



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

---

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Área Académica de Biología  
Maestría en Biodiversidad y Conservación

EFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS EN  
EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LOS  
FRUTOS DE DOS VARIEDADES DE  
CHILE SERRANO (*Capsicum annuum* L.)

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
M A E S T R O E N C I E N C I A S  
(BIODIVERSIDAD Y CONSERVACION)  
P R E S E N T A:  
JORGE ALEJANDRO SOBREVILLA SOLÍS

DIRECTOR DE TESIS: DRA. MARITZA LÓPEZ HERRERA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

M. EN A. JULIO CESAR LEINES MEDÉCIGO

DIR. ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

PRESENTE

Por este conducto le comunico que, después de revisar el trabajo titulado "EFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LOS FRUTOS DE DOS VARIETADES DE CHILE SERRANO (*Capsicum annuum* L.)" que presenta el alumno de la Maestría en Biodiversidad y Conservación, **Bíol. Jorge Alejandro Sobrevilla Solis**, el Comité Revisor de tesis ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Comité Revisor.

PRESIDENTE: Dra. Leticia Romero Bautista

SECRETARIO: Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval

VOCAL: Dra. Maritza López Herrera

PRIMER SUPLENTE: Dr. Enrique Chávez Cruz

Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE  
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"  
Mineral de la Reforma, Hgo., a 29 de junio del 2011.

DR. ORLANDO AVILA POZOS  
Director I.C.B.I.





A MIS PADRES...  
DULCE Y VICTOR

Por ser los ángeles que me guían y a quienes debo mi existencia, el amor, los valores y el respeto por la naturaleza.

A MIS HERMANOS...  
ALFREDO, NACHO Y CÉSAR  
Por ser mis eternos compañeros

A MIS ABUELOS...  
MARTHA,  
AMANDA Y SAMUEL

Seres de luz y sabiduría.  
Ejemplos de vida.

A IVON...  
Yo soy la vida que ya tengo, Tú  
eres la vida que me falta.  
TE AMO y gracias por todo!!!

A LA MADRE TIERRA...  
Por que es posible producir,  
sin dañar la naturaleza.

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Maritza López Herrera, por ser el gran apoyo que tuve durante la maestría, por confiar en mi y por hacer de mi estancia en el laboratorio una verdadera experiencia de vida.

A la Dra. Leticia Romero Bautista y al Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval, por compartir su experiencia y conocimientos para llevar a cabo esta investigación.

Al Dr. Enrique Cruz Chávez, por su gran apoyo, por su tiempo y las facilidades dadas en el Laboratorio de Geología Ambiental para efectuar los análisis de suelo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado para poder realizar mis estudios en el programa de Maestría en Biodiversidad y Conservación de la UAEH.

A la Dra. Ana Laura López Escamilla, por la motivación, la ayuda y el entusiasmo siempre brindados.

A mis grandes amigos "Los Monos": Ivon, Delia, Adry, Pablo y Karen, por todos los momentos divertidos y por seguir teniendo esa gran hermandad. Los quiero!!!!

A mis compañeros del Laboratorio de Morfofisiología Vegetal: Su-Lin, Sirelda, Asce y Dante, por su amistad y confianza.

A todos mis maestros del Centro de Investigaciones Biológicas que durante la maestría me ayudaron a conocer y a aprender más de este maravilloso mundo.

GRACIAS....MIL GRACIAS A TODOS!!!!!!.

# INDICE

	Pag.
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2 ANTECEDENTES</b>	
2.1 La agricultura orgánica.....	3
2.1.1 El origen de los procesos ecológicos de producción.....	3
2.1.2 La agricultura orgánica: principios y desarrollo.....	5
2.1.3 Los fertilizantes orgánicos.....	11
2.1.3.1 Compostaje.....	11
2.1.3.2 Fertilizantes líquidos fermentados.....	13
2.2 Suelo.....	18
2.2.1 Características y elementos.....	18
2.2.1.1 Fase mineral inorgánica.....	19
2.2.1.2 Fase líquida.....	20
2.2.1.3 Fase gaseosa.....	25
2.2.1.4 Fase orgánica.....	27
2.2.1.4.1 Descomposición de la materia orgánica....	30
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	37
<b>4 JUSTIFICACIÓN</b> .....	38
<b>5 METODOLOGÍA</b>	
5.1 Material biológico.....	39
5.2 Elaboración de fertilizantes.....	39
5.2.1 Composta.....	39
5.2.2 Fermentado de estiércol.....	40
5.2.3 Fertilizante químico.....	41
5.3 Actividades culturales.....	41
5.4 Evaluación del rendimiento.....	45
5.5 Cuantificación de capsaicina.....	46
5.6 Evaluación de las propiedades del suelo.....	47
5.7 Diseño experimental.....	51
<b>6 RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	
6.1 Evaluación del rendimiento.....	52
6.1.1 Crecimiento, floración y generación de frutos.....	52
6.1.2 Índice de cosecha.....	55
6.1.3 Contenido de clorofila.....	62
6.2 Contenido de capsaicina en los frutos.....	65

