utilizan fertilizantes inorgánicos, ya que se ven reflejados inmediatamente en la producción.

El contraste entre la agricultura convencional y la agricultura orgánica lleva consigo una serie de cambios, que por manejo, por costos de producción, y sobre todo resultados debe llevarse a cabo paulatinamente.

Por ello el objetivo de este trabajo es evaluar el rendimiento y algunos parámetros de calidad de fruto en el cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) como parte de una propuesta para la utilización de los recursos con los que se cuenta en las zonas productoras de este y la utilización de fertilizante convencional.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La definición del estado de la fertilidad de un suelo requiere información sobre disponibilidad de los nutrientes, presencia de elementos tóxicos y propiedades químicas como el pH, CE, CIC, además de las propiedades físicas y biológicas. Ello permite tomar decisiones acerca de su manejo, en particular de la aplicación de fertilizantes (Pecket *et al.*, 1977; Vergara *et al.*, 2005)

La evaluación de la fertilidad del suelo es útil para determinar su potencial productivo, elucidar los factores edáficos que pueden limitar dicho potencial, y establecer el efecto de diversas prácticas de manejo en la dinámica nutrimental edáfica. Tal información es necesaria para elaborar e implementar programas de aplicación de fertilizantes (químicos u orgánicos) que resulten rentables y ambientalmente aceptables (Castellanos *et al.*, 2000).

En las últimas décadas se ha estado promoviendo una renovada filosofía, el uso de la agricultura orgánica y por lo tanto, la producción de alimentos no contaminados (Crespo, 2001). Una de las principales tecnologías el uso de compostas que el propio productor puede elaborar en su unidad de producción, utilizando los materiales de que dispone localmente. Ello le permitirá tener un mejor manejo y conservación de su suelo, recurso principal de cualquier sistema de producción agropecuaria y forestal (De Luna y Vázquez, 2009).

Un sistema agrícola sostenible ideal, es aquel que mantiene y mejora la salud humana, el ambiente se ve beneficiado y produce alimentos suficientes y de calidad para la población humana (Shankara *et al.*, 2011). Dicha sostenibilidad tiene como punto clave la menor dependencia de fertilizantes y productos químicos como los plaguicidas, por lo que el uso de microorganismos con múltiples beneficios sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas, encamina al manejo integral de los cultivos, buscando el equilibrio idóneo entre sustentabilidad y rentabilidad (Olalde y Aguilera, 1998). Asumiendo además que el mundo

enfrenta un reto para satisfacer las necesidades de consumo alimenticio cada vez mayor, con escasas extensiones de tierras cultivables (Javier y Boyetchko, 2002).

2.1 Fertilización orgánica

Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos se ha demostrado, aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Romero *et al.*, 2000).

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 en aquellas tierras sometidas a agricultura intensiva para mantener y mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de humedad y facilitar la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Castellanos, 1982).

El incremento de la productividad, vía la introducción masiva de insumos industrializados, enfrenta el problema del alto costo y la baja rentabilidad de las inversiones de capital en las áreas de agricultura de ladera en condiciones de secano. En consecuencia, la alternativa más viable sería aprovechar mejor los recursos regionales y hacer uso mínimo de insumos industrializados y de insumos extra regionales (Pool-Novelo *et al.*, 2000).

La agricultura orgánica es un movimiento que promueve la conversión de los desechos orgánicos procedentes del hogar, la agricultura, mercado, 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 el cual participan bacterias, hongos y actinomicetos. La calidad del humus dependerá de la materia orgánica utilizada en su producción, teniendo humus con diferentes características fisicoquímicas al

igual que microbiológicas, por lo que mientras mayor sea la diversidad de elementos que dan origen a dicho humus mayor será su contenido de nutrientes y de microorganismos. Existen diferentes procesos de producción de humus, están las compostas de superficie, el lombrihumus, el bocashi, el nutribora, y también ciertos elementos que van a enriquecer ese humus, como son las harinas y los bioles o fermentos, todo esto con la finalidad de tener un humus de mejor calidad y que mejore la fertilidad del suelo (Felix *et al.*, 2008).

2.1.1 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 resultantes de la adición del abono al suelo (Cerrato *et al.*, 2007).

Los abonos orgánicos contienen los macronutrientes (NPK) y micronutrientes que las plantas requieren para su crecimiento (Gros y Domínguez, 1992). Independientemente de que los macronutrientes de naturaleza orgánica no son aprovechables por las plantas hasta que son mineralizados a diferencia de los fertilizantes químicos, los abonos orgánicos aportan micronutrientes, aminoácidos, urea, ácido úrico y materia orgánica. Los residuos vegetales contienen auxinas, giberelinas, ácido abscísico y etileno, sustancias que pueden regular el crecimiento de las plantas mediante un efecto sinérgico, antagónico o aditivo (Lethan *et al.*, 1978). La concentración de N, P y K en los abonos orgánicos es relativamente variable y la suma de todos ellos raramente excede el 10 % del peso seco de los estiércoles. La importancia de los nutrientes es más grande cuando otras fuentes no están disponibles y en periodos de escasa distribución de fertilizante químico (Flaig, 1997).

El uso de los abonos orgánicos ha tenido buenos resultados e influye de la siguiente manera.

Reduce el uso de los fertilizantes químicos al incrementar las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio (Ochoa *et al.*, 2000; Hidalgo y Harkess, 2002).

Incrementa las poblaciones de microorganismos presentes en el suelo (Reyes *et al.*, 2000; Martínez, 2002; Heredia *et al.*, 2000).

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).

Estabilización del pH e incremento de la capacidad de intercambio catiónico y degradación de residuos de plaguicidas (Soto y Muños, 2002).

Favorece la tasa de crecimiento de hojas y raíces y la formación de flores, frutos y semillas (Aranda, 2002).

Se acorta la estancia de plántulas en el vivero y se obtienen plántulas más vigorosas y desarrolladas (Contreras *et al.*, 2002).

Reduce algunas enfermedades inducidas por hongos fitopatógenos (Zavaleta, 2002).

El uso de abonos orgánicos mejora la fertilidad del suelo, observándose un mejor porcentaje de germinación, mejor adaptación de plántulas al trasplantarlas (Félix *et al.*, 2008).

Los abonos orgánicos como estiércol de ganado bovino y gallinaza desempeñan un papel importante en la producción de papa bajo condiciones de suelo arenoso. Los fertilizantes orgánicos mejoran la estructura del suelo, promueven que la planta tenga buenas raíces y permiten una aireación del suelo (Abou *et al.*, 2003).

2.1.2 Desventajas de la fertilización orgánica

La principal desventaja del uso de compostas o material orgánico es que los cambios físicos y químicos del suelo, aumento en la retención de humedad, incremento de la materia orgánica y fertilidad etc., se ve reflejado años después de llevar la incorporación, ya que el suelo se adapta a los fertilizantes minerales que son absorbidos más rápido por la planta, por lo que se recomienda un sistema combinado (convencional y orgánico), en el afán de hacer un cambio gradual, y ayudar al suelo a restablecer el 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 nutrientes para mantener dicha actividad. El periodo de transición para que un suelo sea orgánico oscila entre los 3 a 5 años, dependiendo del manejo previo del suelo y de los factores medio ambientales, puede extenderse hasta los 8 años (Félix *et al.*, 2008). Es innegable que las ganancias económicas inmediatas de los abonos orgánicos en la nutrición de los cultivos no se comparan favorablemente con las obtenidas por fertilización química.

2.2 El compostaje

El compostaje, es un método que se define como la degradación de la fracción orgánica de los residuos sólidos por la acción de diversas poblaciones biológicas bajo condiciones controladas hasta un estado lo suficientemente estable que permite su almacenamiento y utilización sin efectos nocivos (Díaz *et al.*, 1993), el composteo se ha presentado como uno de los procesos más apropiados para el tratamiento de los residuos sólidos, tanto municipales como los generados en algunas fuentes específicas. Las matrices del compostaje y las compostas son fuentes de microorganismos de degradación xenobiótica incluyendo bacterias, actinomicetos y hongos lignolíticos, los cuales pueden degradar contaminantes (Semple *et al.*, 2001).

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 en base a estas variaciones se modificará el uso potencial del compost maduro. La microflora nativa puede o no tener efecto antagónico sobre patógenos del suelo, y además esta microflora continuará la degradación de la materia orgánica volviendo disponibles los nutrientes para la planta. Mientras mayor diversidad tenga la materia orgánica de la que se forma la pila o cama, mayor cantidad de nutrientes tendrá la composta madura (Félix *et al.*, 2008).

Entre los usos no convencionales del compost se encuentra su utilización para la biorremediación de sitios con suelos muy perturbados o contaminados y como medio para la biofiltración (Sauri *et al.*, 2002). Entre las múltiples razones del uso restringido del compost en la agricultura, como mejorador del suelo, esta la falta de promoción y mercado para este producto (Sauri *et al.*, 2002).

2.2.1 Mineralización de la materia orgánica

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

La disponibilidad de N después de la aplicación de un abono orgánico no puede ser estimada a partir del contenido de N del abono. El análisis químico de un abono es de poca ayuda para evaluar el valor nutritivo del mismo, ya que el análisis no indica el plazo en el cual los nutrientes estarán disponibles (Vandevivere y Ramírez, 1995).

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 25, entonces los microorganismos degradarán la materia orgánica si hay suficiente N disponible para ellos en el medio, causando una inmovilización temporal de ese N de ese medio. Cuando la relación C:N es baja, por ejemplo menor que 20, la materia orgánica es degradada fácilmente, el N es temporalmente inmovilizado dentro de los microorganismos, pero al morir estos el N será liberado al medio. 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, pero conocer esta relación, no permite cuantificar la cantidad de N que será liberada o inmovilizada. Por eso 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. El potencial de mineralización de N, se establece a partir de la mineralización acumulada de N, la cual se define como la cantidad de N disponible, liberada después de un período de tiempo específico (Brady y Weil, 1999). 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 períodos específicos de tiempo (Porta *et al.*, 1994). El rango óptimo en la relación C/N debe ser de 30 a 50, de acuerdo a lo que se muestra en el Cuadro 1 ya que las mayores pérdidas se presentan cuando la relación C/N es más alta.

Cuadro 1. Relación C/N y pérdida de nitrógeno en estiércol de ave composteado

Experimento	C/N	Perdida 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).

Dos de los componentes importantes en la materia orgánica son los ácidos húmicos y fúlvicos que son responsables de muchas de las mejoras que ejerce el humus; las sustancias húmicas elevan la capacidad de intercambio catiónico de los suelos al formar complejos arcilla-húmicos (Landeros, 1993; Guerrero, 1999), forman complejos fosfo-húmicos manteniendo el fósforo en un estado asimilable por la planta (Guerrero, 1996; Chen *et al.*, 2001).

Visser (1986), demuestra que las sustancias húmicas tienen un efecto sobre la nutrición vegetal por su acción a nivel de membrana celular, además menciona que las sustancias húmicas, afectan la permeabilidad de las membranas, específicamente a la bomba electrogénica de protones. Igualmente menciona que altas concentraciones de sustancias húmicas (1500 mg L^{-1}) dañan las membranas celulares.

Vaughan y Malcom (1985), comentan que las sustancias húmicas pueden tener influencia sobre el acceso de iones de forma pasiva en la raíz. Por otra parte Vaughan y Ord (1981), mencionan que la absorción de las sustancias húmicas con altos pesos moleculares se pueden dar también por el mecanismo de la pinocitosis en la planta, y que también pueden ser absorbidas las sustancias de bajos pesos moleculares.

2.2.2 Ventajas del compost

Diversos estudios han concluido que el compost de desechos hortícolas puede utilizarse en cultivo sin suelo sin que afecte la producción tanto en calidad como en cantidad (Salas *et al.*, 2000; Mazuela *et al.*, 2004a; Mazuela y Urrestarazu, 2004) durante, al menos, dos cultivos (Salas *et al.*, 2001; Mazuela *et al.*, 2004), pudiendo constituirse en un sustrato alternativo y competitivo para su uso directo en los cultivos sin suelo sin necesidad de realizar mezclas con otros sustratos. Esto, siempre y cuando se acondicione previamente a su uso y la fertirrigación sea ajustado a las características del sustrato, especialmente las físico-químicas.

De los estudios realizados en compost proveniente de residuos hortícolas de invernadero se ha concluido que es inocuo desde el punto de vista fitopatógeno y sustancias fitotóxicas, siendo posible su uso en cultivo sin suelo sin consecuencias negativas en la producción (Salas *et al.*, 2000; Urrestarazu *et al.*, 2000; Urrestarazu *et al.*, 2003; Mazuela *et al.*, 2004; Mazuela y Urrestarazu, 2004).

Abad *et al.* (2004) indican que muchos materiales pueden ser utilizados con éxito, bien en forma pura o bien en mezcla, en la preparación de los sustratos de cultivo para las plantas. La elección de un material particular viene determinada usualmente por: la disponibilidad del mismo, la finalidad de la producción (cosecha), su costo, sus propiedades, experiencia local en su utilización y su impacto ambiental.

2.2. 3 Desventajas del compost

El uso del compost inmaduro puede verse reflejada como deficiencias de nitrógeno (Wilson y Dalmat 1986), con ello el retraso de crecimiento de las plantas y algunos efectos fitotóxicos (Hirai *et al.* 1986; Keeling *et al.*, 1994). Además, la presencia de agentes fitopatógenos y semillas de malezas pueden persistir (Tompkins *et al.*, 1998), debido a la inadecuada producción de calor durante el proceso de descomposición de las excretas de los animales. La estabilidad o madurez de compost es a menudo determinada por parámetros físicoquímicos y

biológicos, tales como la temperatura, Relación C / N (Iglesias-Jiménez y García-Pérez 1992), disminución de NH_4^+ (Zucconi y de Bertoldi, 1987) y aumento de NO_3^- (Finstein y Miller 1985), e índice de germinación de semillas (GI) (Zucconi *et al.*, 1981; Fujiwara 1985,1988).

Además, las características microbianas tales como número de microorganismos (Tiquia *et al.*, 2002), el ensayo de la respiración (Wilson y Dalmat 1986; Iannotti *et al.*, 1994.; Wu *et al.*, 2000), la medición de ATP (Tseng *et al.*, 1996; Horiuchi *et al.*, 2003), y la actividad enzimática (García *et al.*, 1992; Benito *et al.*, 2003) se utilizan también para evaluar el la madurez o la estabilidad de la composta. Sin embargo, no hay ningún parámetro que sea de aplicación universal para evaluar la madurez del compost ya que los materiales y los procesos de compostaje son muy variados (He *et al.*, 1995).

La utilización de los residuos vegetales como medio de cultivo para plantas hortícolas en los sistemas intensivos todavía crea susceptibilidades respecto a la supervivencia de microorganismos fitopatógenos en el material vegetal compostado que puedan afectar a las plantas cultivadas en él; a la presencia de sustancias fitotóxicas que puedan suponer una amenaza para las plantas que crezcan sobre ellos; y a las posibles pérdidas de competitividad del agrosistema (Salas *et al.*, 2000).

2.3 Compostaje del estiércol

El compostaje puede ayudar a resolver algunos problemas asociados con la producción de estiércol y su posible aplicación en los suelos agrícolas (Kridler, 1991). Este es un proceso bioquímico que está determinado por microorganismos termofílicos. Comparando con otro método de tratamiento del estiércol, el compost se realiza en condiciones aeróbicas (Galler y Davey, 1971). Factores microambientales determinan el curso y velocidad del proceso y algunos componentes de la descomposición aeróbica generan malos olores.

El compost produce líquidos residuales (ácidos húmicos) los cuales pueden emplearse en jardinería, clubes de golf y en la producción de cultivos agrícolas (Krider, 1991). El compost elaborado con desechos de origen animal son diferentes en composición y calidad a las provenientes de productos agrícolas (Jung y Yang, 2001).

Comparadas con las pajas y los rastrojos, el compost elaborado con estiércoles de origen animal son bajas en materia orgánica y alto en nutrientes. Las aplicaciones excesivas de compost provenientes de origen animal producen efectos detrimentales en los cultivos y el suelo, debido a la acumulación de sales, aumento en el número de semillas de maleza, contaminación del agua y presencia de patógenos si no recibe un tratamiento adecuado de esterilización (Dao y Cavigelli, 2003).

El contenido de agua es importante para un buen compostaje, el cual debe estar en el rango de 50 a 65 % de la capacidad de retención del desecho y con una aireación no mayor a 30 % (Jung y Yang, 2001).

Los minerales son necesarios para el metabolismo de los microorganismos responsable del compostaje. El nitrógeno es muy dinámico y en el compostaje se encuentra en diferentes formas, las formas orgánicas son las más estables. Sin embargo, el amoníaco que es una de las formas más importante en que se encuentra el nitrógeno en el compost, está en forma de gas y fácilmente se volatiliza, incrementando la presencia de olores indeseables en el compostaje (Galler y Davey, 1971). Por otro lado, el nitrógeno en forma de nitrato es susceptible de lixiviarse por ser más soluble en agua. Para conservar el nitrógeno en formas más estables como radical amonio, es necesario bajar los niveles de pH y temperatura, así como lograr una adecuada mezcla del compost (Smith, 1991). En el Cuadro 2 se presenta el contenido mineral del estiércol en relación a su procedencia

Cuadro 2. Valores promedio del contenido mineral de varios estiércoles en compostaje.

Tipo de Estiércol	N	P	K	Ca %	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	Ni	Cr	Pb	Cd	Autor
Bovinos lecheros	2.4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Yang, 2001
Bovinos lecheros	1.2	0.5	6	4	0.8	1.4	4288	28	86	<3	3	8	<3	<0.2	García-Gil <i>et al.</i> , 2000
Bovinos lecheros	1.9	1.5	16	16.4	0.8	6.4	11662	1325	175	548	81	83	681	<0.2	García-Gil <i>et al.</i> , 2000
Bovinos lecheros	1.4	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Eghball, 2000 y Power, 2000
Bovinos lecheros	3.1	1.9	10	6.2	1.9	...	7983	114	70.4	27	...	...	...	...	Lupwayi <i>et al.</i> , 2000
Bovinos engorda	1.2	1.2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Eghball, 2000 y Power, 2000
Bovinos engorda	3.2	2.2	8.6	1.4	1.4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Whalen <i>et al.</i> , 2000
Pollinaza	2.8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Yang, 2001
Cerdo	3.3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Yang, 2001

Fuente: Medina, 2010.

La incorporación de residuos orgánicos al suelo, como estiércoles, cascarillas y compost podrían ser una opción en el logro de sistemas agrícolas productivos, estables y adaptables, en los cuales el agricultor no dependa de recursos externos (Astier y Hollands 2005).

La producción de cultivos ha disminuido de manera considerable en los últimos años. Una de las maneras de mejorar estas condiciones es añadirle al suelo nutrimentos en forma natural para incrementar la productividad, mediante la aplicación de abonos orgánicos (Santamaría *et al.*, 2001). Esto implica que la fertilización orgánica es considerada como una alternativa para reducir el uso de agroquímicos, entre ellos los fertilizantes (Romero *et al.*, 2000).

La incorporación de residuos orgánicos agropecuarios al suelo para mejorar la fertilidad natural y por lo tanto, la productividad, depende de las exigencias nutricionales que presente el cultivo, del grado de estabilización de los desechos aplicados y del valor fertilizante que tengan los residuos, especialmente su contenido de nitrógeno. El uso de estos abonos presupone un incremento de la capacidad de suministro de nitrógeno del suelo fertilizado, en una proporción variable pero relacionada a la cantidad de N orgánico incorporada. Este último será liberado, vía mineralización, a una tasa y oportunidad determinadas fundamentalmente por la capacidad de mineralización del sistema, dosis aplicada y por la naturaleza y composición del material incorporado. La velocidad del

proceso de compostaje de los estiércoles depende de sus contenidos de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y relación C/N, como se puede observar en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Contenido de cenizas, relación C/N, pH, CE en diferentes tipos de estiércol.

Tipo de estiércol	Cenizas (%)	C/N	pH	CE (dm-1)	Autor
Bovinos lecheros	64.1	15.9	8.8	7	Garcia-Gil et al., 2000
Bovinos lecheros	40.1	22	8.7		Yang, 2001
Bovinos lecheros	81.2	8.6	7.7	54.6	Eghball, 2000
Bovinos engorda	66.7	8.7	7.9	70	Garcia-Gil et al., 2000
Cerdo	20	19.8	8		Yang, 2001
Pollinaza	55	18.1	8.6		Yang, 2001

Fuente: Medina, 2010

En el Cuadro 4 se observan los diferentes grupos de microorganismos presentes en el compost. Los hongos son los microorganismos que se encuentran en mayor número de especies, seguido por los actinomicetos y por ultimo están las bacterias (Romero *et al.*, 2000).

Cuadro 4. Tipo de microorganismos presentes en estiércol.

Grupo	Género
Bacterias	Bacillus, Clostridium, Pseudomonas, y Streptococcus
Hongos	Absidia, Allescheria, Aspergillus, Chiatomian, Coprimus, Dactylomyces, Huminocola, Lenzites, Malbranchea, Mortierella, Mucor, Myriococcum, Papulospora, Penicillum, Rhizopus, Scytalidium, Sporotrichum, Talamyces, Thermoascuas, Thioelavia y Torula
Actinomicetos	Acrinobifida, Microbispora, Nocardia, Pseudonocarta, Streptomycetes, Thermonospara

Fuente: Medina, 2010

Todas las reacciones químicas de los microorganismos son catalizadas por enzimas, las cuales no sufren cambios durante el proceso de compostaje. Existen seis clases de enzimas que participan en este proceso, su nombre se basa en el tipo de reacción que catalizan. Las principales son: catalasa, ureasa, proteasa, fosfatasa y glucosidasa (Garcia-Gil *et al.*, 2000; Quintero *et al.*, 2003).