6.3 Características físicas y químicas del suelo.....	69
6.3.1 Textura del suelo.....	70
6.3.2 pH.....	71
6.3.3 Contenido de materia orgánica.....	77
6.3.4 Capacidad de intercambio catiónico total.....	83
6.3.4.1 Porcentaje de saturación de bases intercambiables...	84
<b>7 CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>8 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>106</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.- Aumento en el área cultivada (miles de hectáreas) y ganancias económicas por exportación (millones de dólares) de productos orgánicos en México. (Tomado de Willer <i>et al.</i> , 2008).....	10
Figura 2.- Zona de adhesión y cohesión que se forman entre partículas de suelo y moléculas de agua debido a atracciones eléctricas. (Tomado de Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990).....	16
Figura 3.- Proceso general de descomposición de la materia orgánica.....	36
Figura 4.- Cinética de crecimiento y barra de error típico de los cuatro tratamientos de fertilización para la variedad criolla (a) y para el cultivar Tampiqueño 74 (b), de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	52
Figura 5.- Alturas finales promedio y barra de error típico para los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	53
Figura 6.- Número de frutos promedio y barra de error para los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	55
Figura 7.- índice de cosecha promedio (ICprom) en pesos seco y barra de error para los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	56
Figura 8.- Promedio de índice de cosecha (IC) en pesos fresco y barra de error para los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	61
Figura 9.- Promedio semanal de lecturas de clorofila (uSPAD) para los tratamientos de fertilización: composta (a), fertilizante químico (b), fermentado (c) y control (d); tanto para la variedad criolla (línea azul) como para el cultivar Tampiqueño 74 (línea verde) de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	63
Figura 9.- Promedio de absorbancia de capsaicina a 297 nm en frutos de los cuatro tratamientos de fertilización: composta, fertilizante químico (F.Q), fermentado (Ferm.) y el tratamiento control; tanto para la variedad	

criolla como para el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	65
Figura 10.- Porcentaje de saturación de sodio en una muestra de suelo inicial y en los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	87
Figura 11.- Porcentaje de saturación de potasio en una muestra de suelo inicial y en los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	89
Figura 12.- Porcentaje de saturación de magnesio en una muestra de suelo inicial y en los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	91
Figura 13.- Porcentaje de saturación de calcio en una muestra de suelo inicial y en los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	93

## **ÍNDICE DE CUADROS**

	Pag.
Cuadro 1.- Número de flores totales registradas, número de frutos producidos y porcentaje de frutos producidos respecto al número de flores totales; para los cuatro tratamientos de fertilización de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ) de la variedad criolla (arriba) y cv. Tampiqueño 74 (abajo) variedad criolla.....	54
Cuadro 2.- Número de frutos totales, promedio de frutos por planta, índice de cosecha promedio en peso seco (IC peso seco) e índice de cosecha promedio en peso fresco (IC peso fresco) para cada tratamiento de fertilización para la variedad criolla y el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	55
Cuadro 3.- Promedio, niveles máximos y niveles mínimos de clorofila, expresados en unidades SPAD; para los cuatro tratamientos de fertilización para la variedad criolla (arriba) y el cv. Tampiqueño-74 (abajo) de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	62
Cuadro 4.- Promedio de absorbancia a 297 nm para cada uno de los	