2.3.1 El estiércol como abono orgánico

El estiércol se define como una mezcla de las camas de los animales con sus deyecciones, que mediante fermentación ha sufrido una serie de transformaciones más o menos avanzadas (Guiberteau y Labrador, 1991).

Las excretas en las granjas ganaderas son en muchas ocasiones difíciles de manejar. Este inconveniente comenzó a manifestarse con el advenimiento de la era moderna. Los grandes núcleos ganaderos aumentaron su densidad poblacional, incrementándose así la cantidad de desechos, que se convierten en un ciclo de contaminantes como malos olores, presencia de roedores, foco de enfermedades para el mismo ganado y contaminación de mantos freáticos, entre otros (Leslie *et al.*, 1999). Sin embargo, tomando en cuenta el contenido de nutrimentos que estas excretas poseen pueden ser utilizadas como un abono orgánico.

El estiércol animal es relativamente rico en nutrimentos y tiene un valor que justifica su transporte a los campos; este tipo de abono puede ser utilizado provechosamente en horticultura, generalmente después de compostarse con residuos vegetales.

Castellanos (1982), en una revisión de datos acerca de la composición de los estiércoles de USA encontró un intervalo muy amplio de concentraciones de cada uno de los elementos. Evidentemente el efecto de la ración alimenticia del animal y el tratamiento del estiércol después de su excreción tiene un efecto tan grande en la composición del estiércol que el efecto de la especie animal es poco consistente.

El nitrógeno es el elemento más importante en el uso de los estiércoles como fertilizantes. Los factores que controlan la disponibilidad de N en estos son: La cantidad, distribución entre las formas orgánicas e inorgánicas y la velocidad de mineralización de nitrógeno orgánico.

El fósforo de los estiércoles es mucho menos soluble que el potasio. Cerca del 30 % de su totalidad se encuentra en forma orgánica, aproximadamente el 25 % es soluble en agua y un 45 % se encuentra en formas solubles inorgánicas. A diferencia del potasio que es por lo general completamente soluble en agua y se considera tan disponible como el de las fuentes; cloruro de potasio o sulfato de potasio, excluyendo a los estiércoles que contienen mezclas substanciales de suelo.

En la composición del estiércol sólido cabe mencionar una notable heterogeneidad. Se trata de un abono compuesto de naturaleza órgano-mineral rico en materia orgánica y con un contenido bajo de elementos minerales. Su nitrógeno se encuentra casi exclusivamente en forma orgánica y requiere la mineralización previa para ser asimilado por los cultivos, se caracteriza en general por un contenido reducido de nitrógeno amoniacal, fósforo y potasio. El potasio se encuentra al 50 % en forma orgánica y mineral. El estiércol bovino contiene además, gran número de oligoelementos y sustancias fisiológicamente activas como hormonas, vitaminas y antibióticos y mantienen una enorme población microbiana (Labrador, 2001).

De acuerdo con Powers, (2000) la pérdida de nutrientes es mayor en los estiércoles frescos que son apilados por tiempos largos, que cuando se utilizan aditivos o se incorporan de manera inmediata al suelo. Los contenidos de humedad (80%) del estiércol hacen difícil su manejo en el proceso de compostaje. Para disminuir el contenido de agua se utilizan ingredientes para absorber humedad como las pajas, rastrojos, aserrín y polvos alcalinizantes.

El almacenamiento del estiércol no afecta la concentración de los nutrientes, sin embargo, el estiércol seco tiene una mayor concentración de nutrientes que el estiércol fresco (Lupwayi *et al.*, 2000). La mayor o menor pérdida de nutrientes del estiércol está en función de las condiciones climáticas, de la textura y el pH del suelo (Prigge y Bryan 1991). En varios experimentos entre ellos el realizado por

Eghball (2002), se ha evaluado que el nitrógeno y fósforo del estiércol fresco está asociado con las proteínas del alimento que consumen los animales y estas proteínas están fuertemente correlacionadas con la digestión de las pepsinas.

La diferencias en el contenido mineral de los diferentes estiércoles esta correlacionado con los minerales del producto del compostaje (Dao y Cavigelli, 2003). El nitrógeno, fósforo y potasio son los minerales más estudiados en los abonos orgánicos y en los estiércoles. El promedio de estos esta en 3.0 2.6 y 4.2 % respectivamente como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Contenido mineral de algunos tipos de estiércol

Tipo de estiércol	Mineral														Autor
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	Ni	Cr	Pb	Cd	
Bovinos Lecheros	1.2	0.5	6	4	0.8	1.4	4288	28	86	< 3	3	8	< 3	< 0.2	Garcia-Gilet al 2000
Bovinos Lecheros	1.7	5	4.5												Smith, 1991
Bovinos Lecheros	0.5	0.2	0.2	0.3											Martinez, 1998
Bovinos Lecheros	1.4	1													Eghball, 2000 y Power, 2000
Bovinos Lecheros	3.1	1.9	10	6.2	1.9		7983	114	704	27					Lupwayi et al., 2000
Bovinos Lecheros	2.9	1.3	3.2												Griffin et al., 2003
Bovinos Lecheros	3.2	2.2	8.6	1.4	1.4										Whalen et al., 2000
Bovinos engorda	2.2	1													Dao y Cavigeli, 2003
Bovinos engorda	2.1	1.2	3.2												Griffin et al., 2003
Gallinaza	1	0.8	0.4												Martinez, 1998
Gallinaza	3.3	1.8	1.8												Romero-Lima et al., 2000
Pollinaza	6.8	1.4	0.8	2.5	0.7										Galler y Davey, 1971
Pollinaza	6.3	8.8	3.2												Smith, 1991
Pollinaza	1.2	0.4	0.5	1.4											Barnard y Harms, 1992
Pollinaza	7.7	7.3	13												Griffin et al., 2003
Cerdo	3.8	5.4	4.1												Smith, 1991
Cerdo	1	0.8	0.4												Martinez, 1998
Cerdo	7.1	7.6	9.3												Griffin et al., 2003
Ovino	1.7	0.1	2.1	0.2											Martinez, 1998
Ovino	3.8														Smith, 1991
Caballo	2.3														Smith, 1991

Fuente. Medina, 2010.

Para hacer uso del estiércol como abono orgánico este debe distribuirse sobre el suelo después de la cosecha y/o antes del periodo invernal y enterrarlo, para evitar pérdidas de compuestos volátiles, de manera, que su descomposición en la siembra o en el trasplante haya terminado. El estiércol fresco puede ser utilizado

en el abonado de cultivos exigentes que toleran la materia orgánica fresca, como el cultivo de papa, remolacha, jitomate, etc. (Guibertau y Labrador, 1991).

Moore y White (1983) describen cinco factores para la utilización óptima de los nutrimentos del estiércol por los cultivos: a) contenido mineral en el estiércol, b) viabilidad de los nutrimentos del estiércol por las plantas, c) requerimiento de nutrimentos por los cultivos para obtener buenos rendimientos productivos, d) contenido mineral en el suelo y e) frecuencia de aplicación de estiércol a los cultivos.

El buen manejo del estiércol permite reducir las pérdidas de nutrimentos. Sin embargo, existen otras características como el porcentaje de cenizas, relación carbono-nitrógeno (C/N), pH y conductividad eléctrica (CE) (Cuadro 6), que determinan la velocidad en que los microorganismos puedan degradar la materia orgánica y que los nutrimentos puedan ser absorbidos por la plantas.

Cuadro 6. Componentes de algunos estiércoles.

Tipo de estiércol	Cenizas (%)	C/N	pH	CE (ds m-1)	Autor
Bovinos lecheros	64.1	15.9	8.8	7	García-Gil et al., 2000
Bovinos lecheros	70.6	13	7.9	4.7	Eghball, 2002 y Power, 2000
Bovinos lecheros	13.7	17.4	7.6		Yang, 2001
Bovinos lecheros		11			Griffin et al., 2003
Bovinos lecheros		10.9	6.8	29.6	Whalen et al., 2000
Bovinos de engorda		29.6			Griffin et al., 2003
Bovinos de engorda		16	7.8	1.4	Dao y Cavigelli, 2003
Ovinos	17	32			Martínez, 1998
Pollinaza	47.8	11			Martínez, 1998
Pollinaza			6.5		Barnard y Harms, 1992
Pollinaza		6.3			Griffin et al., 2003
Pollinaza	30.8	11.5	8.1		Yang, 2001
Pollinaza		33.6	8.8		Galler y Davey, 1971
Cerdo		7.7			Griffin et al., 2003
Cerdo	6.3	14.7	6.5		Yang, 2001
Cerdo	46.9	16			Martínez, 1998
Caballo	3.8	18			Martínez, 1998

Fuente Medina, 2010

Cuervo (2010), en su investigación abonos orgánicos como insumo de nutrición vegetal en un sistema hidropónico alternativo utilizando 3 niveles (100, 200 y 300 kg de nitrógeno ha⁻¹) en cada uno de los abonos orgánicos: gallinaza, lombricompost y estiércol bovino, además de usar estos mismos incorporados en el nivel 2; encontró que la gallinaza superficial influyo en mayor producción de hojas y área foliar, el lombricompost superficial mostro un aumento creciente en todas las variables sin llegar a ser de los mejores y el estiércol bovino superficial presento un decremento de todas las variables en el nivel 3 (300 kg de nitrógeno ha⁻¹). Los tratamientos incorporados en el sustrato tuvieron un mejor efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas de chile güero. El mejor tratamiento fue el estiércol bovino incorporado.

2.4 Fertilización química

Los fertilizantes proveen nutrimentos que los cultivos necesitan. Con los fertilizantes se pueden producir más alimentos y cultivos comerciales de mejor calidad. Además se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados. Todo esto promoverá el bienestar de su pueblo, de su comunidad y de su país (FAO e IFA, 2002).

Los fertilizantes continuarán jugando un papel importante, y esto sin tener en cuenta tecnologías nuevas que puedan surgir. Se estima que, a escala mundial, aproximadamente el 40 % del suministro proteínico de la dieta a mediados de la década de los noventa tuvo su origen en el nitrógeno sintético producido por el proceso Haber - Bosch para la síntesis de amoníaco (FAO e IFA, 2002). Los fertilizantes inorgánicos nitrogenados son generalmente producidos a partir nitrógeno gaseoso con el uso de energía en un proceso conocido como Haber-Bosch, el fertilizante de P se produce a partir de los fosfatos de roca usando ácido sulfúrico, y K se extrae a partir de minerales de gran parte del mar (Lægneid *et al.*, 1999). Se ha sugerido que comercialmente reservas viables de las rocas de sulfato y fosfato se han utilizando con tanta rapidez que éstas se agotarán dentro de la próximos 25-100 años (Kesler, 2007). Fluctuaciones en los precios de

energía y materias primas provocan un aumento espectacular y la incertidumbre en los costos de los fertilizantes agrícolas, con impacto negativo sobre la sostenibilidad de la agricultura.

El uso de fertilizantes químicos se considera como un complemento del mantenimiento de la fertilidad del suelo y del equilibrio necesario entre los nutrimentos que presentan relaciones antagónicas. Además para intensificar interrelaciones suelo-planta-microorganismos.

En México los fertilizantes químicos se utilizaron desde mediados del siglo XX y rápidamente se convirtieron en elementos indispensables para los campos agrícolas (Aguirre-Medina *et al.*, 2009). Su amplia distribución entre los productores y su fácil manejo hicieron una barrera para el aprovechamiento de los recursos biológicos con potenciales biotecnológicos en la agricultura (Shankar *et al.*, 2011).

Para la fertilización química convencional se hace uso de fertilizantes como urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, nitrosulfato de amonio, fosfatos amónicos, nitrofosfatos y existen los llamados fertilizantes nitrogenados de lenta solubilidad, estos últimos con la ventaja del largo efecto residual en el suelo, además se pueden aplicar en dosis elevadas sin causar problemas de salinidad. Usualmente el fertilizante químico más usado es la urea por su fácil acceso y relativo bajo costo. La producción de este en México llegó a ser de 1.6 millones de toneladas en 1995, pero en 2002 discontinuó su producción, aunque su consumo llegó a 1400 000 de toneladas en 2003, debido a las importaciones de urea de mas bajo precio provenientes de Europa Oriental.

Como ya se menciona la principal materia prima para la producción de fertilizantes fosfatados es la roca fosfórica o apatita, siendo la más común la fluorapatita $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]_3\text{CaF}_2$. La roca usada en la síntesis de fertilizantes en México proviene en su mayor parte de Florida U. S. A. y de Marruecos. Las mayores reservas en

México se encuentran en Baja California Sur. Los fertilizantes de uso más común son: superfostato de calcio simple y triple, fosfato monoamónico.

Por último para el caso de México la mayoría de los suelos se encuentran bien abastecidos de potasio, ya sea por estar ubicados en zonas áridas, que no favorecen su lixiviación o bien por estar influenciados por la actividad volcánica que deposito en ellos cenizas ricas en potasio. Las hortalizas y ornamentales bajo manejo intensivo requieren de altas dosis para un buen rendimiento y calidad. Los fertilizantes más usados son el cloruro de potasio y el nitrato de potasio, los complejos triple 15 y triple 17 y el sulfato de potasio (Nuñez, 2006).

De acuerdo a Simon *et al.* (2002), las hortalizas son consideradas como los cultivos que requieren aplicaciones altas de fertilizantes debido a la gran demanda así como el alto valor económico. Esta dosis excedente es el reflejo de la inseguridad de los agricultores que no quieren correr el riesgo de pérdidas de rendimiento debidas a la escasez de nutrimentos, ya que los costos de fertilizantes son bajos comparados con el valor del producto (1.2% del producto interno bruto ingresos).

2.4.1 Ventajas de la fertilización química

Marinari *et al.* (2007), 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), demostraron 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.

Georgios *et al.* (2007), 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

crecientes de fertilizantes inorgánicos deben ser evitadas puesto que ciertas condiciones de clima produce acumulación 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 inorgánica aplicada.

Abundantes estudios desarrollados en suelos con texturas gruesas muestran incrementos significativos en la producción de trigo al incrementarse la oferta de nitrógeno (N) del suelo y en algunos casos respuestas positivas al agregado de azufre (S). En todos los sitios se observó respuesta significativa al agregado de N con un incremento promedio de 949 kg ha^{-1} con respecto al tratamiento control. Para S, si bien la respuesta media fue de 232 kg ha^{-1} , sólo en el 38% de los casos (13 sitios) se observaron aumentos de rendimiento por la adición de dicho nutriente, relacionándose positivamente con la respuesta a la fertilización con N. Esta respuesta fue independiente de los contenidos de materia orgánica (MO) ($p = 0,61$), de S-S04 2- ($p = 0,29$), de N-N03 - ($p = 0,47$) disponibles al momento de la siembra o de arena de los suelos ($p = 0,90$). No obstante, la respuesta disminuyó en la medida que se incrementaron los rendimientos máximos (Díaz *et al.*, 2009) Díaz-Zorita *et al.* (2002) describieron en ambientes del norte de Buenos Aires y sur de Córdoba y Santa Fe, incrementos medios de los rendimientos de trigo del orden del 21,6% para aplicaciones con N respecto a los tratamientos sin fertilizar y del 4,6% para aplicaciones con S en tratamientos fertilizados con N. Al considerar sólo los sitios con respuesta significativa a la fertilización NS, éstas variaron entre el 6 y el 29% por sobre los rendimientos del tratamiento con N y fueron de similar magnitud a las descritas por Reussi Calvo *et al.* (2008), en suelos del sudeste de Buenos Aires con baja disponibilidad de S y bajos contenidos de MO, característicos de suelos bajo prácticas agrícolas prolongadas.

2.4.2 Desventajas 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 de 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 desarrollo (Conley *et al.*, 2009. Blanco y Hammond, 2009). Por tanto razones comerciales como ambientales, es evidente que los fertilizantes deberían utilizarse con precaución, y que la producción de cultivos para alimentos en el futuro con seguridad requerirá del manejo de la fertilización sostenible, que podría incluir herramientas más sofisticadas, mejores prácticas agronómicas y cultivos o sistemas de cultivos sistemas que requieren menos fertilizantes como insumo fertilizantes

La aplicación de fertilizantes implica el riesgo de pérdidas de nutrimentos (N, P) causando la eutrofización o la contaminación de los mantos freáticos y pozos de agua potable. Un método para reducir las pérdidas es el adecuado manejo en la aplicación de fertilizantes químicos, la otra vía sería la de considerar la capacidad de la planta para hacer los nutrientes eficientes. Eficiencia de nutrientes se define generalmente como la capacidad de una planta para dar un alto rendimiento en condiciones limitantes al suministro de nutrimentos (Schenke, 2006).

Los fertilizantes nitrogenados son de mayor incidencia en la contaminación del suelo, atmósfera, acuíferos superficiales y subterráneos (Peña-Cabriales *et al.*, 2001); en tanto los fosforados, por su gran acumulación, contaminan el suelo y acuíferos superficiales (Castellanos y Peña-Cabriales, 1990; Páes *et al.*, 2007). En los últimos años, el aumento de los costos de fertilizantes nitrogenados y la mayor importancia en las emisiones de gases de efecto invernadero han llevado a una mayor atención al uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados (Rochester *et al.*, 2007).

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 las 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. Tratándose de materias primas y productos importados, su adquisición significa entre otros tener los costos basados en moneda extranjera, salida de divisas y la necesidad de mantener subsidios para equilibrar el desfase entre los precios internos de los productos y los precios externos de los insumos.

Si hablamos del uso de fertilizantes podemos encontrar sus variaciones ya sea en el uso convencional o en fertirriego, se puede decir que existen ciertas desventajas, por ejemplo en fertirriego puede 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

Al evaluar el rendimiento de *Solanum phureja* con la aplicación de fertilizante químico 13-26-6 en dosis de 0, 600, 900 y 1.200 kg ha⁻¹ y abono orgánico en dosis de 0, 800, 1.000 y 1.200 kg ha⁻¹. La aplicación de fertilizante químico no incrementó la producción, tal vez porque las mayores cantidades de nitrógeno inciden en un desarrollo excesivo de follaje y no de tubérculos

Según Rodríguez y Rodríguez (2005), en estudios realizados en el municipio de Pasto (Nariño), los gastos en fertilizantes en el cultivo de papa criolla representan 29, 26% de los costos totales, y dosis de fertilizante químico superiores a 900 kg ha⁻¹ ocasionan un crecimiento vegetativo exuberante y reducción en la producción de tubérculos.

2.5 Fertilización órgano-mineral

En un experimento en pastizales donde se investigó la influencia del estiércol o urea como fuente de fertilizante en las funciones del suelo y el reciclaje de nutrimentos, se evaluaron los efectos de la fuente de fertilizante sobre las actividades enzimáticas a 5 dosis de P (0-120 mg·kg⁻¹ P como estiércol o como urea+KH₂PO₄). Los fertilizantes incrementaron significativamente ($P<0.05$) el fósforo extractable después de la segunda aplicación, en las 3 profundidades de

suelo superiores. El fósforo extractable fue mayor en la superficie de las parcelas donde se aplicó el estiércol, aumentando 44%. Sin embargo, el aumento de la extractibilidad del P, en proporción al P total aplicado, fue similar para el estiércol y el KH_2PO_4 . Las actividades de la fosfatasa aumentaron significativamente después de la aplicación de estiércol, tanto en condiciones de campo ($P=0.007$) como en ambiente controlado ($P=0.003$). Las elevadas actividades de la fosfatasa después de la aplicación de estiércol probablemente condujeron a un aumento en la mineralización del P y a extractibilidades del P, con relación al P total aplicado, similares para suelos con aplicaciones de estiércol y KH_2PO_4 . Por lo tanto, al determinar las dosis de aplicación, el P total del estiércol debe ser considerado biodisponible (Jourdan *et al.*, 2006).

Se evaluó la aplicación de estiércol en pastizales de Nuevo México dominados por el zacate “Blue grama” (*Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Griffiths), con el objetivo de ver el impacto de la aplicación sobre la vegetación. De acuerdo al contenido de fósforo (P), las aplicaciones fueron: la cantidad recomendada (ligera) de $54 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$ y una sobre aplicación (fuerte) de $493 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$. La cantidad de estiércol aplicada en base a peso seco fue 0, 11 739, y 107 174 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los tratamientos orientados a la aplicación como medio de utilización del exceso de estiércol no son apropiados para pastizales de zacate “Blue grama” debido a la disminución persistente en la cobertura herbácea y cambios en la salinidad del suelo. Una aplicación ligera de estiércol basada en P puede incrementar la producción de hierba y particularmente la biomasa de pasto en pastizales áridos de “Blue grama”. Las aplicaciones exitosas de estiércol en pastizales dependerán de manejo apropiado para asegurar que los objetivos se cumplan mientras se minimiza cualquier riesgo para el medio ambiente (Lanson *et al.*, 2005).

Los estiércoles se mezclan con fertilizantes minerales para enriquecerlos con nutrimentos y así aumentar la producción de los cultivos (Ruiz, 1996). 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 demostraron que el rendimiento de grano (14 % de humedad) de maíz fue cercano a 2.5 t ha⁻¹ para el testigo, y aumentó a 3.9 t ha⁻¹ cuando se aplicó fertilizante mineral 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 10 t ha⁻¹ lo cual sugiere que la gallinaza corrigió prácticamente todas las necesidades nutrimentales del maíz (Pool-Novelo *et al.*, 2000).

Capulín *et al.* (2001), indicaron que el método y la forma de aplicación del estiércol son factores importantes a considerar para evitar pérdidas de nutrimentos, principalmente de N, y mantener la mayor cantidad de esos elementos disponibles para el cultivo.

Schmitt y Rehm, (1998), encontraron que de 70 a 90% del P y K aplicados en el estiércol pueden ser liberados al cultivo en el primer año. La disponibilidad de N total para la planta en el primer año representa 25% cuando no es incorporado al suelo, 60% cuando se incorpora en un periodo menor a 12 horas, 45% cuando se incorpora en un lapso menor de cuatro días y 55% cuando se inyecta en forma líquida. La pérdida de N total es de 35% cuando no se incorpora al suelo; 5% cuando se incorpora antes de 12 horas; 20% al incorporarse en un lapso menor de cuatro días, y 5% cuando se inyecta en forma líquida.

Salazar-Sosa *et al.* (2004), en su experimento y para el segundo año de aplicación los resultados con respecto al rendimiento total de tomate, presentaron significancia estadística al (P<0.05). En este año el testigo fue superado por la mayoría de los tratamientos con aplicación de estiércol, siendo mejor el tratamiento con 120 t ha⁻¹ y acolchado con 119.58 t ha⁻¹. Con respecto al tratamiento con fertilizante químico y acolchado no presentó diferencia con el de 120 t ha⁻¹ de estiércol y acolchado, cuyo rendimiento fue igual, lo que demuestra la bondad del estiércol en la disponibilidad de nutrimentos después del segundo año de su aplicación.

Los resultados que obtiene Nieto-Garibay *et al.* (2002), muestran que la mayor retención de humedad en el suelo correspondió a la dosis de 50 t·ha⁻¹ de composta comercial en Baja California Sur. Las variables como densidad real (Dr) y porosidad total (% Ep) resultaron estadísticamente diferentes sólo para el tratamiento de 100 t·ha⁻¹ de composta comercial, que presentó la mayor porosidad. Los valores mayores se atribuyen a la mayor cantidad de composta aplicada con respecto al resto de los tratamientos. Dentro de las conclusiones más importantes está La aplicación de composta en una dosis de 25 t·ha⁻¹ que resultó ser la dosis más adecuada para el cultivo de chile en zonas áridas o semiáridas.

Nieto-Garibay *et al.* (2001), en su estudio con la especie de chile *Capsicum frutescens* cultivada en macetas encontró que el efecto de la composta se reflejó a los cuatro meses de experimentación sobre las variables PMP y HA. Es probable que tal diferencia radique en la condición de la maceta.

Abou *et al.* (2003), En un experimento establecido durante los años 1992- 1994 en suelo arenoso, en el cultivo de papa y con utilización de estiércoles de ganado bovino, estiércol de ave y fertilizante mineral demuestran que la mezcla de ambos estiércoles aumentaron la materia seca del cultivo y el total de carbohidratos por ende la mezcla de ambos estiércoles mostro el mayor rendimiento. Pero no hubo diferencias para ambos ciclos.

Kulakovskga y Brysovskii (1984), encontraron que las tasas y la combinación óptima de fertilizantes orgánicos y minerales fueron eficaces para la obtención de altos rendimientos de la patata. Esto indica que una combinación de fertilizantes minerales y orgánicos mejora de la calidad la patata.

2.6 Cultivo de chile

La importancia del cultivo de chile se remonta a la época prehispánica que junto con la calabaza el maíz y el frijol, fueron la base de alimentación del México

antiguo (López, 2003; Noriega, 2009). El género *Capsicum* comprende alrededor de 25 especies, de las cuales la mayoría son originarias de México (López, 2003). El principal productor de chile fresco a nivel mundial es China, mientras la india se posiciona como el principal productor de chile deshidratado (FOASTAT, 2011), lo que sugiere que la tecnología de producción en México necesita ser revalorada (Reyes y López, 2001).

En la actualidad se admite que solo 5 especies de chile son las que se cultivan comercialmente (León, 2000). Estas especies fueron domesticadas en la época prehispánica de manera independiente y en diferentes zonas geográficas: a) *Capsicum annum* Var *annum* domesticada en Mesoamerica, b) *Capsicum baccatum* Var. *Pedulum*, chiles sudamericanos del grupo de los ajies, 3) *Capsicum chinense*, chile habanero, 4) *Capsicum frutesces*, chiles tipo Tabasco, 5) *Capsicum pubescens*, especie andina que incluye a los pimientos conocidos como Rocoto (Berrios *et al.*, 2007).

Se ha demostrado que el chile es una fuente excelente de colorantes naturales, vitaminas como la C, E, y A y minerales. Además, el interés de esta planta se ha incrementado por la presencia de otros compuestos, conocidos como fitoquímicos, que tienen un efecto benéfico sobre la salud humana (Guzmán-Maldonado y Paredes-López, 1998). Dentro de este grupo de compuestos se encuentran los ácidos fenolicos, de los cuales se sabe que reducen el riesgo de contraer cáncer, problemas cardiovasculares y otras enfermedades crónico degenerativas (Dillard y German, 2000).

En materia de lo que concierne al presente trabajo tenemos por mencionar algunos aspectos relevantes del cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) este es originario de Perú, pero se cultiva en varios países (Pérez y Castro, 2008). Además de dar sabor a las comidas, el chile tiene cualidades nutritivas por su contenido en vitaminas A y C (Maroto, 2002). El picor de estos chiles se debe a los capsaicinoides, 80 % de los cuales son capsaicina y la

dehidrocapsaicina (Topuz y Ozdemir, 2004). Los capsaicinoides también tienen propiedades biológicas utilizadas en la industria y en farmacéutica (Surch y Lee, 1996), entre estas propiedades se encuentran la estimulación del sistema cardiovascular (Govindarajan y Sathyanarayana, 1991) y su actividad antiinflamatoria (Sancho *et al.*, 2000).

Dentro de los estudios que se han realizado sobre chile manzano se tienen los realizados por Pérez (2002), quien reporta que los mejores progenitores para formar híbridos de chile manzano son: la variedad Puebla y Zongolica, cuya cruce produjo mayor rendimiento de fruto con 48 t ha^{-1} y la mayor heterosis (51 %). Además menciona que el mejor progenitor para un programa de mejoramiento por selección recíproca recurrente es la variedad Puebla, esta posee efectos de actitud combinada general (ACG) mayores que el resto de las variedades evaluadas.

Los seis progenitores de chile manzano: Zongolica, Huatusco I y II, Puebla, Chiapas y Perú, varían sus contenidos de capsaicinoides de 2420 a $3690 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso seco de frutos, en donde la variedad Puebla presenta el menor valor y Perú el más alto (Pérez y Castro, 2008).

2.6. 1 Los Capsaicinoides

Los capsaicinoides se producen por glándulas en la placenta del pimiento, que se encuentran en la parte superior de la separación, inmediatamente por debajo del pedúnculo y por eso la placenta es unas 16 veces más picante que la pulpa del fruto. Así dependiendo de la variedad de la planta, se dan diferentes concentraciones de capsaicinoides que dan diferentes pungencias; por esto unos pimientos son más picantes que otros (Bellringer, 2003).

Los principales capsaicinoides son nornorcapsaicina, norcapsaicina, capsaicina, homocapsaicina, nornordihidrocapsaicina, nordihidrocapsaicina, dihidrocapsaicina, y homodihidrocapsaicina. La capsaicina (CAP, N-[(4-hidroxi-3-ethoxifenil)metil]-metil(-6-nonenamida) y la dihidrocapsaicina (DH, N-[(4-hidroxi-3-metoxifenil)metil]-

8-metilnonanamida) son los responsables de más de 90 % del picor (Betts, 1999; Manirakiza *et al.*, 2003).

Estos capsaicinoides son insolubles en agua fría, parafina líquida, sorbitol y glicerina líquida, pero solubles en aceites minerales, alcohol etílico, éter, isopropanol, cloroformo y benceno. Son solubles levemente en el aceite de oliva y en ácido sulfúrico concentrado (Polato de Lima, 2001).

El picor es una sensación organoléptica, se debe a compuestos capsaicinoides derivados del metabolismo secundario del grupo de los alcaloides; formados por amidas ácidas de la vanillilamina y ácidos grasos de cadena ramificada de 9 a 11 carbonos a partir de la fenilalanina y la valina (Collins *et al.*, 1995; Zewdie y Bosland, 2000). Se conocen 22 compuestos análogos diferentes (Bosland y Votava, 2000), de los cuales la capsaicina y la dihidrocapsaicina constituyen más de 90% del total presente en los frutos (Suzuki *et al.*, 1981). Estos compuestos se han cuantificado a través de la prueba organoléptica Scoville, en Unidades Scoville de Picor (USP) (Krajewska y Powers, 1988).

Los capsaicinoides también poseen propiedades analgésicas, anti-inflamatorias, antioxidantes e incluso anticancerígenas al inhibir el crecimiento dependiente de andrógenos en células cancerígenas de seno, colon, adenocarcinoma gástrico y de próstata (Djamgoz elsbilen, 2006; Moriet *et al.*, 2006). El potencial de los chiles como fuentes de capsaicinoides en la industria farmacéutica ha promovido su estudio fitoquímico.

El compuesto que más influye en la pungencia en *Capsicum* es la capsaicina, que es el capsaicinoide más abundante del grupo. Este compuesto está situado en las venas o las costillas interiores del pimiento, cerca del bolsillo del germen. La mayor concentración de capsaicina se encuentra en la placenta del pimiento y no en sus semillas como es creído generalmente. La capsaicina es un alcaloide cristalino excepcionalmente potente, que no existe en ninguna otra planta. Es la

fuente de la sensación de calor en el cuerpo del organismo que come el pimiento. Esta es soluble en grasas y aceites, pero no en agua (TOD, 2000).

El contenido de capsaicina depende de la variedad, estructura genética, condiciones de crecimiento, la madurez al momento de la cosecha, cualquier estrés que la planta soporta y de los cambios ambientales (Nuez *et al.*, 2003; Berrios *et al.*, 2007). Este último menciona que la cantidad de agua durante el cultivo, fertilidad del suelo u otras condiciones de estrés pueden aumentar el volumen de la capsaicina significativamente. La formación de capsaicina es mayor a temperaturas elevadas en torno a los 30 °C que a temperaturas de 21-24 °C (Vallejo y Estrada, 2004).

Existen 2 métodos para expresar la pungencia de los chiles:

La prueba oral usando la escala Scoville y la prueba de cromatografía líquida de alta presión (American Spice Trade Association ASTA) (Berrios *et al.*, 2007). En esta última técnica se hace uso de un equipo de HPLC (cromatografía líquida de alta presión) y las medidas se expresan en las llamadas unidades ASTA. La pungencia ASTA, expresa la cantidad de capsaicina en ppm, la capsaicina pura es igual a 1 000 000 partes por millón (ppm). La conversión de ASTA a unidades Scoville es 1 unidad de ASTA = 15 unidades Scoville cuya escala va de 0 para los pimientos verdes a 350 000 unidades para el chile habanero (López, 2003).

Los chiles, pertenecientes al género *Capsicum*, son productos agrícolas de gran demanda en el mercado, tanto nacional como internacional. Son consumidos lo mismo en fresco que procesados o secos. Los recursos genéticos del chile (*Capsicum*spp.) son importantes por ser la fuente natural de capsaicinoides que confieren el sabor picante a los frutos. Los reportes sobre la amplitud de esta característica en los chiles nativos cultivados por agricultores tradicionales en México son escasos. Los frutos de chile (*Capsicum*spp.) son relevantes en la alimentación humana y se consumen en fresco y como condimento. La plantas sintetizan y acumula capsaicinoides, un grupo de alcaloides responsables del picor

y ubicados principalmente en el tejido de la placenta adyacente a las semillas (De, 2003; Ben-Chaim *et al.*, 2006). Su contenido depende del genotipo, la madurez del fruto y las condiciones de cultivo (Zewdie y Bosland, 2000).

2.6.2 Contenido de capsaicina en chile manzano

La investigación con respecto a capsaicinoides se ha enfocado a variedades mejoradas de tipos de chile (Sathiyamurthy *et al.*, 2002; Kumar *et al.*, 2003), en especial de tipo habanero (*C. chinense* Jacq.) por su mayor contenido de alcaloides. En la variedad Red Savina Habanero hay 577 000 Unidades Scoville de Picor (USP), y recientemente se ha identificado a la variedad Naga Jolokia (*C. chinense*) de India como la más picante, con más de 1 000 000 USP (Frontal Agritech, 2007).

En el estado de Yucatán, México, el contenido de capsaicinoides en los morfotipos de chile nativos de las especies *C. chinense* y *C. annuum* varía de 1000 a más de 235 000 USP (Alpizaret *et al.*, 2002; Cázares *et al.*, 2005; Casanova *et al.*, 2006). Tal variación estaría determinada por el genotipo, las condiciones climáticas y las prácticas de cultivo en cada localidad, asociadas a su vez con la selección, multiplicación e intercambio tradicional de semillas, así como con el uso culinario de cada tipo de chile, pues los consumidores identifican características organolépticas específicas.

Moran *et al.* (2008), en su investigación identificó y cuantificó los capsaicinoides predominantes en 22 poblaciones recolectadas en nueve municipios de Puebla, México, mediante la extracción de la oleorresina de frutos secos. Todos los chiles estudiados pertenecen a la especie *C. annuum* y son de los tipos Miahuateco, Copi, Nativos de Tecamatlán y Poblano. El contenido de capsaicina fue mayor que el de dihidrocapsaicina, excepto en dos recolectas de los Municipios de Tlacotepec y Texmelucan. El contenido de capsaicinoides varió entre y dentro de los tipos de chile. En el tipo Copi el contenido de capsaicina de chile seco varió de 36.86 a 556.78 $\mu\text{g g}^{-1}$ y el de dihidrocapsaicina de 30.54 a 348.26 $\mu\text{g g}^{-1}$; de chile

seco. En el tipo Miahuateco fue 21.54 a 158.07 $\mu\text{g g}^{-1}$ y 19.54 a 99.24 $\mu\text{g g}^{-1}$. La colecta de chile Copi CP654cl, proveniente de Xochitlán, tuvo los valores mayores para ambos alcaloides.

La acumulación de capsaicinoides en los frutos está relacionada con la edad y el estado de desarrollo del fruto. Empiezan a acumularse en las primeras etapas del fruto y alcanzan su máxima expresión en las etapas finales. Otro factor que influye es el contenido de carotenoides en el fruto (Sakamoto *et al.*, 1994; Estrada *et al.*, 1997). Además la variación en el picor del chile está determinada por factores genéticos y ambientales y por la interacción genotipo por ambiente (Zewdie y Bosland, 2000).

Cruz (2007), en una evaluación de capsaicinoides entre progenitores y cruza de chile manzano reporta que la concentración de cada capsaicinoide difirió significativamente entre genotipos y tejidos del fruto de chile manzano, y la interacción genotipo por tejido también tuvo efecto significativo.

En todos los genotipos la placenta fue el tejido con mayor contenido de capsaicinoides, seguido de la semilla y el pericarpio con un porcentaje promedio de 77.9, 11.7 y 10.4 % respectivamente; la mayor concentración se presentó a los 58 días de desarrollo del fruto, y el híbrido Puebla por Chiapas presentó la mayor concentración con 281 915 unidades Scoville (SHU) en la placenta y su pericarpio presentó una concentración de 38 047 SHU, lo que lo hace apto para su consumo directo. La placenta representa el 10 % del fruto completo, mientras que el pericarpio representa el 87 %.

La dihidrocapsaicina representó el mayor porcentaje (63 %) del total de los capsaicinoides, seguido de la capsaicina (26 %) y nordihidrocapsaicina (11 %). Para las demás especies de *Capsicum* se reporta que capsaicina es la más abundante seguida de la dihidrocapsaicina (Gnayfeed *et al.*, 2001). Los contenidos de capsaicinoides disminuyeron con la madurez del fruto

La concentración de capsaicinoides en el fruto, tanto de los componentes individuales como del total, se redujo durante la maduración del fruto en todos los genotipos evaluados, y la magnitud de la reducción varió entre genotipos. Así a los 58 días desarrollo, las mayores concentraciones de capsaicinoides se registraron en el híbrido Puebla x Chiapas y en su progenitor Chiapas con 68 337 y 55 927 SHU respectivamente, a los 94 días dichos contenidos se habían reducido a 44 793 y 15 429 SHU. Las variedades con el menor picor fueron el progenitor Puebla de fruto rojo (7 125 SHU) y el híbrido Puebla x Zongolica (25 923 SHU) a los 94 días sus valores se redujeron a 4 472 y 11 268 SHU. Los contenidos de capsaicinoides fueron superiores a los reportados por Pérez (2002), en los mismos materiales, en aproximadamente 59 % y 68 % para los progenitores e híbridos.

Cruz-Pérez *et al.* (2007) obtuvieron mayor contenido de capsaicinoides en frutos de 58 días de desarrollo. El híbrido Puebla por Chiapas y el progenitor Chiapas presentaron los contenidos más altos 68 337 y 55 927 SHU, a los 94 días dichos contenidos se redujeron a 44 793 y 15 429 SHU. Para la variedad Puebla amarillo se obtuvo 13 607 a los 58 días, 5 346 a los 76 y 3158 a los 4 días. En este estudio se pudo comprobar que el contenido de capsaicinoides disminuye gradualmente durante el desarrollo del fruto.

III. OBJETIVOS E HIPOTESIS.

3.1 Objetivo general

- Comparar dos sistemas de producción (orgánica e inorgánica), con diferentes dosis en el rendimiento y calidad de Chile manzano

3.2 Hipótesis general

- La incorporación de 50 Mg ha⁻¹ de fertilizantes orgánicos incrementa la calidad de fruto de chile manzano

IV. MATERIALES Y METODOS.

4.1 Localización del sitio experimental

El trabajo se llevo a cabo en invernadero en el campo experimental de la universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. Estado de México.

Se utilizó suelo de la región de Teziutlan Puebla, específicamente el suelo se recolecto en el municipio de Yaonáhuac en la comunidad conocida como Acocogta, el municipio se localiza en la parte noroeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son: los paralelos 19° 52' 06" y 19° 59' 48" de latitud norte y los meridianos 97° 21' 54" y 97° 27' 18" de longitud occidental.

En el territorio del municipio se identifican dos tipos de suelos:

Andosol. Es el suelo predominante, ocupa más del 75 por ciento del municipio y presenta fase lítica profunda (roca entre 50 y 100 centímetros de profundidad.

Luvisol. Ocupa las márgenes del río Apulco y presenta fase lítica profunda.

<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/puebla/> 10-03-2011

4.2 Caracterización del suelo y fertilizante orgánico

En el suelo se realizaron análisis químicos y físicos para su caracterización. Los datos muestran que el suelo es de textura franco arcillo arenoso, con un pH de 5.04, conductividad eléctrica de 5.1 mmhos/cm y con un contenido de nitrógeno de 0.20 % (Cuadro 7). Se realizaron los análisis químicos del compost que se utilizó, cuya composición se baso en estiércol bovino y paja de maíz. En el Cuadro 8 se observa que éste tiene alto contenido de fierro y manganeso 14420 y 429 ppm, respectivamente; el pH fue de 7.88, contenido de nitrógeno de 1.10 % y conductividad eléctrica de 3.82 mmhos/cm. Los análisis correspondientes se llevaron a cabo en el laboratorio de fertilidad de suelos del Colegio de Postgraduados campus Montecillo.

Cuadro 7. Caracterización química y física del suelo utilizado en la producción de chile manzano

Identificación	pH	CE	Ct	N*	P	CIC	K	Ca	Mg	Na	Textura	Clasificación	Fe	Cu	Zn	Mn		
	1:2 H ₂ O	1:5 H ₂ O	Walkley - (%)	Olsen	meq/100g	↔	NH ₄ OAc	1	N®	arena	limo	arcilla	Textural	↔	DTPA	®		
	H ₂ O	mmhos/cm	Black	ppm			pH 7	meq/100g		↔	(%)	®			ppm			
		dS m ⁻¹					(cmoles+Kg ⁻¹)						Fco.arcillo					
Prof. 0-30	5.04	5.1	15.43	0.20	42	12.8	0.5	4.7	0.3	0.1	54	22	24	arenoso	42	0.8	0.6	6

Cuadro 8. Caracterización química del fertilizante orgánico utilizado en la producción de chile manzano

Identificación	pH	CE	C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
	1:2 H ₂ O	mmhos/cm	↔									®
			↔			%		®	↔	ppm		®
	ext.sat	ext.sat	%									
Yaonáhuac	7.88	3.82	18.9	1.10	0.25	2.87	1.00	0.27	14420	1	46	429

Como parte de los parámetros que se evaluaron dentro de los cambios físicos que pueden ocurrir con la incorporación de materia orgánica a partir de la fertilización con compost, se evaluó la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente en el suelo y una vez que se aplicaron las diferentes dosis de fertilizante orgánico, como se puede observar en el Cuadro 9. La capacidad de campo incrementa al aumentar la dosis del fertilizante orgánico, al igual que el punto de marchitez permanente.