tratamientos fertilización composta, fertilizante químico, fermentado y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	65
Cuadro 5.- pH y su categorización de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. Los valores se presentan para una muestra de suelo previa a los tratamientos de fertilización (suelo inicial) y el suelo sometido a los tratamientos de fertilización donde se desarrollaron las plantas de variedad criolla y el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	72
Cuadro 6.- Porcentaje de materia orgánica (% M.O.) y su categorización de acuerdo a la escala de concentración de materia orgánica para suelos no volcánicos de la NOM-021-RECNAT-2000. Los valores se presentan para una muestra de suelo previa a los tratamientos de fertilización (suelo inicial) y el suelo sometido a los tratamientos de fertilización donde se desarrollaron las plantas de variedad criolla y el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	77
Cuadro 7.- Capacidad de intercambio catiónico (CICT) (cmol/Kg <sup>-1</sup> ) y su categorización según la norma oficial (NOM-021-RECNAT-2000). Los valores se presentan para una muestra de suelo previa a los tratamientos de fertilización (suelo inicial) y el suelo sometido a los tratamientos de fertilización donde se desarrollaron las plantas de variedad criolla y el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	83
Cuadro 8.- Porcentaje de saturación de bases intercambiables, extraído de la capacidad de intercambio catiónico total y el porcentaje de saturación individual por catión respecto al porcentaje de saturación de bases; para una muestra de suelo previa a los tratamientos de fertilización (suelo inicial) y el suelo sometido a los tratamientos de fertilización donde se desarrollaron las plantas de variedad criolla y el cultivar Tampiqueño 74 de chile serrano ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	85

## **RESUMEN**

Se evaluó el efecto de una composta doméstica, un fermentado de estiércol bovino y un fertilizante químico comercial sobre la producción de dos variedades de chile serrano (criolla y cultivar tampiqueño 74), con el objetivo de inferir las ventajas de los abonos orgánicos sobre los fertilizantes químicos. Se evaluó el rendimiento productivo (floración, producción de frutos e índice de cosecha), el contenido de capsaicina y algunas características del suelo antes y después de la producción. Los resultados para ambas variedades muestran tendencias similares y el mayor número de flores se registra en la fertilización con composta, no obstante, el número de frutos cosechados no muestra diferencias significativas entre los tratamientos. El análisis de varianza sobre el índice de cosecha demostró que existe un efecto significativo de la interacción entre los fertilizantes y las variedades ( $F=3.260$ ,  $P<0.05$ ); también fue significativo el efecto de la variedad ( $F=58.688$ ,  $P<0.05$ ) y los fertilizantes ( $F=24.225$ ,  $P<0.05$ ) por separado; la prueba de comparaciones múltiples de Turkey muestra que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con composta, fermentado y fertilizante químico. Ambas variedades muestran diferencias en cuanto a las concentraciones de capsaicina y los tratamientos de fertilización presentan un efecto variable. El contenido de materia orgánica en suelo aumento entre 3 y 5 veces más en los tratamientos con composta (8.9% para la variedad criolla y 5.7% para tampiqueño 74), con respecto a los niveles iniciales (1.7%). El pH del suelo se clasificó como fuertemente alcalino debido a altos niveles de sodio en el agua de riego. La capacidad intercambio catiónico total aumento desde 6.6 hasta 12.6  $\text{cmol/kg}^{-1}$  en los tratamientos composta. La concentración de  $\text{Ca}^{++}$  en el complejo de intercambio disminuyó, mientras que el  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$  y  $\text{Mg}^{++}$  aumentó considerablemente al emplear abonos orgánicos. Los resultados indican que bajo esquemas de producción orgánica, los abonos de origen natural tienen el potencial para sustituir a la fertilización química convencional y los problemas que ésta conlleva.

## INTRODUCCIÓN

Durante la década de los años 70's surgen movimientos social-ambientalistas que buscaban impulsar el uso de sistemas alternativos de producción. Dichas alternativas surgen ante la necesidad de consumir alimentos no contaminados con agroquímicos y minimizar la destrucción ambiental que causaba la agricultura convencional (Mejía, 2001b).

Una de las propuestas de producción con mayor éxito fue la agricultura orgánica, que tiene como eje fundador el manejo integral de los recursos involucrando elementos técnicos, sociales, económicos y agroecológicos (Soto y Muschler, 2001). Este movimiento está regido por cuatro principios básicos (Felix-Herrán *et al.*, 2008):

- 1.- Maximizar los recursos; no se busca sustituir insumos, si no reutilizarlos.
- 2.- Buscar al máximo la independencia de insumos externos.
- 3.- Provocar el menor impacto posible sobre el ambiente.
- 4.- Producir alimentos sin poner en riesgo la salud de los productores ni consumidores.