Cuadro 9. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente para las mezclas evaluadas y el suelo

Muestra	CC	PMP
Suelo	23.9782	15.531
M1	25.8873	18.0262
M2	28.9401	19.1984
M3	27.5488	20.829
M4	33.0342	21.8358
M5	33.9802	22.1434

M1=suelo+10 Mg ha⁻¹, M2=suelo+ 20 Mg ha⁻¹, M3=suelo+30 Mg ha⁻¹, M4=suelo+40 Mg ha⁻¹, M5=suelo+50 Mg ha⁻¹

4.3 Aplicación de fertilizantes

La fertilización química se llevo a cabo en 3 partes tomando como la primera aplicación al momento del trasplante solo para las fuentes de nitrógeno y potasio, no así para el fosforo, este último se aplico todo al momento del trasplante, las fuentes utilizadas fueron: urea, triple 16 y cloruro de potasio, ya que estos fertilizantes químicos son los comunes en la región de donde se extrajo el suelo y se cultiva chile manzano a nivel de traspatio. La primera aplicación de fertilizante se realizo con triple 16 cubriendo los requerimientos de fosforo, nitrógeno y potasio

Cuadro 10. Dosis de fertilizante químico por tratamiento y planta en el cultivo de chile manzano

Tratamiento fertilizante inorgánico	Requerimiento g planta ⁻¹			Requerimiento para el tratamiento		
	Urea	T16	KCl	Urea	T16	KCl
200-100-200	17.92	51.51	17.92	89.6	257.5	89.6
150-75-150	13.43	38.63	13.43	67.15	193.15	67.15
100-50-100	8.96	25.75	8.96	44.8	120.75	44.8
50-25-50	4.48	12.87	4.48	22.4	64.35	22.4
0-0-0	0	0	0	0	0	0
Total				223.95	635.75	223.95

Cuadro 11. Cantidades a de fertilizante orgánico por planta y por tratamiento

Tratamientos con fertilizante orgánico	Kg/ tratamiento
10 t ha ⁻¹	4.12 kg planta ⁻¹
20 t ha ⁻¹	3.29 kg planta ⁻¹
30 t ha ⁻¹	2.47 kg planta ⁻¹
40 t ha ⁻¹	1.64 kg planta ⁻¹
50 t ha ⁻¹	0.824 kg planta ⁻¹
Total	61.72 Kg

4.4 Material vegetal

Se evaluó una colecta de la región de Teziutlán Puebla. La siembra se realizó en el mes de febrero de 2010 en invernadero. Las plantas se trasplantaron cuando tenían 12 hojas verdaderas en un arreglo de 1.5 m entre líneas y 0.5 m entre plantas. Las macetas se llenaron con suelo para el caso de los tratamientos con fertilizante químico y con la mezcla respectiva para el caso de los tratamientos con fertilizante orgánico. Los tutores se colocaron cuando las plantas tenían un mes de trasplante, estos constaron de estacas de 2 m de alto ubicadas en los extremos de las hileras como soporte, e hilos de rafia a lo largo de las hileras de las plantas colocados horizontalmente a una distancia de 20 cm entre ellos. Las estacas se colocaron en forma de “V” con la finalidad de que las plantas captaran mayor cantidad de radiación solar.

Control de plagas y enfermedades. Las plagas que se presentaron en el cultivo durante su desarrollo fueron: pulgón *Mizus Persicae*, como la más importante durante la etapa de plántula, mosquita blanca *Bemisia tabaci*, en el desarrollo del cultivo y trips, para controlar estas plagas se colocaron trampas amarillas con pegamento (bug clean), además se aplicaron productos químicos para la erradicación de las plagas. Para el caso de enfermedades no se presentó ninguna de ellas pues se hicieron aplicaciones preventivas contra la secadera del chile (*Phytophthora Capsici*).

4.5 Diseño experimental y diseño tratamientos

El experimento se llevó a cabo en un diseño experimental bloques al azar. El diseño de tratamientos consta de 10 tratamientos con 5 repeticiones.

4.6 Variables evaluadas

- *Altura de planta (cm):* Se determinó mediante el uso de cinta métrica, se midió a partir de la superficie del sustrato hasta la parte apical. En esta variable se realizaron 20 mediciones con intervalos promedio de 8 días entre mediciones
- *Diámetro de tallo:* Se determinó mediante el uso del vernier digital marca truper. En esta variable se realizaron 20 mediciones con intervalos promedio de 8 días entre mediciones
- *Lecturas SPAD (Clorofila):* Se determinó con el equipo Minolta SPAD-502
- *Área foliar (cm²).* Se determinó con un integrador de área foliar LI-3100 (LI-COR, INC. Lincoln, Nebraska, EUA). En esta variable se tomaron 17 mediciones a lo largo del desarrollo del cultivo.
- *Peso de fruto fresco (rendimiento).* Los frutos de cada tratamiento se pesaron en una balanza digital.
- *Número de frutos por tratamiento.* Al final de la cosecha se sumó el número de frutos acumulados por tratamiento y se separó entre frutos comerciales e inmaduros.

- *Peso seco de biomasa total (índice de cosecha)*, Los órganos fueron secados a 70° C en estufa, hasta peso constante y posteriormente se pesaron en una balanza digital, para ello se separo tallo, hojas y fruto comercial, es decir, rendimiento. El índice de cosecha se obtuvo con la formula $IC = \frac{PSFR}{(PSPA + PSFR)}$ todo esto en gramos por planta.
- *Diámetro ecuatorial y polar (mm)*. Se determino mediante el uso de vernier digital marca Truper.
- *Firmeza de fruto*: Esta variable se midió con el uso de un penetrometro o texturometro universal de marca Forcefive, modelo FDV-30, la unidad de medida Newtons mínima 0.01 libras máximo 30 libras.
- *° Brix*: Se determino mediante el uso de un refractometro digital de marca Atago con una escala de 0-30%
- *Grosor de pericarpio*: Se obtuvo esta variable mediante el uso del vernier digital marca truper.
- *Vida de anaquel*: Para medir esta variable se colocaron en promedio 5 frutos de cada tratamiento en un contenedor de plástico a temperatura ambiente durante 3 semanas. Se realizo la determinación del peso inicial y al cabo de las tres semanas se peso por segunda vez, obteniendo la pérdida de peso durante este periodo.

Técnica para la determinación de capsaicina

En la determinación de capsaicina se utilizo un método que incluye la extracción, purificación y cuantificación. En la operación de extracción, se empleo un sistema que comúnmente se utiliza para efectuar una determinación de extracto etéreo mediante la técnica Soxhlet. La sustancia extractora fue alcohol isopropilico. La determinación se hizo espectrofotómetro (Thermo Spectronic UV-Visible Spectrophotometer, Spectronic GENESYS 10 UV-Vis) con una longitud de onda de 190 – 1100 nm, modelo spectral R-5 nm y longitud de onda, dentro del espectro ultravioleta. Correspondiente a 281 mu, utilizando como testigo alcohol isopropilico puro, para ajustar el aparato. (Roaro, 1989).

Determinación de nitrógeno método Kjeldahl

Uno de los métodos que se han utilizado para evaluar el nitrógeno presente en diversos materiales, es el kjeldahl, el cual se desarrollo en el siglo pasado por johan Kjeldahl en 1883 (Jones *et al.*, 1991), pero debido a su firme principio químico, todavía se emplea en casi todo el mundo, con muy ligeras modificaciones (Bradstreer, 1965; Morries, 1983).

En este método el nitrógeno orgánico y los nitratos, son convertidos a la forma amoniacal, en presencia de acido sulfúrico; el amonio posteriormente destilado y recibido en ácido bórico, para finalmente ser cuantificado, por titulación con un acido fuerte, en presencia de un indicador que generalmente es la mezcla de verde de bromocresol-rojo de metilo (Alcantar y Sandoval, 1999).

Análisis estadístico: Los datos del experimento fueron analizados mediante el paquete estadístico SAS (SAS, Institute, 2004; Cary, NC, USA), se realizó la prueba de comparación de medias ANOVA con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Altura de planta

De acuerdo con la Figura 1, la aplicación de 150-75-150 de NPK presentó la mayor altura (148 cm), el testigo sin aplicación de fertilizante químico u orgánico presentó la menor altura (66.8 cm) a lo largo del ciclo de crecimiento. La aplicación de 200-100-200, es el tratamiento que está por debajo de la aplicación del 75 % de la dosis química. Los tratamientos con fertilización orgánica presentaron valores menores a los alcanzados por las plantas fertilizadas con dosis químicas. Todos los tratamientos tienen una tendencia lineal a través del tiempo. Delate (1999), no encontró diferencias en la altura de plantas de pimentón que fueron tratadas con compost a base de estiércol de ave comparado con aplicaciones equivalentes de nitrógeno en fertilización química convencional, por lo que concluyó que el factor que pudo influir en este comportamiento podría ser el moderadamente alto contenido salino del estiércol de pollo (2,50 dS/m) utilizado en su ensayo.

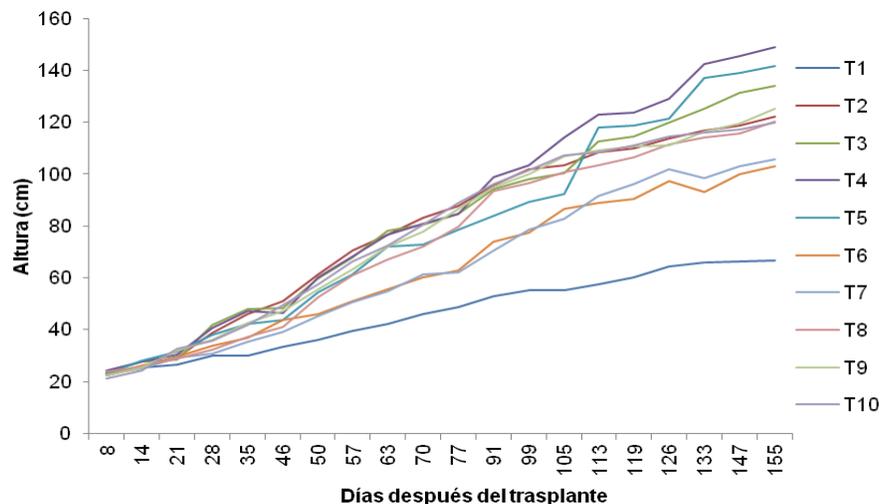


Figura 1. Altura de planta en chile manzano, durante el ciclo de cultivo, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹) de T6-T10 y T1 testigo absoluto

5.2 Diámetro de tallo

En diámetro de tallo la aplicación de 100-50-100 y 150-75-150 de la dosis de fertilizante químico al igual que los tratamientos con 40 y 50 Mg ha⁻¹, presentaron el tallo con mayor grosor, los valores están en 12-13 mm, el testigo tuvo el menor grosor de tallo con 7 mm. Además del testigo, la aplicación de 10 y 20 Mg ha⁻¹ de compost muestran los menores valores en grosor de tallo (Figura 2). Esto contrasta con los resultados obtenidos por Hernández (2010), en cuya investigación hizo uso de fertilización hidropónica y ácidos húmicos, lo que proporciona mejores condiciones para el desarrollo de la planta. De acuerdo con Pérez y Castro (2008), las variedades de chile manzano presentan un crecimiento lento en los primeros tres meses de su ciclo vegetativo aún en el sistema intensivo de producción.

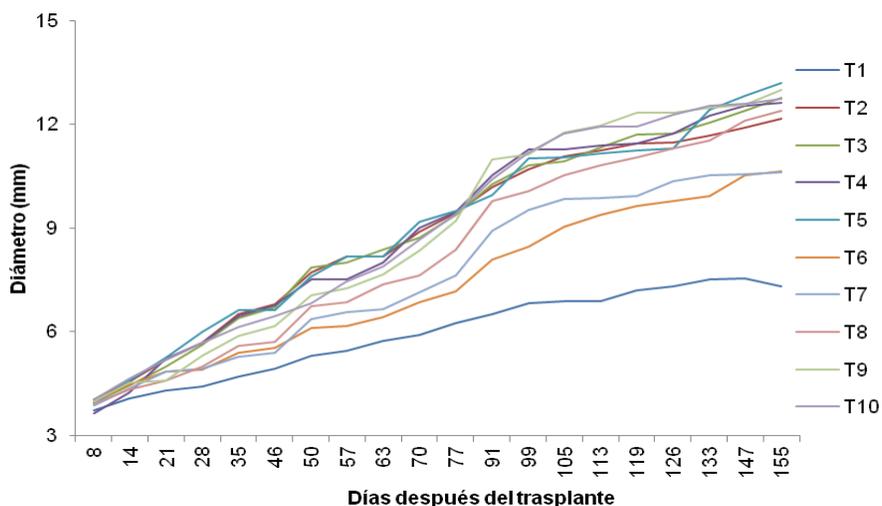


Figura 2 . Diámetro de tallo en chile manzano, durante el ciclo de cultivo, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹) de T6-T10 y T1 testigo absoluto

5.3 Lecturas SPAD

En el contenido de clorofila, cuantificado como Unidades SPAD, se observó un decremento al final del ciclo, iniciando cuando la planta da los primeros frutos, el testigo conserva a lo largo del ciclo el menor contenido de clorofila 34.86 (Lecturas SPAD, Figura 3, Cuadro 18 Apéndice).

Mendoza *et al.* (2006), en cultivo de maíz del alta calidad proteica y normales obtuvo los valores más altos en clorofila con los tratamiento de 100 y 200 kg de nitrógeno ha^{-1} , en este caso se alcanzaron valores de 65 y 63 lecturas SPAD a los 95 días. El valor más alto 58.8 lecturas SPAD para este estudio se localizó en las primeras 4 semanas después del trasplante en el tratamiento a 25 % de la dosis; es decir; 50 kg de N ha^{-1} .

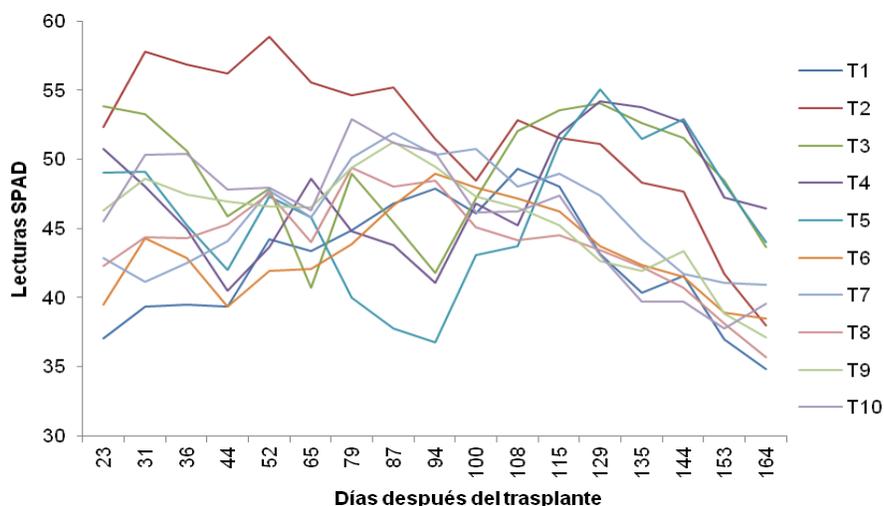


Figura 3 . Lecturas SPAD (Contenido de clorofila) en chile manzano, durante el ciclo del cultivo, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha^{-1}) de T6-T10 y T1 testigo absoluto

La deficiencia de nitrógeno altera la concentración y funcionalidad de la clorofila así como la deficiencia en la utilización de la luz solar en la fotosíntesis, problemas que se corrigen con la fertilización química (López, 1990) por lo que se atribuye a esta condición que los tratamientos fertilizados con compost no presentan valores

altos en lecturas SPAD, ya que se requiere de cierto tiempo para tener el nitrógeno disponible. Rodríguez *et al.* (1998), en su investigación refiere que no encontraron diferencias significativas en las dosis de fertilización, no así, para las fechas de siembra, los contenidos más altos de nitrógeno y clorofila se obtuvieron a los 45 días después del trasplante y fueron disminuyendo conforme el desarrollo del cultivo, lo que concuerda con lo obtenido en esta investigación.

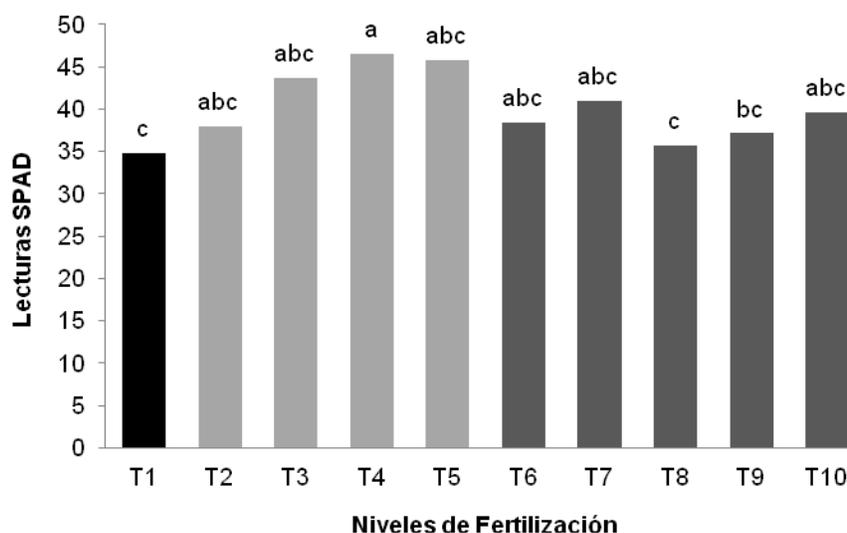


Figura 4. Lecturas SPAD, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹) de T6-T10 y T1 testigo absoluto

En la variable lecturas SPAD (Figura 4; Cuadro 18, Apéndice) como indicador del contenido de clorofila, al final del ciclo el mayor valor se encontró en el tratamiento donde se aplicó 150-75-150 de la dosis de fertilizante químico con un valor promedio de 46.48 lecturas SPAD y estos resultados muestran que solo hay diferencias con el testigo y la aplicación de 30 Mg ha⁻¹ fertilizante orgánico tratamientos entre los cuales no hay diferencias. En el resto de los tratamientos no se observan diferencias significativas ya sea con fertilización orgánica o química. Preciado *et al.* (2011), al comparar cuatro tratamientos: solución nutritiva inorgánica Steiner, té de compost, té de vermicompost y lixiviado de vermicompost encontró que el tratamiento con solución nutritiva Steiner mostró los valores más

altos de unidades SPAD, con 54,2; seguido por el tratamiento con té de vermicompost con 51,49. Estos valores han sido correlacionados directamente con el contenido y actividad de la clorofila (Ruiz *et al.*, 2010) y con el contenido de nitrógeno en plantas de tomate (Rezende y de Arango, 2006; Mercado *et al.*, 2010). Las plantas que recibieron la aplicación de tés de compost y vermicomposta tuvieron concentraciones relativas de clorofila estadísticamente similares.

Dado que este valor está directamente relacionado con la actividad fotosintética, el resultado señala que podemos fertilizar con cantidades bajas de fertilizante orgánico como alternativa al menos para la variable Lecturas SPAD sobre todo si se busca disminuir el uso de fertilizantes convencionales

5.4. Área foliar

De acuerdo con la comparación de medias tukey ($\alpha=0.05$), los tratamientos 3, 4 y 5 son los que presentaron mayor área foliar, cuyas proporciones de fertilizante son: 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200, con 6456.7, 6561.1 y 5878.8 cm², respectivamente. Los tratamientos con aplicación de 30, 40 y 50 Mg ha⁻¹ presentaron área foliar intermedia con valores de 4210.3, 3934.7 y 4078.6 respectivamente, los tratamientos con 50-25-50 de fertilizante químico NPK y la aplicación de 10 Mg ha⁻¹ son estadísticamente iguales; la aplicación de 20 Mg ha⁻¹ estuvo por encima de testigo (sin fertilización) mismo que presentó la menor área foliar con 620.3 cm² (Cuadro 18, Figura 5).

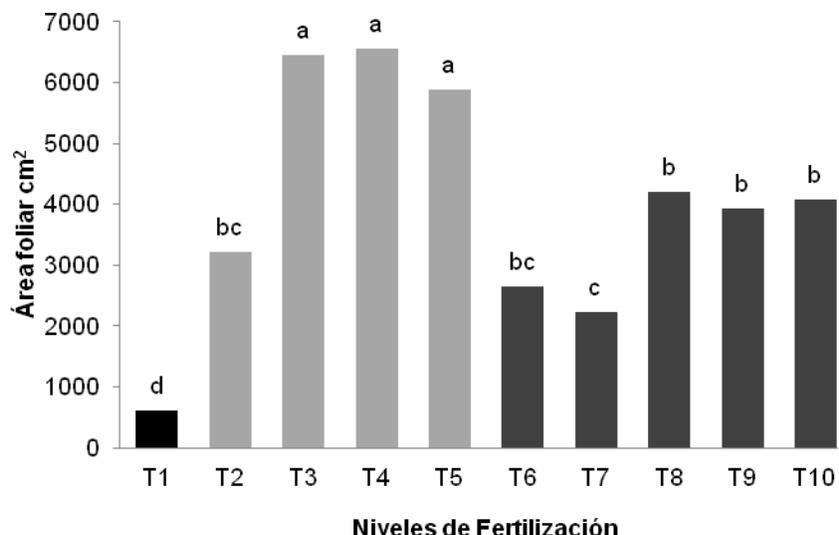


Figura 5. Respuesta del área foliar a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹) de T6-T10 y T1 testigo absoluto

5.5 Rendimiento total y de fruto

En rendimiento de fruto comercial el mejor tratamiento fue la dosis 40 Mg ha⁻¹, seguido de la dosis de 30 Mg ha⁻¹, con respecto al testigo los valores para estos tratamientos fueron 937.92, 842.72, 8.52 de fruto (g planta⁻¹) respectivamente, los tratamientos orgánicos de baja dosis están por encima del testigo pero no así de los tratamientos químicos. La mayor producción de para el caso de las plantas fertilizadas con fertilizante orgánico se concentró en las primeros meses a diferencia de las plantas con fertilizante químico a excepción de la dosis 50-25-50 (Figura 9). Lo que puede deberse a que un buen desarrollo y suficiencia de nutrimentos en estas plantas, ya que las condiciones del suelo fueron mejores para su desarrollo, al respecto Nieto-Garibay *et al.* (2002) menciona que las condiciones de suelo como DAP, CC y PMP proporcionaron un mejor ambiente para las plantas de Chile, en su investigación recomienda la aplicación de 25 Mg ha⁻¹ para producir Chile.

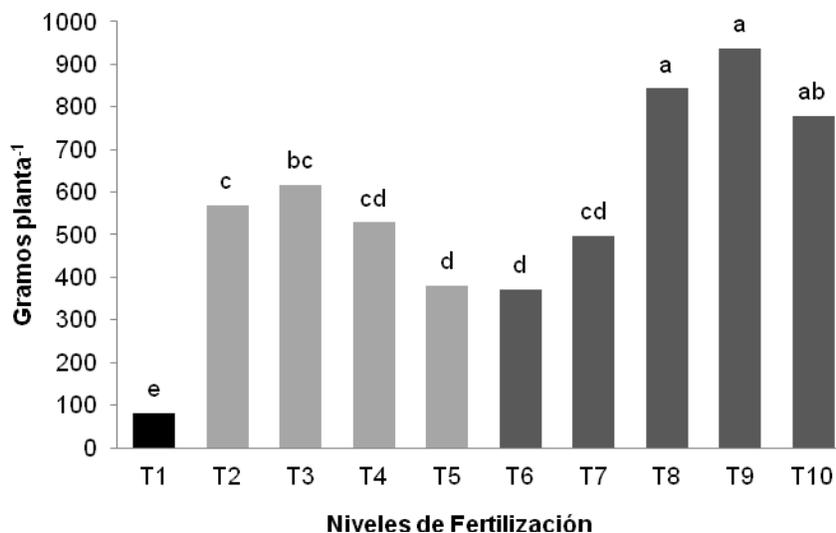


Figura 6. Rendimiento de fruto comercial, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹)de de T6-T10 y T1 testigo absoluto

Para rendimiento total de fruto los mejores tratamientos fueron la aplicación de 40 y 50 Mg ha⁻¹ en comparación al testigo con 1027.44, 913.58, 124.12 g planta⁻¹, con la aplicación de 10 Mg ha⁻¹ se obtuvo 503.10 g planta⁻¹ valor superior al testigo, en el resto de los tratamientos ya sea fertilizados química u orgánicamente no hubo diferencias (Figura 7). Los resultados obtenidos difieren de los de Salar-Sosa *et al.* (2004), quien en su primer año de evaluación no encontró diferencias, pero para el segundo año todos sus tratamientos fueron superiores al testigo, al igual que en este experimento, ya que el testigo por ausencia de fertilización no tuvo las condiciones adecuadas de nutrimentos para producir un buen número de frutos y de buen tamaño (Figura 8). Al respecto Preciado *et al.* (2011), reporta que la fertilización con la solución nutritiva presentó el mayor tamaño de frutos

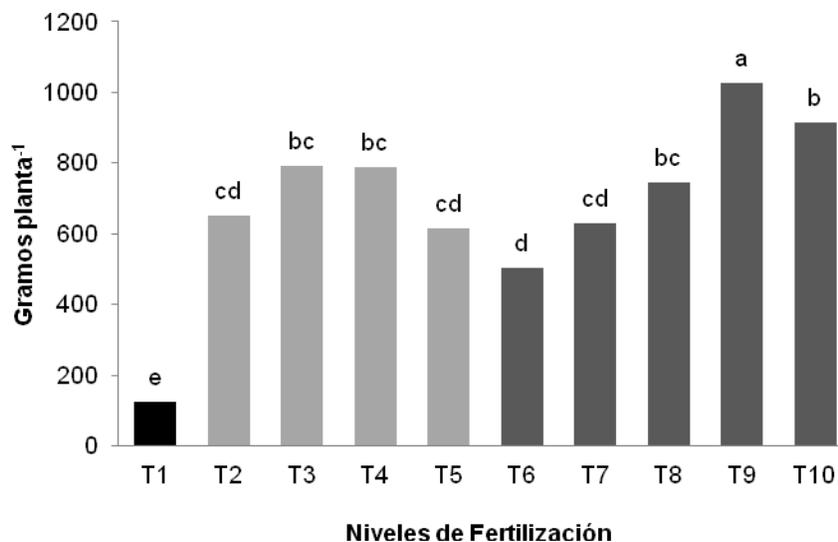


Figura 7. Rendimiento total de frutos, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹) de compost de T6-T10 y T1 testigo absoluto

Añez y Espinoza (2003), reportan que las producciones en Kg.planta⁻¹ de la lechuga y del repollo fueron afectadas significativa e independientemente por los niveles de fertilizantes químicos suministrados. Para suelos y condiciones climáticas como los del estudio, se sugiere aplicar e incorporar al suelo 10 t.ha⁻¹ de estiércol, compost o humus de lombriz, un mes antes del trasplante y usar una fertilización complementaria de 100 Kg de N.ha⁻¹ para la lechuga y de 150 Kg de N.ha⁻¹ para el repollo.

Marquéz *et al.* (2008), reporta que las cuatro mezclas sobresalientes fueron vermicomposta al 50% más arena así como con perlita al 37 y 50% además de biocomposta al 37.5% más perlita, con una media de 91.42 t ha⁻¹; es decir, 9.14 veces más, a lo obtenido en producciones de tomate orgánico en campo, sin afectar la calidad de los frutos.

Los mejores tratamientos para la variable peso de fruto fueron vermicomposta más arena al 50 y 37.5%, vermicomposta más perlita al 50 y 37.5% así como el testigo

con una media de 238.4 g. Los resultados superan a lo citado por Cano *et al.* (2003), ya que mencionan valores en hidroponía para el mismo genotipo utilizado de 204.1 g en el caso de espesor de pulpa, se obtuvieron cuatro grupos de significancia dentro de un rango de 0.70 y 0.89 cm, siendo los tratamientos, biocomposta más arena al 12.5% y vermicomposta más arena al 37.5% respectivamente (Marquéz *et al.*, 2008).

Cruz *et al.* (2010), en su estudio al evaluar compostas y vermicompostas mezcladas con arena reporta que el uso de sustratos orgánicos pudo satisfacer las necesidades del tomate durante el periodo de evaluación bajo condiciones de invernadero. Resaltando que con la mezcla VEMT 75% + arena, se obtuvo 57,375t·ha⁻¹ de fruto. En todas las mezclas se obtuvieron frutos de tamaño mediano.

Atiyeh *et al.* (2000) y Moreno *et al.* (2005), destacan que los sustratos orgánicos favorecen el desarrollo de los cultivos en invernadero cuando son utilizados como sustratos de crecimiento, y que las diferencias detectadas en las variables evaluadas se deben a la riqueza en el contenido de elementos nutritivos (Durán y Henríquez, 2007) y a la naturaleza de sus comunidades microbianas (Atiyeh *et al.*, 2000). El tratamiento testigo con tepetzil y adición de fertilizantes químicos superó en un 26,3% a la media general de 48,677t·ha⁻¹ obtenida en los sustratos orgánicos.

Aunado a la respuesta en rendimiento y como parte de esta variable. La aplicación de 40 Mg ha⁻¹ presenta mayor número de frutos comerciales seguido de la aplicación de 30 Mg ha⁻¹ con 26 y 24. 4 frutos planta⁻¹, respectivamente. El testigo solo produjo 3.8 frutos por planta, esta variable se ve reflejada directamente en el rendimiento de fruto comercial (Figura 8).

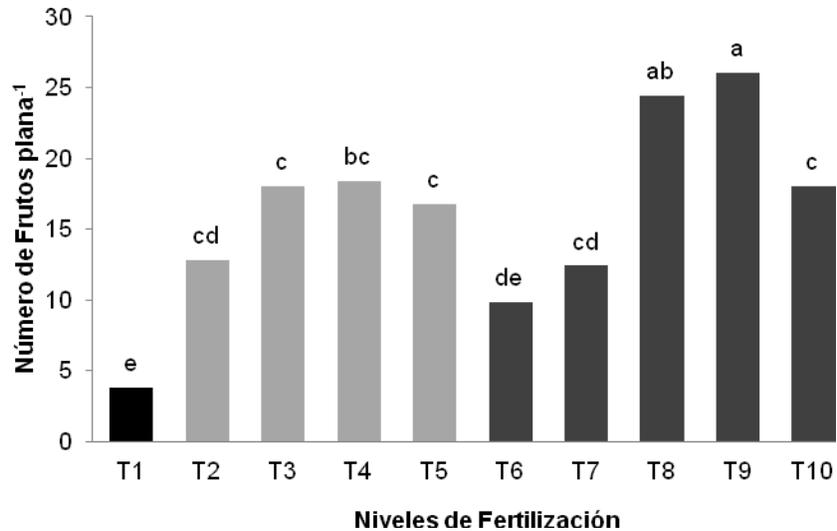


Figura 8. Número de frutos comerciales, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹ de compost de T6-T10 y T1 testigo absoluto

Para el caso de número de frutos totales la aplicación de dosis química 150-75-150 y 200-100-200 mostraron el mayor número de frutos 41.60 y 39.80 frutos planta⁻¹, respectivamente, sin presentar diferencias significativas (Figura 9), es decir que al momento de la cosecha aún no había maduración de estos. Las variables número de frutos, número de frutos comerciales, rendimiento de frutos comerciales y rendimiento total están estrechamente relacionadas (Cuadro 13).

Rodríguez *et al.* (2008), encontró que el mayor rendimiento lo obtuvo con el testigo a diferencia de las mezclas de sustrato y arena. Por su parte Márquez *et al.* (2008), y De La Cruz-Lázaro *et al.* (2009), encontraron mayor rendimiento en los sistemas de producción inorgánica.

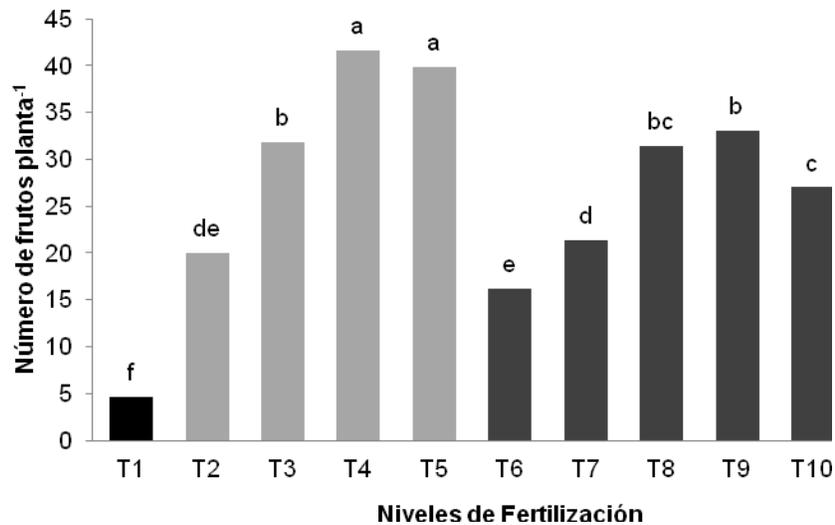


Figura 9. Número de frutos total promedio por planta, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20, 30, 40, 50 Mg ha⁻¹ de compost de T6-T10 y T1 testigo absoluto

5.6 Índice de cosecha

El mayor peso seco de tallo fue con la aplicación de 150-75-150 dosis NPK de fertilizante químico seguido de la dosis 100-50-100 con respecto al testigo 70.16, 65.74 y 6.45 respectivamente. Los tratamientos con fertilización orgánica 10, 20 Mg ha⁻¹ superan al testigo, pero no así de los tratamientos químicos (con aplicación de 50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) y de los las plantas fertilizadas con 30, 40 y 50 Mg ha⁻¹ (Cuadro 19, Apéndice) 41.57, 45.96 y 4.16 g planta⁻¹ respectivamente. Kläring (1999), concluye que esta respuesta puede deberse al incremento en las ramificaciones del tallo, lo cual es importante para el incremento del peso seco pero aporta poco a la altura de la planta, y posteriormente al desarrollo y crecimiento de los frutos.

La dosis de 200-100-200 en la variable peso seco de hoja presentó la mejor respuesta (Cuadro 19, Apéndice) 36.37 g planta⁻¹, en comparación con las plantas fertilizadas orgánicamente y el testigo, los tratamientos con aplicación de 10 y 20 Mg ha⁻¹ fueron estadísticamente iguales 9.52 y 9.48 g planta⁻¹, otro grupo que

resalta es que se conforma por la aplicación de 30, 40 y 50 Mg ha⁻¹ con 14.15, 17.32 y 21 g planta⁻¹ respectivamente. Jakse y Mihelic (1999), reportaron que el rendimiento de 8 hortalizas disminuyó entre 20 y 46% en suelos turbosos y de 28 a 56% en suelos arenosos, cuando se usó fertilizante orgánico en lugar de uno químico. Los rendimientos de materia seca de repollo con fertilizantes minerales fueron dos veces más altos que los obtenidos con fertilizantes orgánicos. Sin embargo, se hace énfasis en que a pesar de su baja relación C/N, el N liberado por el compost no fue suficiente para una producción económica de hortalizas.

El mejor tratamiento para peso seco de fruto de chile manzano fue donde se aplicó 40 y 50 Mg ha⁻¹ con respecto al testigo el cual mostró el menor peso seco de fruto, los valores fueron 94.042, 91.342 y 7.382 g planta⁻¹, respectivamente. Otro de los tratamientos con un valor muy bajo fue la aplicación de 10 Mg ha⁻¹ (Cuadro 19, Apéndice). Mientras los tratamientos fertilizados químicamente mostraron mayor peso seco de hoja lo que implica mayor desarrollo vegetativo, las plantas fertilizadas con altas dosis de fertilizante orgánico produjeron mayor número de frutos comerciales lo que incrementó el peso seco total de fruto (Figura 9), lo que puede deberse al abastecimiento continuo de nutrimentos en los tratamientos fertilizados orgánicamente.

Un valor importante a considerar al término del ciclo de cultivo es el índice de cosecha (IC), que es la proporción del producto económico de interés con respecto a la biomasa total de la planta (Cubero, 2002; Jölli y Giljum, 2005). Una vez obtenidos los datos de peso seco se obtuvo el índice de cosecha para el cultivo de chile manzano, variable que no presentó diferencias significativas entre tratamientos, los valores se encuentran en un intervalo de 0.64-0.88 (Cuadro 20, Apéndice). Al respecto en *Capsicum annum* L., Valle (2010), reporta valores de 0.62; Azofeifa y Moreira (2004), obtuvieron 0.56; Jölli y Giljum (2005), reportaron 0.45; mientras Morales (1999), obtuvo valores que variaron de 0.48 a 0.52 en chile guajillo establecido bajo condiciones de fertirriego en Salinas de Hidalgo SLP. Vázquez (2008), reportó un IC de 0.53 para chile guajillo en condiciones de

invernadero en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Pérez y Castro (2008), en el mismo cultivo pero para la variedad Chiapas y Perú reporta que los índices de cosecha para el noveno mes fluctúan entre 0.05 y hasta 0.24 respectivamente, valores varias veces menores que los de cultivos como cebada, cacahuate y soya. Estos últimos también reportan que la variedad Chiapas acumula más biomasa desde el principio del ciclo a diferencia de la variedad Puebla, la acumulación de materia seca en los frutos presentes en la planta fluctúa entre tres y cinco meses, en dependencia de la variedad, pero siempre ocurre simultáneamente con la acumulación de materia seca de tallo, hojas y raíz, lo que evidencia la competencia entre órganos por fotoasimilados.

5. 7 Diámetro ecuatorial y polar

Las variables diámetro ecuatorial y polar, relacionadas directamente con el tamaño de fruto y por ende con el rendimiento, presentan ligeras diferencias. Para el diámetro ecuatorial el testigo y la aplicación de 150-75-150 y 50-25-50 son estadísticamente diferentes estos últimos con valores de 47.82 y 47.94 mm, el testigo presentó un diámetro ecuatorial de 39.94 mm. El resto de los tratamientos son estadísticamente iguales (Figura 10, Cuadro 19 Apéndice).

Marquéz *et al.* (2008), en su estudio en jitomate en invernadero haciendo uso de mezclas de vermicomposta con perlita o arena, no encontró diferencias significativas para: diámetro polar y ecuatorial.

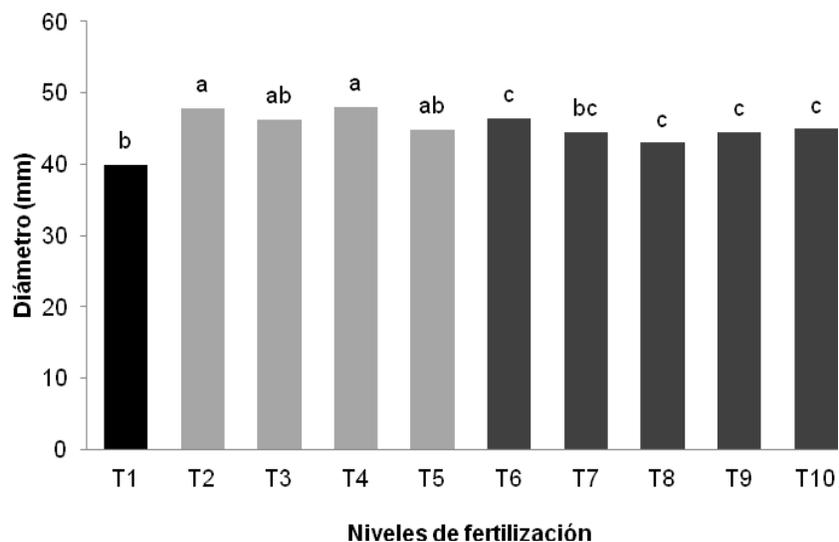


Figura 10. Diámetro ecuatorial, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹ de compost de T6-T10 y T1 testigo absoluto

En el diámetro polar la aplicación de 100-50-100 de NPK en fertilizante químico mostró un diámetro polar 43.38 mm con relación al testigo (36.26 mm), resaltando que la dosis de 50 Mg ha⁻¹ mostró un diámetro polar de 42.24 mm, los tratamiento con aplicación de 30 y 40 Mg ha⁻¹ presentaron valores de 41.80 y 41.63 los cuales son estadísticamente iguales. En el resto de los tratamientos fertilizados química u orgánicamente no se presentaron diferencias significativas (Figura 11, Cuadro 19 Apéndice).

Rojas *et al.* (2008), en su investigación en Chile manzano y la predicción de rendimiento usando modelos matemáticos, obtuvo el ancho promedio de hombros del fruto en dos años diferentes con un valores de 4.8 y 4.1cm, estos datos hacen referencia a rendimiento.

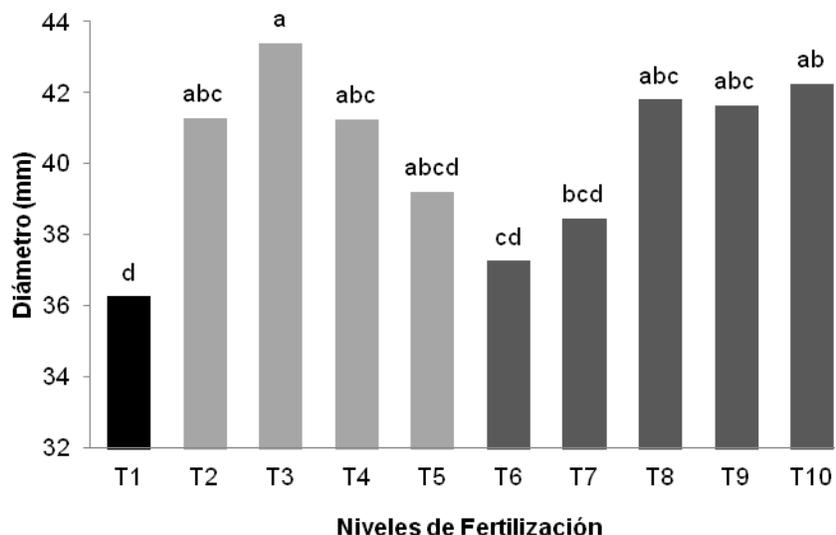


Figura 11. Diámetro polar como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹ de compost de T6-T10 y T1 testigo absoluto

Hernández (2011), para estas variables no encontró diferencias significativas en las diferentes presiones osmóticas de solución nutritiva, los valores reportados en promedio 55.89 mm como más alto en DE y 61.85 mm en DP, lo que difiere con lo encontrado en esta investigación haciendo uso de suelo como sustrato y fertilización química a base de fertilizantes convencionales y el uso de composta.

5.8 Firmeza de fruto, Grosor de pericarpio y Grados Brix

Para las variables firmeza y grosor de pericarpio en fruto de chile manzano no presentaron diferencias significativas entre tratamientos los valores más bajos los mostro el testigo y la aplicación de la dosis 200-100-200 de NPK en fertilizante químico con valores de 5.20 y 5.06 mm respectivamente, la misma respuesta se encontró para grosor de pericarpio pues el testigo presentó un grosor de 4.21 mm, los frutos fertilizados con 10 Mg ha⁻¹ mostraron un grosor de 5.49 mm pero diferencias estadísticas en relación al testigo y al resto de los tratamientos fertilizados química y orgánicamente (Cuadro 20 Apéndice).

A diferencia la variable Grados Brix ($^{\circ}$ Brix) el mayor contenido se encuentra en los tratamientos 20 y 30 Mg ha^{-1} , con 6.51 y 6.46 mm, respectivamente y la menor concentración en el tratamiento de 10 Mg ha^{-1} de fertilizante orgánico con 5.62 mm; el resto de los tratamientos no presentó diferencias significativas con respecto al testigo, cuyo grosor fue de 5.72 mm (Figura 12; Cuadro 20 Apéndice). Lo que nos indica que fertilización orgánica es buena para esta variable pero no en altas dosis ya que disminuye la concentración de sólidos solubles (Grados Brix).