Uno de los principales elementos con los que cuenta la agricultura orgánica es el empleo de fertilizantes orgánicos, los cuales han sido utilizados desde tiempos remotos y un gran número de investigaciones demuestran la gran influencia que estos tienen sobre el mejoramiento de la fertilidad del suelo; mostrando que los fertilizantes orgánicos representan una buena alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica (López-Martínez *et al.*, 2001).

Los fertilizantes orgánicos permiten la estabilización de desechos con elevadas proporciones de material orgánico, libres de patógenos y elementos fitotóxicos, a través de mínimos requerimiento tecnológicos

(Sauri *et al.*, 2002), y al mismo tiempo representan una solución útil y sustentable a dos problemas: la disposición final de los residuos y el mejoramiento de las características del suelo (Windman *et al.*, 2005).

Este tipo de fertilizantes aportan nutrientes y son la base para la formación de múltiples compuestos, como las sustancias húmicas, que mantienen la actividad microbiana y que ayudan a mejorar la estructura del suelo, aumentan el intercambio catiónico, forman complejos de nutrimentos fácilmente asimilables por las plantas, controlan la población de patógenos y plagas (Félix-Herrán *et al.*, 2008) y ofrecen grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (López-Martínez *et al.*, 2001).

Desde la perspectiva económica, el uso de abonos orgánicos es atractivo por su menor costo en producción y aplicación, por lo que resulta más accesible a los productores, sobre todo en países donde la mayor parte de la producción se logra a través de una agricultura no tecnificada como ocurre en muchas regiones de América Latina (Nieto-Garibay *et al.*, 2002).

## ANTECEDENTES

### 2.1 LA AGRICULTURA ORGÁNICA

#### 2.1.1 El origen de los procesos ecológicos de producción

La agricultura libre de agroquímicos fue la forma dominante de producción hasta antes de la Primera Guerra Mundial; momento en el cual los países desarrollados como Estados Unidos y gran parte de Europa instauran un nuevo esquema de producción técnico-científico basado en la mecanización; alcanzando su mayor auge en el periodo entre las dos grandes guerras (Mejía, 2001a).

A mediados del siglo pasado se impulsa en el mundo el modelo de la revolución verde que se constituye como la gran oportunidad de desarrollo a la posguerra; con el objetivo de maximizar la producción agrícola a partir de procesos ya controlados por la industria y que involucraban sistemas de riego, maquinaria, semillas mejoradas, abonos químicos y pesticidas (fungicidas, insecticidas, herbicidas, etc.) (Mejía, 2001a; González, 2005).

La revolución verde trajo grandes beneficios como el aumento en el rendimiento de las cosechas y el abasto de alimentos a nivel mundial; no obstante, frente a estos beneficios se desarrollaron problemáticas y consecuencias devastadoras en diferentes ámbitos (González, 2005). Desde su implementación, la revolución verde implicó la simplificación de la estructura ambiental de vastas áreas, reemplazando la vegetación natural por un pequeño número de plantas cultivadas y animales domésticos. La tendencia al monocultivo creó ecosistemas simplificados y por lo tanto muy inestables y sujetos especialmente a las enfermedades y a las plagas (Queirós, 2009).

La dependencia a los agroquímicos puso en riesgo los recursos naturales a partir de la introducción de pesticidas, semillas modificadas, especies exóticas, etc; acciones que hasta nuestros días no han resuelto la problemática de producción de alimentos, sino que han agudizado fenómenos como la resistencia de plagas, problemas de salud pública, pérdida de biodiversidad y deterioro del medio ambiente (Queirós, 2009).

A mediados de los 70's, las evidencias de degradación ambiental y de ineficiencia energética de los sistemas productivos motivaron a que un gran número de investigadores y productores replantearan los fundamentos de la agricultura moderna. Paralelamente la opinión pública mundial, impulsada por organizaciones ambientalistas y de derechos de los consumidores, cuestionaba la confianza en el sistema científico-técnico para asegurar la calidad de los alimentos y desarrollar sistemas que no degradaran el ambiente (Gómez, 1998).