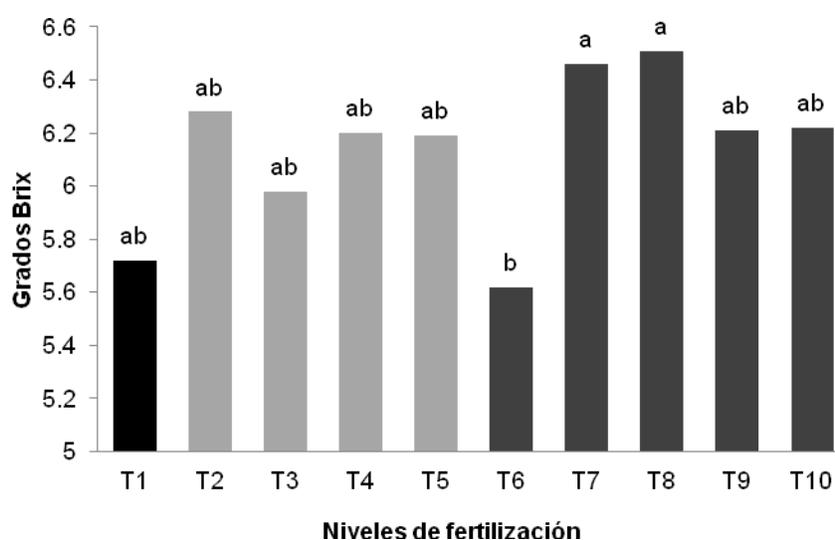


Figura 12. Respuesta en Grados Brix a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica (10, 20 30, 40, 50 Mg ha^{-1}) de T6-T10 y T1 testigo absoluto.

Además estas mismas variables se midieron en el fruto después de haber sido refrigerados durante 3 semanas para observar si ocurrían cambios en los valores. Una vez tomados los datos se observó que entre tratamientos tampoco existe diferencia significativa en firmeza y grosor de pericarpio, únicamente la concentración de $^{\circ}$ Brix muestra diferencias, el valor más alto lo presentó la aplicación de 50 Mg ha^{-1} de fertilizante orgánico y el testigo muestra el valor menor con 6.86 y 5.52, respectivamente (Cuadro 21, Apéndice). Sin embargo, si hay cambios en los valores hallados al momento de la cosecha y después de haber

sido refrigerados. Para el caso de firmeza los valores descienden al intervalo comprendido entre 3.284 y 4.468 Newton y en la variable grosor de pericarpio 4.386 y 5.224 mm es el intervalo entre todos los tratamientos. El parámetro firmeza se vio afectada negativamente pues los valores cambiaron de 5.20 y 6.64 Newton al momento de la cosecha a 3.28 y 4.68 Newton después de refrigeración de tres semanas (Cuadro 19 y 20 Apéndice) estos valores representan el valor máximo y mínimo en ambos casos, lo que indica que el fruto perdió firmeza durante este tiempo de almacenamiento.

Bautista (2010), en su estudio en el cultivo de chile manzano a diferentes presiones osmóticas encontró valores de 6 y 7.4 °Brix. Por su parte Hernández (2011), para la misma especie obtuvo valores entre 5.11 y 6.46 °Brix, estos resultados son muy parecidos a los obtenidos en esta investigación, cabe mencionar que para ambos casos la cuantificación de esta variable se realizó en frutos comercialmente maduros.

En relación con la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) del fruto de tomate, existieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre las fuentes de nutrientes, las soluciones nutritivas orgánicas presentaron mayor contenido de sólidos solubles. La mayor acumulación de sólidos solubles en el fruto pudiera deberse, por una parte, a una menor absorción y acumulación de agua por los frutos (Preciado *et al.*, 2011), y para superar este problema los frutos acumulan solutos orgánicos como azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa), con lo que se logra disminuir el potencial osmótico, facilitando así la absorción de agua en los frutos (Plaut *et al.*, 2004; Goykovic y Saavedra, 2007). Santiago *et al.* (1998) señalaron que el tomate para consumo en fresco debe de contener un mínimo de 4,0 ° Brix, mientras que Diez (2001), mencionó que el tomate para el procesado industrial debe contar con un contenido de 4.5-5.5 °Brix.

Acosta (2003), quien evaluando tomate en invernadero no encontró diferencia significativa entre los tratamientos y determinó con valor de 4 grados brix en todos los tratamientos.

Zarate (2002), al evaluar tomate en invernadero con vermicomposta encontró diferencias altamente significativas, el tratamiento con más grados Brix fue el T4 (50% vermicomposta de estiércol de cabra con paja de alfalfa + Zacate chino) con 5.6 grados Brix.

De acuerdo con Díez (1995), los tratamientos evaluados se consideran de buena calidad ya que según este investigador, los tomates para procesado y consumo en fresco deben contar con un contenido de sólidos solubles que oscilen entre 4.4 y 5.5° Brix.

5.9 Pérdida de peso en vida de anaquel

Es también importante que el producto en este caso fruto de chile manzano conserve sus propiedades durante más tiempo una vez cosechado y que pierda el menor peso posible, por ello, se determinó la pérdida de peso durante el lapso de tres semanas como indicador de la vida de anaquel del producto. Los resultados muestran que después de este tiempo no hubo diferencias significativas entre tratamientos con fertilización orgánica y química los valores están comprendidos entre 2.80 a 4.14 g fruto⁻¹ en promedio (Cuadro 21 Apéndice). Los resultados de Espinosa en el mismo cultivo, mostraron que el tipo de empaque (charola de unisel más pliofilm y charola rígida plastificada) tuvo efecto positivo sobre la calidad postcosecha de los frutos y que el almacenamiento a bajas temperaturas prolongó la vida de anaquel. La combinación de empaque con película plástica y temperaturas de almacenamiento a 12 y 5 °C mantuvo la calidad de los frutos al retrasar el cambio de color de verde a amarillo y presentar la menor pérdida de peso, firmeza y contenido de ácido cítrico. La concentración de vitamina C en frutos no se vio afectada por el tipo de empaque ni por las bajas temperaturas; sin embargo, se observó que el almacenamiento por más de 30 días provocó pérdidas

de hasta un 40 %. Bajo condiciones de temperatura ambiente los frutos en charola plastificada tuvieron pérdida de 11 % y los de pliofilm 22 % y los frutos en charola de unigel hasta 42 % al final del experimento de siete semanas. Los resultados obtenidos en esta investigación son muy similares ya que los resultados obtenidos son en promedio del 10 al 12 % del peso total de un fruto.

5.10 Contenido de capsaicina

En la Figura 13 se observa el comportamiento del contenido de capsaicina en la producción de chile manzano, el mejor tratamiento para esta variable fue la aplicación de 150-75-150 kg ha⁻¹ de fertilizante químico con 0.016 mg ml⁻¹, posteriormente los tratamientos 200-100-200 y el testigo con el mismo valor 0.014 mg ml⁻¹; el menor contenido de capsaicina lo presentó la aplicación de 30 Mg ha⁻¹ de fertilizante orgánico con 0.0077 mg ml⁻¹, sin presentar diferencias significativas respecto al resto de los tratamientos con fertilización orgánica.

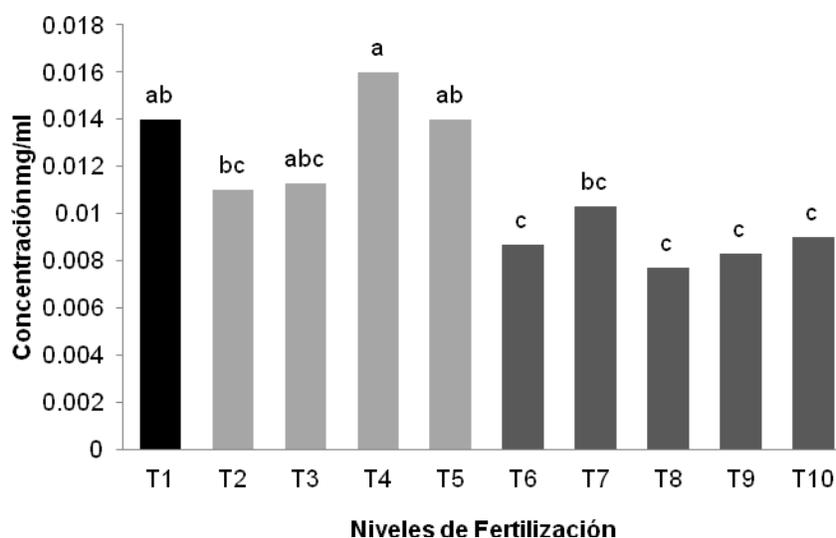


Figura 13. Capsaicina en chile manzano como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹ de T6-T10 y T1 testigo absoluto

El contenido de capsaicina tiene una correlación altamente significativa con el contenido de nitrógeno como lo muestra el Cuadro 12. La reducción o eliminación

de reguladores de crecimiento y nutrientes del medio (como el nitrato, el fosfato, o la sacarosa) promueven la acumulación de capsaicinoides (Lindsey, 1986). Los contenidos de estas sustancias se cree que pueden variar en condiciones de estrés hídrico o nutrimental.

Los contenidos más bajos en el capsaicina, pueden deberse a la disponibilidad de agua para el cultivo y mejores condiciones del suelo (Nieto-Garibay *et al.*, 2001; 2002), ya que los tratamientos con fertilización orgánica incrementaron las constantes de humedad (Cuadro 24), estos tratamientos mostraron los menores valores para contenido de capsaicina. Lo que contrasta con lo obtenido por Borges *et al.* (2010), Quienes al determinar los contenidos de capsaicina y dihidrocapsaicina en chile habanero cultivado con diferentes niveles de humedad edáfica y niveles nutrimentales de N, P₂O₅ y K₂O y evaluar la relación de la abundancia de los capsaicinoides con el rendimiento y calidad de los frutos obtuvo en promedio que el contenido de los alcaloides capsaicina y dihidrocapsaicina fue de 8.4 y 4.7 g kg⁻¹ en peso seco de fruto, respectivamente. No hubo respuesta significativa con los diferentes niveles de nutrientes y humedad aprovechable. Sin embargo, se observó una respuesta significativa para contenido de capsaicina con la edad de la planta, no así para dihidrocapsaicina. Se tuvo respuesta significativa entre el contenido de capsaicina y el rendimiento de fruto clasificado de tercera y entre el contenido de dihidrocapsaicina y el rendimiento y número de frutos de segunda. Únicamente para capsaicina su contenido aumentó con la edad de la planta al tener ésta 126 días de desarrollo, posteriormente baja de 9.5 a 8.5 g kg⁻¹ de fruto seco a los 140 días de desarrollo.

Hernández (2011), para la misma especie en producción con solución Steiner y aplicaciones foliares de ácidos húmicos, obtuvo diferencias significativas entre tratamientos, el mayor contenido lo obtuvo con 0.54 de presión osmótica y 0.5 ml L⁻¹ con 0.016 mg ml⁻¹ el valor más bajo en sus resultados lo obtuvo con 0.90 de presión osmótica y 0.5 ml l⁻¹ de ácidos húmicos con 0.0122 mg ml⁻¹. Los resultados reportados son muy similares a los obtenidos en esta investigación.

Estudios realizados han mostrado diferentes respuestas del efecto del estrés hídrico y la nutrición mineral sobre el contenido de capsaicinoides; así, en plantas de *C. annum* L. cv. Padrón el estrés hídrico tuvo un fuerte efecto sobre la producción de capsaicina (Bernal *et al.*, 1995; Estrada *et al.*, 1999). Por el contrario, Velasco-Velasco *et al.* (2001), reportaron que al incrementar el suministros de N, P y K en chile jalapeño (*C. annum* L.) la producción de capsaicina disminuyó.

Lindsey (1985), encontró un incremento de estos alcaloides al disminuir la fertilización nitrogenada; mientras que Johnson y Decoteau (1996), reportaron mayores contenidos de alcaloides al aumentar N y K en chile jalapeño (*Capsicum annum* L.), resultados similares fueron también reportados por Estrada *et al.* (1998), en chile Padrón (*Capsicum annum* L.).

Zewdie y Bosland (2000), señalaron que el ambiente en el cultivo *C. annum* influyó en los contenidos de CAP y DHCAP; es probable que el contenido de alcaloides este asociado no sólo a la nutrición mineral y humedad aprovechable, sino a factores ambientales como temperatura, humedad relativa y luz.

5.11 Concentración de nitrógeno foliar

El mayor contenido de nitrógeno (N) se encontró con la dosis de fertilización 200-100-200 (T5), así como los tratamientos con 150-75-150 y 100-50-100 dosis con valores de 4.28, 4.25 y 3.97 %, respectivamente. El testigo, la aplicación de 50-25-50 de NPK y los todos los tratamientos fertilizados orgánicamente no presentaron diferencias significativas con los valores de 2.61, 2.67, 2.81, 2.73, 2.19, 2.83 % (Figura 14).

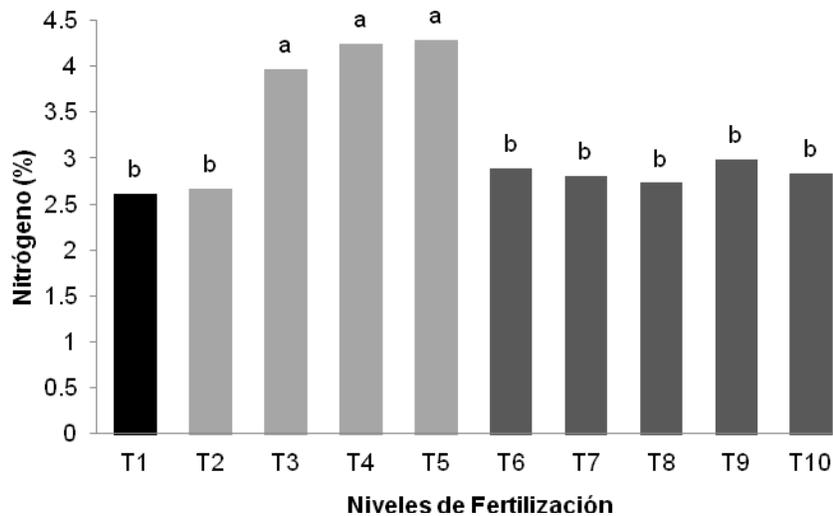


Figura 14. Concentración de Nitrógeno foliar, como respuesta a la aplicación de cuatro niveles de fertilización química NPK (50-25-50, 100-50-100, 150-75-150, 200-100-200) de T2-T5 y cinco niveles de fertilización orgánica 10, 20 30, 40, 50 Mg ha⁻¹ de T6-T10 y T1 testigo absoluto

Los resultados de Hernández (2011), para la misma especie pero con fertilización basada en solución Steiner y ácidos húmicos, demostraron que para su caso no hubo diferencias significativas, con valores promedios entre 2.3 y 3 % a diferencia de los obtenidos (Cuadro 19 Apéndice; Figura 6), la diferencia en los resultados podría deberse a que la determinación se hizo en tejido foliar únicamente. Los resultados de Preciado *et al.* (2011), mostraron que con la fertilización inorgánica se obtuvieron los mayores contenidos de N foliar y N-NO₃⁻ en el extracto celular de pecíolos, contenido de clorofila, así como un mayor rendimiento de frutos de tomate. Estos resultados se deben a que el suministro adecuado de N se asocia con niveles adecuados de clorofila, crecimiento vegetativo vigoroso, alta actividad fotosintética y con la síntesis de carbohidratos, de lo cual depende el rendimiento (Castro *et al.*, 2004).

De los principales elementos nutritivos presentes en la composta, de 70-80% de fósforo y de 80-90% de potasio están disponibles el primer año, mientras que el nitrógeno (N), todo es orgánico, es decir, debe mineralizarse para ser absorbido por las plantas, no obstante, en el primer año, sólo se mineraliza el 11%,

generándose una deficiencia de este elemento, si no es suplido apropiadamente (Eghball *et al.*, 2000; Heeb *et al.*, 2005; Rosen y Bierman, 2005).

Las variables contenido de nitrógeno y contenido de clorofila (Unidades Spad) están estrechamente correlacionadas (Cuadro 12).

Correlaciones de pearson

De acuerdo a las correlaciones las variables más relacionadas son rendimiento total de fruto con rendimiento de frutos comerciales, número de frutos, área foliar, grados Brix, diámetro polar, firmeza, pero no con el contenido de nitrógeno ni unidades spad. Al área foliar está directamente relacionada con peso seco de tallo y hoja contenido de nitrógeno y unidades Spad (Cuadro 13).

Cuadro 12. Correlaciones de Pearson para las variables de rendimiento. Capsaicina, firmeza y nitrógeno

	FIR	RTOT	N	CAP
GRADOS BRIX	0.04ns	0.36**	0.08ns	0.005ns
FIR		0.28**	-0.09ns	-0.14ns
RTOT			0.22ns	-0.25ns
N				0.42**

FIR= Firmeza, RTOT= Rendimiento total, N= Nitrógeno, CAP= Contenido de Capsaicina, ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$), * Significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativos

Cuadro 13. Correlaciones de Pearson de 13 variables respuesta en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.).

	RTOTF	NFRU	NFRUT	AF	°BRIX	DE	DP	FIRM	GP	PSTA	PSHO	N	LS
RFRU	0.89**	0.82**	0.53**	0.34*	0.40**	0.21 ns	0.57**	0.34*	0.08 ns	0.40**	0.18 ns	-0.03 ns	-0.03 ns
RTOTF		0.80**	0.71**	0.52**	0.36*	0.32*	0.60**	0.28*	0.04 ns	0.61**	0.42**	0.22 ns	0.16 ns
NFRU			0.74**	0.53**	0.39**	0.09 ns	0.49**	0.09 ns	-0.04 ns	0.52**	0.39**	0.25 ns	0.11 ns
NFRUT				0.82**	0.33*	0.28 ns	0.49**	-0.02 ns	-0.01 ns	0.84**	0.77**	0.64**	0.49**
AF					0.12 ns	0.31*	0.53**	-0.09 ns	0.07 ns	0.87**	0.74**	0.66**	0.53**
°BRIX						-0.01 ns	0.19 ns	0.04 ns	-0.16 ns	0.25 ns	0.14 ns	0.08 ns	-0.14 ns
DE							0.32*	0.43**	0.23 ns	0.33*	0.30*	0.30*	0.46**
DP								0.13 ns	0.01 ns	0.63**	0.39**	0.09 ns	0.16 ns
FIRM									0.02 ns	-0.08 ns	-0.19 ns	-0.09 ns	0.05 ns
GP										-0.04 ns	-0.05 ns	0.02 ns	-0.01 ns
PSTA											0.76**	0.60**	0.47**
PSHO												0.63**	0.52**
N													0.57**

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$), * Significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativos; AF= Área foliar, PST= Peso seco de tallo, PSH= Peso seco de hoja, N= Nitrógeno, LS= Lecturas SPAD, DE=Diámetro ecuatorial, DP= Diámetro polar, RFRU= Rendimiento de fruto comercial, RTOTF= Rendimiento de fruto total, NFRU= Número de frutos comerciales, NFRUT= Número de frutos total, ° Brix= Grados Brix, FIR= Firmeza, GP= Grosor de Pericarpio, CV= Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

5.12. Propiedades físicas y químicas del suelo

5.12.1 Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

Los resultados para las constantes de humedad Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) mostraron diferencias significativas en todos los tratamientos, con una tendencia a incrementar el porcentaje de humedad mientras se incrementa la aplicación de fertilizante orgánico (Cuadro 24, Figura 15 y 16).

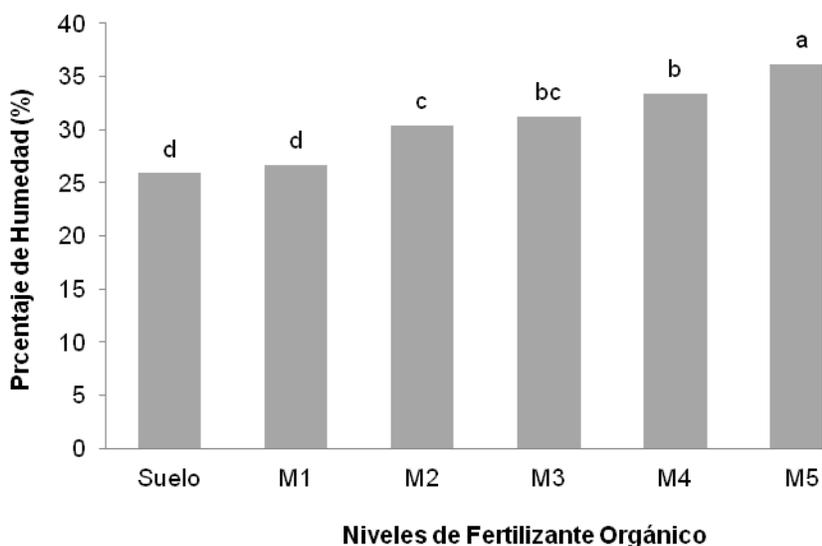


Figura 15. Capacidad de campo como respuesta a 5 dosis de fertilización orgánica (10, 20, 30, 40 y 50 Mg ha⁻¹) con respecto al testigo (suelo)

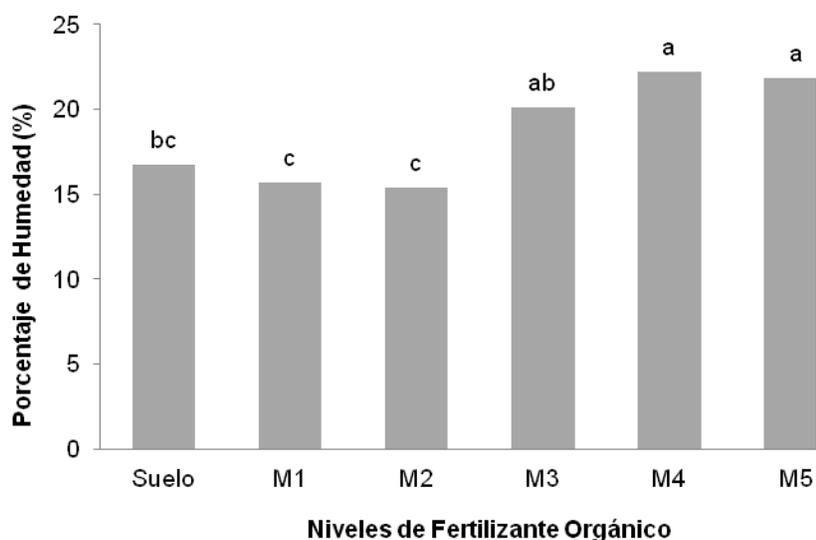


Figura 16. Punto de marchitez permanente como respuesta a 5 dosis de fertilización orgánica (10, 20, 30, 40 y 50 Mg ha⁻¹) con respecto al testigo (suelo)

Salazar-Sosa *et al.*, 2004 en su investigación producción de jitomate con uso de estiércol bovino y acolchados reporta que la humedad del suelo con y sin acolchado por tratamiento de estiércol de bovino para la profundidad de 0-7.5 cm tiene una tendencia de incremento de humedad; a mayor contenido de estiércol mayor contenido de humedad, tendencias similares fueron encontradas por Colla (1997).

En relación al contenido de humedad con y sin acolchado a la profundidad de 0-7.5 cm los tratamientos con estiércol son los mejores comparados con el testigo. Este contenido de humedad fue muestreado antes de la aplicación del agua. La diferencia con y sin acolchar en promedio fue de 6% de humedad mayor en acolchado. Los valores de humedad variaron de 21 a 31% en acolchado; sin acolchado varían del 15 al 24%, por lo que el estiércol incrementa la capacidad de retención de la humedad y nutrientes del suelo; datos similares son reportados por Castellanos (1996) y Monks *et al.* (2000), quienes consideran que a mayor contenido de humedad mayor contenido de abono orgánico biodegradado.

Nieto-Garibay (2002), reporta que para el uso de compostas en zonas semiáridas, muestran que la mayor retención de humedad en el suelo correspondió a la dosis de $50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de composta en cultivo de chile y reporta que el efecto de la composta se reflejó a los cuatro meses de experimentación sobre las variables PMP y HA. Aunado a esto Ruíz, 1996 y Bernal *et al.*, 1998 encontraron que junto con la mayor retención de humedad, un aumento en las constantes de humedad, la capacidad de campo (CC), punto de marchitamiento permanente (PMP), porcentaje de saturación (PS) y humedad aprovechable (HA).

López- Martínez *et al.* (2000), CC, PMP y HA mostraron cambios en los valores antes y después de la aplicación; los valores después de la aplicación fueron 10% mayores.

5.12.2. pH y Conductividad eléctrica

Para pH y Conductividad eléctrica (CE), los resultados muestran una tendencia de incremento, cuanto más alta es la dosis de fertilización orgánica. Los resultados en la prueba de comparación de medias Tukey $\alpha=0.05$, Cuadro 24, muestra que para la variable pH existen diferencias significativas entre tratamientos, mas no para conductividad eléctrica de la mezcla entre suelo y composta a diferentes niveles 10, 20, 30 40 y 50 Mg ha⁻¹. Los valores de pH van de 5 a 6 con valor mínimo para el testigo y máximo para la aplicación de 50 Mg ha⁻¹ de composta sin diferencias significativas con la aplicación de 40 Mg ha⁻¹, para conductividad eléctrica el valor mínimo 0.60 mmhos cm⁻¹ se obtiene en el testigo y el máximo 2.06 mmhos cm⁻¹ en la aplicación de 50 Mg ha⁻¹ de composta (Figura 17 y 18).

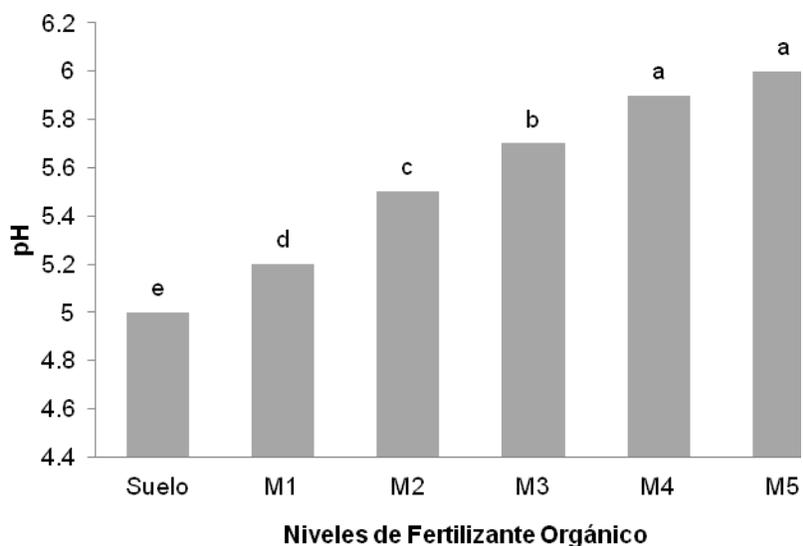


Figura 17. pH como respuesta a la aplicación de 5 dosis de fertilización orgánica, 10, 20, 30, 40 y 50 Mg ha⁻¹ con respecto al testigo (Suelo)

Con respecto a la conductividad eléctrica (CE) el tratamiento con mayor CE es el T5 (160 t ha⁻¹ de estiércol) con un valor de 4.9 dS m⁻¹, seguido de los niveles 80, 40 y 120 t ha⁻¹ de estiércol. Estos tratamientos no difirieron entre sí, pero sí con el de 160 t ha⁻¹ de estiércol. El rango óptimo de salinidad para la producción agrícola se considera normal hasta un valor de 4 dS m⁻¹ y con el nivel de 160 t ha⁻¹ de estiércol este valor es superior, 4.9 dS m⁻¹. Lo que indica que este nivel de

estiércol puede presentar problemas de salinidad, sobre todo cuando se aplican estas dosis cada año (Salazar-Sosa *et al.*, 2004).

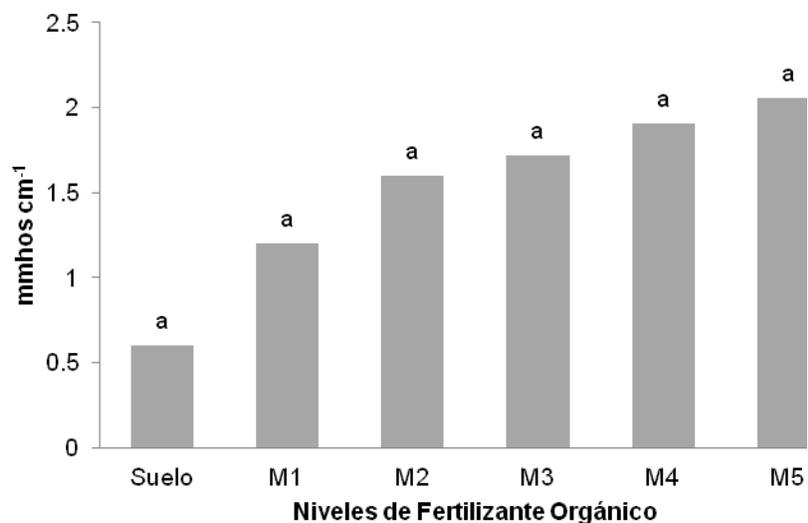


Figura 18. Conductividad Eléctrica (CE) como respuesta a la aplicación de 5 dosis de fertilización orgánica, 10, 20, 30, 40 y 50 Mg ha⁻¹ con respecto al testigo (Suelo)

López- Martínez (2000), no registro cambios significativos en pH, CE, Ca, Mg, Na y K. Lo anterior indica que el efecto de los abonos orgánicos fue sobre el aumento de MO, N y P. Bajo las condiciones del experimento y en el cultivo de maíz.

VI. CONCLUSIONES

Al evaluar el comportamiento del abono orgánico en contraste con el uso de fertilizante químico en la producción de chile manzano tenemos lo siguiente:

En rendimiento total de fruto con la aplicación de 40 y 50 Mg ha⁻¹ de composta se obtuvo 1027.44 y 913.58 g planta⁻¹ y representan los más altos valores. Sin embargo, con la aplicación de 150-75-150 y 200-100-200 Kg ha⁻¹ de fertilizante químico, se obtuvo el mayor número de frutos 41 y 40 planta⁻¹ respectivamente. Hablando del producto de interés la aplicación de 40 y 30 Mg ha⁻¹ 937.92 y 842.72 g planta⁻¹. Y en el número de frutos comerciales se obtuvo 26 y 24 frutos planta⁻¹ en los mismos tratamientos.

Con la aplicación de 150-75-150 Kg ha⁻¹ de fertilizante químico se obtuvo el mayor diámetro ecuatorial 47.94 mm., mientras que en diámetro polar la aplicación de 100-50-100 presentó un diámetro de 43.38 mm. En grados Brix con la aplicación de 20 y 30 Mg ha⁻¹ de fertilizante orgánico se obtuvo el mayor valor con 6.51 y 6.46 y el más bajo con 5.62 en la aplicación de 10 Mg ha⁻¹. Para los parámetros de calidad de fruto la fertilización orgánica puede ser una alternativa al uso de fertilizantes químicos.

Para capsaicina la aplicación de 150-75-150 Kg ha⁻¹ de fertilizante con 0.016 mg ml⁻¹ fue con la que se obtuvo el valor más alto.

En las constantes de humedad, PMP y CC se muestra una tendencia a incrementar conforme incrementa el nivel de aplicación de la composta. Este resultado proporciona mejores condiciones en el suelo para el desarrollo del cultivo. El pH y la conductividad eléctrica siguen el mismo patrón, sin embargo no hay diferencias significativas para la variable CE y los valores están dentro del rango óptimo para la producción de cultivos.

Por lo que se concluye que el uso de dosis altas de fertilización orgánica favorece los mejores rendimientos y calidad en fruto de chile manzano.

Con la aplicación de abonos orgánicos se obtuvo una fructificación y maduración más rápida que con los fertilizantes químicos.

A medida que se incremento la dosis de fertilizante orgánico aumento la retención de agua en el suelo, en términos de CC y PMP. Sin embargo, se obtuvo un incremento en pH y conductividad eléctrica que no es muy favorable para los cultivos

VII. BIBLIOGRAFIA

Abad M.; Noguera P. y Carrión C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: M.,Urrestarazu (Eds.), Manual del cultivo sin suelo. Servicio de Publicaciones Universidad de Almería. Mundi-Prensa, Madrid. Págs: 113-158.

Aguirre- Medina J. F.; Irizar G. M. B.; Duran P. A.; O. Grajeda C. A.; Peña R. M. A.; Loredó O. C. y Gutiérrez B. A. 2009. Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. INIFAP. México. Pág. 5-31.

Alcantar G. G y Sandoval V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido Vegetal: Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial No 10 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. México.

Añez B. y W. Espinoza. 2003. Respuestas de la lechuga y del repollo a la fertilización química y orgánica. Revista Forest. Venez. 47(2):73-82.

Azofeifa A. y Moreira M. A. 2004. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annum* L. cv. Hot) en Añajuela, Costa Rica. Agronomía costarricense 32:19-29.

Cruz-Pérez B.; González- Hernández V. A.; Soto-Hernández R. M.; Gutiérrez-Espinosa M. A.; Gardea-Béjar A. A. y Pérez-Grajales M. 2007. Capsaicinoides, vitamina c y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. Agrociencia 41:627-635.

Bautista C. M. T. 2010. Potencial osmótico en la absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.).Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. México. Pág. 33-36.

Benito M.; Masaguer A.; Moliner A.; Arrigo N. and Palma R. M. 2003. Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biol Fertil Soils* 37:184–189.

Bernal M.; Navarro A.; Sánchez M.; Roig A. and J. Cegarra. 1998. Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil biology & biochemistry*. 30(3):305.

Bernal M. A.; Calderón A. A.; Ferrer M. A.; Merino de C. F. and Barceló F. R. 1995. Oxidation of capsaicin and capsaicin phenolic precursors by the basic peroxidase isoenzyme B6 from hot pepper. *J. Agric. Food Chem.* 43:352-355.

Berrios U. M. E.; Arredondo B. C. y Tjallin H. H. 2007. Guía de manejo de nutrición vegetal de especialidad. Pimiento SQM. México D. F. 103 p.

Borges G. L.; Cervantes C. L.; Ruiz N. J.; Soria F. M.; Reyes O. V. y Villanueva E. C. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (*capsicum chinense* jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra Latinoamericana* 28:35-41.

Capulín G. J.; Núñez E. R.; Etchevers B. J. D. y Baca C. G. A. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Revista Agrociencia* 35:287-299.

Carpenter-Boggs L.; Kennedy A. C. y Reganold J. C. 1998. Use of phospholipid fatty acids and carbon source utilization patterns to track microbial community succession in developing compost. *Appl Environ Microbiol* 64:4062–4064.

Castellanos J. Z.; Márquez O. J. J.; Etchevers J. D; Santelises A. A y Salinas J. R. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región árida irrigada del Norte de México. *Terra* 14:150-188.

Castellanos J. Z. y Peña-Cabriales, J. J. 1990. 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. Pág.79-84.

Castellanos R. J. Z. 1980. El estiércol como fuente de nitrógeno. *Seminarios Técnicos* 5(13). INIFAP-SARH. México.

Castro B. R.; Galvis S. A.; Sánchez J. P.; Peña L. A.; Sandoval V. M. y Alcántara G. G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 10:147-152.

Cázares-Sánchez E; Ramírez-Vallejo P; Castillo-González F.; Soto-Hernández R. M.; Rodríguez-González M. T. y Chávez-Servia J. L. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39: 627-638.

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.

Collins D. M.; Wasmund L. M. and Bosland P. W. 1995. Improved method for quantifying capsaicinoids in capsicum using high performance liquid chromatography. *Hortscience* 30 (1): 137-139.

Cruz P. A. B.; González H. V. A.; Soto H. R. M.; Gutiérrez E. M. A.; Gardea B. A. H. y Pérez G. M. 2007. Capsaicinoides, vitamina C y heterosis durante en desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia* 41(6): 627-635.

Cubero, J. I. 2002. Introducción a la mejora genética vegetal. Segunda edición. Mundi prensa. Barcelona España. Pág. 453.

Cuervo O. V. D. 2010. Abonos orgánicos como insumo de nutrición vegetal en un sistema hidropónico alternativo. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. México. Pág. 66.

Dao T. H. and Cavigelli A. M. 2003. Mineralizable carbon, nitrogen, and water extractable phosphorus release from stockpiled and composted manure and manureamended soils. *Agron. J.* 95:405-413.

De Cruz-Lázaro E.; Estrada-Botello M.A.; Robledo-Torres V.; Osorio-Osorio R.; Márquez-Hernández C. y Sánchez-Hernández R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia.* 25(1): 59-67.

De Luna V. A. y Vázquez A. E. 2009. Elaboración de Abonos Orgánicos. Universidad de Guadalajara. Pág. 4-12.

De A. K. 2003. *Capsicum*. The Genus *Capsicum*. Taylor and Francis. London. 256 p.

Diez N. M. 2001. Tipos varietales. *In: El cultivo del tomate.* NUEZ, F. (ed.). Editorial Mundiprensa. España. Págs: 93-129.

Dillard C. J. and Germa J. B. 2000. Phytochemicals: nutraceuticals and human health. *J Sci. FoodAgric.* 80:1744-1756.

Djamgoz M. B. A. and Isbilen B. 2006. Dietary compounds as anti-cancer agents: a preliminary evaluation of ion channels and membrane excitability as possible target mechanisms. *Turkish Biochem.* 31: 57-68.

Dong H.; Li W.; Xin C. and Zhang D. 2010. Late planting of short-season cotton in saline fields of the Yellow River Delta. *Crop Sci.* 50:292–300.

Durán L. y Henríquez C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1): 41-51.

Eghball B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal.* 64:2002-2030.

Eghball B. 2002. Soil Properties as influenced by phosphorus and nitrogen based manure and compost applications. *Agronomy Journal.* 94:128-135.

Epstein E. 1997. *The Science of Composting.* Technomic Publishing. Pennsylvania, US. 483 p.

Espinosa-Torres L. E; Pérez-Grajales M.; Martínez-Damián M.T.; Castro-Brindis R.; Barrios-Puente G. 2010. Efecto de empaques y temperaturas en el almacenamiento de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruíz y Pavón). *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 16(2):115-121

Estrada, B.; Pomar F.; Díaz J.; Merino F. and Bernal M. A. 1997. Evolution of capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. var. *annuum* cv. Padrón fruit at different growth stages. *Capsicum Eggplant Newsletter* 16:60-63.

Estrada, B.; Pomar, F.; Díaz, J.; Merino F. and Bernal, M. A. 1998. Effects of mineral fertilizer supplementation on fruit development and pungency in “Padrón” peppers. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 73: 493-497.

Estrada B.; Pomar F.; Díaz J.; Merino F. and Bernal M. A. 1999. Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. *Sci. Hortic.* 81: 385-396.

FAO e IFA. 2002. Los fertilizantes y su uso. Asociación de la industria de los fertilizantes. 4^{ed}. FAO e IFA. Roma.

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.

Finstein M. S. and Miller F C. 1985. Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control, and cost effectiveness. In: Gasser JKR (ed) *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Appl Sci Publ, Barking, Essex, pp 13–26.

FOASTAT. 2011. Organización de las Naciones Unidas Para La Agricultura. Estadísticas de la producción internacional de chile verde y seco. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> (consulta 24 de Noviembre 2011)

Foth H.D. and Ellis B.G. 1997. *Soil Fertility*. 2^a ed. CRC Press. Florida, US. 290 p.

Galler W. S. and Davey C. B. 1971. Higt rate poultry manure composting with sawdust. In: *livestock Waste Management and pollution. Abatment. Procc. Of the Internacional Symposium on Livestock Wastes*. Am. Soc. Of Ag. Engineers. USA. Pag:159-162.

Galloway J. N.; Townsend A. R. and Erisman J. W. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320: 889–892.

García-Gil J.C.; Plaza C.; Soler-Rovira P. y Polo A. 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on solid enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*32:1907-1913.

Guerrero A. 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa. España. 206p.

Guzmán-Maldonado S. H. y Paredes-López O. 1998. Functional products of plant indigenous to Latin America: Amaranth, quinoa, common beans and botanicals. En *Functional Foods- Biochemical & Processing Aspects*. Mazza, G. (ed.). Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA. p. 293-328.

He Xin-Tiao; Traina S.J. and Logan T.J. 1992. Chemical properties of municipal solid wastes composts. *Journal of Environmental Quality*, 21(3): 318-329.

Heeb A.; Lundegardh B.; Ericsson T and Savage P. G. 2005. Nitrogen from affects yield taste of tomatoes. *J. Food Sci. Agric.* 85:1405-1414.

Hernández H. A. 2011. Ácidos húmicos y fulvicos en la producción de hidropónica de chile manzano (*Capsicum Pubescens* R. y P.) en invernadero. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. 64p.

Hirai M. F.; Katayama A. and Kubota H. 1986 Effect of compost maturity on plant growth. *BioCycle* 27:58–61.

Horiuchi J. I.; Ebie K.; Tada K.; Kobayashi M. and Kanno T. 2003. Simplified method for estimation of microbial activity in compost by ATP analysis. *Bioresour Technol* 86:95–98.

Iannotti D. A.; Grebus M. E.; Toth B. L.; Madden L. V. and Hoitink H. A. J. 1994. Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. *J Environ Qual* 23:1177–1183.

Iglesias-Jiménez E, Pérez-García V .1992. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agric Ecosyst Environ* 38:331–343.

Jölli D. and Giljum S. 2005. Unused biomass extraction in agriculture, forestry and fishery. Sustainable Europe Research Institute (SERI) in Vienna, Austria 3: 7-10.

Jones B.; Wolf B. and Mills H. 1991. Plant analysis handbook, Micro-Macro Publishing, Inc. EEUU.

Jourdan M. B.; Clay A. R. and Schwartz R. C. 2006. Changes in Soil Properties and Enzymatic Activities Following Manure Applications to a Rangeland Rangeland Ecology & Management 59(3):314-320.

Jung K. J. and Yang E. J. E. 2001. Recycling technology of livestock wastes. 163-194 pp. In: proceeding of a seminar in commemorations of FFTC's 30^a anniversary national Taiwan University (ed.) Issues in the management of agricultural resources. Taipei, Taiwan.

Krajewska A. M. and J. J. Powers. 1988. Sensory properties of naturally occurring capsaicinoids. *J. Food Sci.* 53(3): 902-905.

Krider N. D. 1991. Innovatite utilization of de animal waste. In: National Livestock Waste Management. Proc. Of the National Workshop. Am. Soc. Of Ag. Engineers. Eds. Blake, J., J. Donald and W. Magette. Virginia University, USA. Pp 258-262.

Labrador M. J. 2001. La materia orgánica en los agroecosistemas. 2^a ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi Prensa. España. Págs. 90-107.