Frente a la práctica de la agricultura química impulsada por la revolución verde y los altos costos que de ellas derivaban, surgen por lo menos 20 escuelas alternativas de producción tales como: la orgánica, biodinámica, ecológica, mesiánica natural, microbial, radiónica, asociativa, mentalista, trofobiótica y biológica en sus tantas variantes: natural, por tecnologías apropiadas, de no intervención, permacultura, de biodiversidad, tridimensional y la regenerativa (Mejía, 2001a).

Hasta nuestros días muchas de estas alternativas de producción siguen vigentes y de ellas la agricultura orgánica es la más practicada por ser considerada una opción económica, ambientalmente viable y adecuada para la salud. Un factor clave para el desarrollo de la agricultura orgánica ha sido la exigencia de los consumidores por alimentos inocuos a raíz de las enfermedades surgidas por residuos de plaguicidas en verduras y frutas, niveles excesivos de hormonas, contaminación de alimentos por

dioxinas, entre otros. Como resultado, el consumidor exige mayores garantías sobre la calidad y sanidad de los alimentos que consume (Soto y Muschler, 2001).

### 2.1.2 La agricultura orgánica: principios y desarrollo.

El nacimiento de la agricultura orgánica se marca con las publicaciones de Albert Howard, agrónomo inglés del Departamento Imperial de Agricultura, que se interesaba por las técnicas agrícolas campesinas. En 1919 emigró a Indore, provincia Hindú, donde estableció una granja y adoptó el método Indore de compostaje (2/3 de estiércol y 1/3 de materia vegetal) como base agrícola; en 1931 publicó su obra *"The Waste Products of Agriculture: Their utilization as humus"*, donde establece su postulado central: el compost como instrumento fundamental agrícola (Mejía, 2001a).

Howard determinó en sus publicaciones que es esencial observar los procesos productivos de la naturaleza y aprender de ella las lecciones necesarias para favorecer la producción de alimentos. Sus observaciones establecieron conceptos fundamentales para la agricultura orgánica como la protección del suelo, uso de coberturas permanentes, la producción de fertilizantes orgánicos, el mejoramiento de las propiedades del suelo, la importancia de la investigación en fincas y el uso racional de los recursos (Soto y Muschler, 2001).

Los trabajos elaborados por Howard llevaron a formar la "Soil Association" en 1946 en Gran Bretaña, como un organismo de investigación e información sobre prácticas orgánicas de manejo de fincas y suelos. Desde entonces esta asociación se ha convertido en un líder mundial en el establecimiento de normas y capacitación en agricultura orgánica (Soto y Muschler, 2001).

La propuesta de agricultura orgánica llegó a Estados Unidos a través de J. I. Rodale, editor de una revista sanitaria de Pensilvania. Sin embargo los sistemas de producción orgánica se consolidan como un movimiento en los años 60's en Europa y Estados Unidos (Mejía, 2001a).

El éxito de los sistemas de producción orgánica llevó a conformar importantes asociaciones como la Federación Mundial de Movimientos Orgánicos (IFOAM); que considera cuatro principios básicos:

- Principio de Salud: El rol de la agricultura orgánica, ya sea en la producción, transformación, distribución o consumo, es el de mantener y mejorar la salud de los ecosistemas y organismos. La agricultura orgánica en particular, tiene la finalidad de producir alimentos nutritivos de alta calidad que promuevan un cuidado preventivo de la salud y del bienestar. En correspondencia con lo anterior, la agricultura orgánica debe evitar el uso de fertilizantes, plaguicidas, productos veterinarios y aditivos en alimentos que puedan ocasionar efectos negativos en la salud.
- Principio de Ecología: El manejo orgánico debe adaptarse a las condiciones locales, la ecología y la cultura. Los insumos deben disminuir mediante la reutilización, reciclaje y manejo eficiente de materiales y energía para así mantener y mejorar la calidad ambiental y la conservación de los recursos. La agricultura orgánica debe lograr el uso racional de los recursos a través del diseño de sistemas agrarios, el establecimiento de habitats y el mantenimiento de la diversidad genética y agrícola. Quienes producen, transforman, comercializan o consumen productos orgánicos deben proteger y beneficiar al ambiente común que incluye paisajes, hábitat, biodiversidad y demás recursos naturales.
- Principio de Equidad: La agricultura orgánica debe proporcionar a todos aquellos involucrados, una buena calidad de vida, contribuir a la soberanía alimentaria y a la reducción de la pobreza. Los recursos



naturales y los servicios ambientales utilizados para la producción y consumo deben ser gestionados de tal forma que sea justa social y ecológicamente, debiendo mantenerse como legado para futuras generaciones. La equidad requiere de sistemas de producción, distribución y comercio abiertos y justos que tomen en cuenta los verdaderos costos ambientales y sociales.