Lanson J. S; Baker T. T.; Ulery A. L.; Flynn R. P., Wood M. K. and Cram D. S. 2005. New Mexico Blue Grama Rangeland Response to Dairy Manure Application Rangeland Ecology & Management 58(4):423-429.

León L. 2000. Botánica de cultivos tropicales. 3^{ra} ed. Instituto de Ciencias Agrícolas de la O. E. A. Lima Perú. Págs. 316-318.

León L. 1998. Efecto de la aplicación de materia orgánica en la recuperación de suelos degradados por el cultivo intensivo de banano. Proyecto de Graduación. Licenciatura Ingeniero Agrónomo. Universidad EARTH. Guácimo, CR. 47 p.

Leslie G. C. P.; Daigger T. G. y Lim. C H.1999. Biological Wastewater Treatment Seacod Edition. Edit. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. Pp. 61-113.

Lindsey K. 1985. Manipulation by nutrient limitation of the biosynthetic capacity of immobilized cells of *Capsicum frutescens* Mill. cv. annum. Planta 165: 126-133.

López R. G. O. 2003. Chilli: La especia del Nuevo mundo. Ciencias 69:66-75.

López-Martínez J. D.; Díaz-Estrada A.; Martínez-Rubin E. y Váldez-Cepeda R. D. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra 19:293-299.

Lupwayi N. Z.; Girma M. y Haque I. 2000. Plant nutrient contents of cattle manures from Small-scale farms and experimental stations in the Ethiopian highlands. Agriculture, Ecosystems and environment. 78:57-63.

Maroto B. J. V. 2002. Horticultura Herbácea Especial. 5^{ta}. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. España. 702 p.

Márquez H. C.; Cano R. P. y Rodríguez D. N. 2008. Uso de Sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. Agric. Téc. Méx. 34(1): 69-74.

Martínez G. M. A. 2002. El cultivo del chile guajillo con fertirrigación en el Altiplano de San Luis Potosí. SAGARPA. INIFAP. México Pág. 6.

Martínez C. C.; Martínez C. y Méndez A.N. 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.

Mazuela P.; Urrestarazu M.; Salas M. C. and Guillén C. 2004. Comparison between different fertigation parameters and yield using pure compost and coir waste fibre in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv Pitenza) crop by soilless culture. Acta Horticulturae 659: 653-656.

Mazuelal P. y Urrestarazuz M. 2004. Ventajas del compost frente a otros sustratos en cultivos sin suelo. Vida rural. Pág. 28-31.

Medina L. M. S. 2010. Situación actual de producción y manejo del estiércol en el municipio de Texcoco. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. México.

Mendoza- Elos M.; Mosqueda-Villagómez C.; Rangel-Lucio J. A.; López-Benítez A.; Rodríguez-Herrera. S.A.; Latournerie-Moreno L. y Moreno-Martínez. E. 2006. Densidad de población y fertilización nitrogenada, en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM. Agricultura técnica en México 32(1):89-99.

Morán B. H.; Aguilar R. V. H.; Corona T. T.; Castillo G. F.; Soto H. R. M. y San Miguel Ch. R. 2008. Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia* 42: 807-816.

Moreno R. A.; Valdés P. M. T. y Zarate L. T. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica Chile* 65(1):26-34.

Mori A.; Lehmann S; O'Kelly J.; Kumagai T.; Desmond J. C.; Pervan M.; McBride W. H.; Kizaki M. and Koeffler H. P. 2006. Capsaicin, a component of red peppers, inhibits the growth of androgen-independent, p53 mutant prostate cancer cells. *Cancer Res.* 66: 3222-3229.

Nieto-Garibay A.; Murillo-Amador B. y Troyo-Diéquez E. 2001. Evaluación de variables ecofisiológicas en plantas de ají (*Capsicum frutescens*) bajo tratamiento de composta y fertilizante químico. *Botánica experimental Phytton* 1: 25-34.

Nieto-Garibay A.; Murillo-Amador B.; Troyo-Diéquez E.; Larrinaga-Mayoral J. A. y García-Hernández J. L. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8):417-421.

Ochoa M.; Bustamante C. y Rivero R. 2000. Utilización de fuentes de abonos orgánicos en combinación con fertilizante mineral (NPK) para la producción de posturas de *Coffea arábica* L. 2da. Convención Internacional de Educación Superior. Editorial "Felix Varela". Universidad Agraria de La Habana, Cuba. Pág 7.

Pérez G. M. y Castro B. R. 2008. El chile Manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Pág. 21-28.

Pérez G. M. 2002. Estudio genético y fisiológico del crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en chile manzano (*Capsicum pubesceens* R y P). Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. México. 106 p.

Plaut Z.; Grava A.; Yehezkel Ch.; and Matán E. 2004. How do salinity and water stress affect transport of water assimilates and ions to tomato fruits? *Physiol. Plant.* 122: 429-442.

Pool-Novelo L., Trinidad-Santos A., Etchevers-Barra J. D., Pérez-Moreno J. y 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.

Powers W. J. 2000. Odor control for livestock systems. *J. Anim. Sci.* 77:169-175.

Preciado R. P.; Fortis H. M.; García H. J. L.; Rueda P. E.; Esparza R. J. R.; Lara H. A.; Segura C M. A. y Orozco V. J. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia.* 36(9): 689-693.

Prigge E. C.; and Bryan B. W. 1991. Recycling and potential problems of excreta from beef cattle on pasture in the east. In: National Livestock poultry and Aquaculture Waste Management Proc. Of the National Workshop. Am Soc.of Ag.

Quintero R. L.; Ferrera C. R.; Etchevers B. J. D; García C. N. E.; Rodríguez K. G. R.; Alcántar G. G. y Aguilar S. A. 2003. Enzimas que participan en el proceso de vermicompostaje. *Terra* 21:73-80.

Reyes H. A.; Manes S. A.y 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. Pág. 8.

Rezende P. C.; De Arango Ch. 2006. Use of chlorophyll meter and plant visual aspect for nitrogen management in tomato fertigation. J. Appl. Hort. 8: 8-11.

Roaro A. E. 1989. Influencia del potasio en la producción de capsaicina en cultivo hidropónico de *Capsicum annum*. Tesis de Licenciatura, México D. F. Pág. 91-97

Rodríguez D. N.; Cano R. P.; Figueroa V. U.; Palomo G. A.; Favela CH. E.; Álvarez R. V. de P.; Márquez H. C. y Moreno R. A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(3): 265-272.

Rodríguez M. M. N.; Alcántar G. G.; Aguilar S. A.; Etchevers B. J. D.; Santizó R. J. A. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. Terra 16(2):8135-141.

Rojas-Lara P. C.; Pérez-Grajales M.; Colinas-León M. T. B.; Sahagún-Castellanos J.; Avitia-García E. 2008. Modelos matemáticos para estimar el crecimiento del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). Revista Chapingo Serie Horticultura 14(3):289-294.

Romero L. M. del R.; Trinidad S. A.; García E. R. y Ferrera C. R. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. Agrociencia 3: 261-269.

Ruiz E. F. H.; Murillo A. B.; García H. J. L.; Fenech L. L.; Rueda P. E. O.; Troyo D. E.; Kaya C. and Beltrán M. A. 2010. Field evaluation of the relationship between chlorophyll content in basil leaves and a portable chlorophyll meter (SPAD-502) readings. J. Plant Nutr. 33: 423-438.

Ruíz F. J. F. 1996. Los fertilizantes y la fertilización orgánica bajo la óptica de un sistema de producción orgánica. En Zapata Altamirano, Calderón Arózqueta (Eds.) Memorias Primer Foro Nacional sobre Agricultura Orgánica. 149 p.

Salas M. C.; Urrestarazu M.; Moreno J. & Elorrieta M. A. 2000. Sustrato alternativo para su uso en cultivo sin suelo. *Phytoma* 123: 52-55.

Salas M.C. & Urrestarazu M. 2001. Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo, Manuales de la Universidad de Almería, Servicios de Publicaciones de la Universidad de Almería, España. 280p.

Salazar-Sosa E.; Vázquez-Vázquez C.; Leos-Rodríguez J. A.; Fortis-Hernández M.; Montemayor-Trejo J. A.; Figueroa-Viramontes R. y J. D. López-Martínez. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo riego sub-superficial *Revista Internacional de Botánica Experimental ΦYTON*. Argentina. 259-273.

Sancho, R., C. Lucena, A. Macho, M. A. Calzado, M. Blanco-Molina, and A. Minassi. 2002. Immunosuppressive activity of capsaicinoides: Capsiate derived from sweet peppers inhibits NF-kappaB activation and is a potent anti-inflammatory compound in vivo. *Eur. J. Immunol.* 32:1753-1763.

Santamaría R. S.; Ferrera C. R.; Almaraz S. J. J.; Galvis S. A. y Barois B. 2001. Dinámica y relaciones de microorganismos, C- Orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia* 4: 377-384.

Santiago J.; Mendoza M. y Borrego F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agron. Mesoam.* 9: 59-65.

Scheller E. and Raupp J. 2005. Amino acid and soil organic matter content of topsoil in a long term trial with farmyard manure and mineral fertilizer. *Biol. Agric. Hortic.* 22:379–397.

Schmitt M. and Rehm G. 1998. Fertilizing cropland with beef manure. Extension Service, University of Minnesota, USA. 7 p.

Shankar S.; Chandra P. J. V. and Singha D. P. 2011. Efficient soil microorganism. A new dimension for sustainable agriculture and environment development. *agriculture, ecosystems & environment* 140: 339-353.

Smith J. J. 1991. Our responsibility in animal waste management In: National Livestock poultry and Aquaculture Waste Management proc. Of the National Workshop. Am. Soc. Of Ag. Engineers. Eds. Blake, J., J. Donald and W. Maggette. Agronomy and Product Development, USA. Pag: 121-127.

Smith P; Martino D and Cai Z. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363: 789–813.

Soto G. y 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.

Stevenson F.J. 1986. *Cycles of Soil*. John Wiley. United States. 380 p.

Suzuki T.; Kawada T. and Iwai K. 1981. Biosynthesis of acyl moieties of capsaicin and its analogues from valine and leucine in *Capsicum* fruits. *Plant Cell Physiol.* 22 (1): 23-32.

Tiquia S. M.; Wan J. H. C. and Tam N. F. Y. 2002. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. *Compost Sci Util* 10:150–161

Urrestarazu M.; Salas M. C. & Mazuela P. 2003. Methods of correction of vegetable waste compost used as substrate by soilless culture. *Act. Hort.* 609: 229-233.

Urrestarazu M.; Salas M.C.; Rodríguez R.; Elorrieta M. A. & Moreno J. 2000. Evaluación agronómica del uso del compost de residuos hortícolas como sustrato alternativo en cultivo sin suelo en tomate. *Actas de Horticultura* 32:327-332.

Urrestarazu M. 2009. The Effect of Amendment of Vegetable Waste Compost Used as Substrate in Soilless Culture on Yield and Quality of Melon Crops. *Compost Science & Utilization* 17:103-107.

Vandevivere P. y Ramírez C. 1995. Control de calidad de abonos orgánicos por medio de bioensayos. *Memoria Simposio Centroamericano sobre Agricultura Orgánica*. Pág. 121-140.

Vaughan D. and 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*. Eds. D. Vaughan and R. E. Malcolm. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Vaughan D. M; Malcolm R. E. y Ord B. G. 1985. Influence of humic substances on biochemical processes in plants In: Vaughan, D, R. E. Malcolm (eds.) *soil organic matter and biological activity*. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publ., Dordrecht. Pag. 77-108.

Visser S.A. 1986. Effetto 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). Pag. 96-143.

White P. J. y Brown P. H. 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany* 105: 1073–1080.

Wilson G. B and Dalmat D. 1986. Measuring compost stability. *BioCycle* 27:34–37.

Wu L.; Ma L. Q. and Martínez G. A. 2000. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *J Environ Qual* 29:424–429.

Zavaleta M. E. 2002. Abonos orgánicos para el manejo de fitopatógenos con origen en el suelo. *Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional*. Junio. UAEM. Pág. 38-45.

Zewdie Y. and Bosland P. W. 2000. Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annum* L. *Euphytica*. 111: 185-190.

Zucconi F.; Pera A.; Forte M. and de Bertoldi M. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle* 22:54–57.

Zucconi F. and De Bertoldi M. 1987. Compost specification for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: de Bertoldi M, Ferranti MP, L'Hermite P, Zucconi F (eds) *Compost: production, quality and use*. Elsevier Appl Sci, Essex. pp 30–50.

APENDICE

Cuadro 14. Análisis de varianza de las variables morfológicas en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P)

Factor de variación	Grados de libertad	Área foliar	Peso seco			Índice de cosecha	Nitrógeno	Unidades SPAD
			Tallo	Hoja	Fruto			
TRA	9	18386596.5**	2125.7**	459.1**	3601.78**	0.027 ns	2.3**	82.7**
BLO	4	1657725.3	15.6	33.5	72.64	0.008	0.2	10.5
ERROR	36	567867	36.2	28.7	80.78	0.027	0.2	17.8
TOTAL	49							

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$), * Significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativos

Cuadro 15. Análisis de varianza de las variables de rendimiento en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P)

Factor de variación	Grados de libertad	Diámetro ecuatorial	Diámetro polar	Rto. fruto comercial	Rto. total	Núm. frutos comercial	Número de fruto total
BLO	4	8.7	1	5936.1	7613	8.6	0.2
ERROR	36	12.1	4.8	6800.4	9609.6	8.8	4.8
TOTAL	49						

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$), * Significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativos

Cuadro 16. Análisis de varianza de las variables postcosecha en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P)

Factor de variación	Grados de libertad	Área foliar	Grados brix	Firmeza	Grosor de pericarpio
BLO	4	1657725.3	0.2	0.4	0.5
ERROR	36	567867	0.2	0.6	0.5
TOTAL	49				

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$), * Significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativos

Cuadro 17. Análisis de varianza de las variables postcosecha después de refrigeración y vida de anaquel en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P)

Factor de variación	Grados de libertad	Grados brix	firmeza	Grosor de pericarpio	Pérdida de peso
TRA	9	0.65**	0.89 ns	0.37 ns	1.40 **
BLO	4	0.05	0.33	0.14	0.31
ERROR	36	0.35	1.53	0.23	0.41
TOTAL	49				

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$), * Significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativos

Cuadro 18. Prueba de comparación de medias tukey $\alpha = 0.05$ y diferencias significativas en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P). Como respuesta a la aplicación de 4 niveles de fertilización química y 5 niveles de fertilización orgánica en relación al testigo.

Tratamiento	AF (cm ²)	PST (g)	PSH (g)	PSF (g)	N (%)	LS
T1	620.3 d	6.45 e	3.84 e	7.582 f	2.61 b	34.86 c
T2	3226.3 bc	49.60 bc	16.09 cd	57.562 cd	2.67 b	38.02 abc
T3	6456.7 a	65.74 a	22.71 bc	69.590 bc	3.97 a	43.68 abc
T4	6561.1 a	70.16 a	27.70 ab	58.032 cd	4.25 a	46.48 a
T5	5878.8 a	61.91 ab	36.37 a	44.002 de	4.28 a	45.76 ab
T6	2656.9 bc	19.61 d	9.52 de	38.042 e	2.89 b	38.48 abc
T7	2241.0 c	26.83 d	9.48 de	53.550 cde	2.81 b	40.94 abc
T8	4210.3 b	41.57 c	14.15 cde	83.932 ab	2.73 b	35.72 c
T9	3934.7 b	45.96 c	17.32 bcd	94.042 a	2.99 b	37.14 bc
T10	4078.6 b	47.16 c	21.00 bc	91.342 a	2.83 b	39.58 abc
CV	18.9	13.8	30.1	14.99	13.3	10.5

AF= Área foliar, PST= Peso seco de tallo, PSH= Peso seco de hoja, PSF= Peso seco de fruto, N= Nitrógeno, LS= Lecturas SPAD

Cuadro 19. Prueba de comparación de medias tukey $\alpha= 0.05$ para las variables de rendimiento en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P). Como respuesta a la aplicación de 4 niveles de fertilización química y 5 niveles de fertilización orgánica en relación al testigo.

Tratamiento	DE (mm)	DP (mm)	RFRU (g)	RTOT (g)	NFRU	NFRUT	IC
T1	39.94 b	36.26 d	81.52 e	124.12 e	3.80 e	4.60 f	0.64 a
T2	47.82 a	41.27 abc	568.80 c	652.24 cd	12.80 cd	20.00 de	0.66 a
T3	46.31 ab	43.38 a	616.92 bc	792.32 bc	18.00 c	31.80 b	0.69 a
T4	47.94 a	41.26 abc	528.52 cd	789.92 bc	18.40 bc	41.60 a	0.81 a
T5	44.77 ab	39.21 abcd	379.34 d	616.60 cd	16.80 c	39.80 a	0.74 a
T6	46.47 ab	37.26 cd	371.50 d	503.10 d	9.80 de	16.20 e	0.73 a
T7	44.52 ab	38.46 bcd	496.74 cd	628.36 cd	12.40 cd	21.40 d	0.67 a
T8	42.98 ab	41.80 abc	842.72 a	743.72 bc	24.4 ab	31.40 bc	0.70 a
T9	44.55 ab	41.63 abc	937.92 a	1027.44 a	26.00 a	33.00 b	0.77 a
T10	44.92 ab	42.24 ab	777.38 ab	913.58 ab	18.00 c	27.00 c	0.88 a
CV	8	5.5	14.7	14.4	18.5	8.2	22.7

DE=Diámetro ecuatorial, DP= Diámetro polar, RFRU= Rendimiento de fruto comercial, RTOTF= Rendimiento de fruto total, NFRU= Número de frutos comerciales, NFRUT= Número de frutos total, IC= índice de cosecha, CV= Coeficiente de Variación. Valores con las mismas letras son estadísticamente iguales.

Cuadro 20. Prueba de comparación de medias tukey $\alpha= 0.05$ en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P). Como respuesta a la aplicación de 4 niveles de fertilización química y 5 niveles de fertilización orgánica en relación al testigo.

Tratamiento	Grados Brix	Firmeza (N)	Grosor de	
			Pericarpio (mm)	Capsaicina (mg/ml)
T1	5.72 ab	5.20 a	4.21 a	0.0140 ab
T2	6.28 ab	5.76 a	4.75 a	0.0110 bc
T3	5.98 ab	5.55 a	4.88 a	0.0113 abc
T4	6.20 ab	6.16 a	4.75 a	0.0160 a
T5	6.19 ab	5.06 a	4.46 a	0.0140 ab
T6	5.62 b	6.49 a	5.49 a	0.0087 c
T7	6.46 a	6.64 a	4.72 a	0.0103 bc
T8	6.51 a	6.18 a	4.55 a	0.0077 c
T9	6.21 ab	6.01 a	4.69 a	0.0083 c
T10	6.22 ab	6.45 a	4.89 a	0.0090 c
CV	6.4	13.3	14.4	15.16

CV= Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

Cuadro 21. Análisis de la varianza para variables de postcosecha después de refrigeración y vida de anaquel.

Tratamientos	° Brix	FIR (N)	GP (mm)	PP (g)
T1	5.52 b	4.030 a	4.758 a	2.944 a
T2	6.04 a	4.186 a	5.054 a	4.780 a
T3	6.32 a	4.467 a	4.724 a	3.958 a
T4	6.68 a	3.868 a	4.614 a	3.040 a
T5	6.26 a	4.180 a	4.386 a	2.792 a
T6	6.38 a	3.867 a	5.224 a	4.136 a
T7	6.3 a	4.462 a	5.180 a	4.120 a
T8	6.34 a	4.468 a	4.805 a	3.556 a
T9	6.16 a	3.624 a	4.668 a	3.852 a
T10	6.86 a	3.284 a	4.592 a	3.996 a
CV	9.44	30.38	9.96	17.47

° Brix= Grados Brix, FIR= Firmeza, GP= Grosor de Pericarpio, PP= Pérdida de peso en vida de anaquel, CV= Coeficiente de Variación. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

Cuadro 22. Análisis de la varianza para la variable Capsaicina en chile manzano

FACTOR DE VARIACION	GL	CAP
TRA	9	0.02**
BLO	4	0.01**
ERROR	36	0.002
TOTAL	49	

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$), * Significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativos

Cuadro 23. Análisis de la varianza para las variables capacidad de campo, punto de marchitez permanente, pH y Conductividad eléctrica

Factor de variación	Grados de libertad	CC	PMP	PH	CE
TRA	5	45.91**	29.03**	0.42**	0.86ns
BLO	2	0.27	22.41**	0.006ns	2.32ns
ERROR	10	0.91	2.14	0.002	1.25
TOTAL					

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$), * Significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativos

Faltan notas al pie

Cuadro 24. Prueba de comparación de medias Tukey $\alpha=0.05$ en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P). Como respuesta a la aplicación de 5 niveles de fertilización Orgánica en relación al testigo.

Tratamiento	CC	PMP	pH	CE
Suelo	25.89 d	16.75 bc	5.0 e	0.60 a
M1	26.64 d	15.70 c	5.2 d	1.20 a
M2	30.39 c	15.40 c	5.5 c	1.60 a
M3	31.24 bc	20.15 ab	5.7 b	1.72 a
M4	33.38 bc	22.25 a	5.9 a	1.91 a
M5	36.13 a	21.85 a	6.0 a	2.06 a
CV	3.12	7.82	0.78	74.31

M1=suelo+10 Mg ha⁻¹, M2=suelo+ 20 Mg ha⁻¹, M3=suelo+30 Mg ha⁻¹, M4=suelo+40 Mg ha⁻¹, M5=suelo+50 Mg ha⁻¹