- Principio de Precaución: Este principio establece que la precaución y la responsabilidad son elementos clave en la gestión, desarrollo y elección de tecnologías para la agricultura orgánica. La ciencia es necesaria para asegurar que la agricultura orgánica sea saludable, segura y ecológicamente responsable. Sin embargo, el conocimiento científico sólo no es suficiente. La experiencia práctica, la sabiduría acumulada y el conocimiento local y tradicional ofrecen soluciones validas comprobadas por el tiempo. La agricultura orgánica debe prevenir riesgos importantes adoptando tecnologías apropiadas y rechazando las impredecibles como lo es la ingeniería genética. Las decisiones deben reflejar los valores y las necesidades de todos los posibles afectados a través de procesos transparentes y participativos.

Aunque las definiciones sobre la agricultura orgánica aun son muy diversas; en la actualidad el término agricultura orgánica se refiere al proceso que utiliza métodos que respetan el medio ambiente, desde las etapas de producción hasta las de manipulación y procesamiento. La producción orgánica no sólo se ocupa del producto, sino también de todo el sistema que se usa para producir y entregar el producto al consumidor final (El-Hage y Hattman, 2003).

Del mismo modo forma parte de una vasta gama de metodologías que apoyan la protección del medio ambiente. Los sistemas de producción

orgánica se basan en normas de producción específicas y precisas cuya finalidad es lograr agroecosistemas óptimos, que sean sostenibles desde el punto de vista social, ecológico y económico (OMS-FAO, 2007).

Según el Codex Alimentarius de la FAO, la agricultura orgánica es un sistema holístico de gestión de producción que fomenta y mejora la salud del agroecosistema, y en particular la biodiversidad, los ciclos biológicos, y la actividad biológica del suelo. Hace hincapié en el empleo de prácticas de gestión prefiriéndolas respecto al empleo de insumos externos, teniendo en cuenta que las condiciones regionales requerirán sistemas adaptados localmente. Esto se consigue empleando métodos culturales, biológicos y mecánicos, en contraposición al uso de materiales sintéticos, para cumplir cada función específica dentro del sistema (OMS-FAO, 2007).

Mientras que la USDA (Departamento de Agricultura de los EEUU) considera que la agricultura orgánica es un sistema de producción que evita o excluye ampliamente el uso de fertilizantes, pesticidas, reguladores del crecimiento y aditivos para la alimentación animal elaborados sintéticamente. Se basa en la rotación de cultivos, utilización de estiércol, leguminosas, abonos verdes, residuos orgánicos externos al predio, cultivo mecánico, minerales naturales y aspectos de control biológico de plagas para mantener la estructura y productividad del suelo, proveer nutrientes para las plantas y controlar insectos, malezas y otras plagas (Gómez, 1998).

A pesar de las múltiples definiciones, la práctica de los principios y objetivos de la agricultura orgánica se ha consolidado y es hasta ahora uno de los sectores de más rápido desarrollo en la última década, alcanzando tasas de crecimiento promedio anual del 23% (Soto y

Muschler, 2001), y logrando ventas de hasta 23 mil millones de dólares, sólo en el 2002 (Tovar y Gómez, 2004).

Según el último censo mundial, existen alrededor de 30.4 millones de hectáreas manejadas bajo esquemas orgánicos, en más de 700 mil fincas. Sin embargo, el área cultivada con productos orgánicos representa sólo el 0.65% del área cultivada en todo el mundo (Willer *et al.*, 2008).

Los países con mayor número de hectáreas son Australia con 12.3 millones de hectáreas; China con 2.3 millones; Argentina con 2.2 millones y Estados Unidos con 1.6 millones de hectáreas. La demanda de consumo de los productos orgánicos se concentra en Norteamérica y Europa, estas dos regiones consumen el 97% de la producción orgánica mundial; al mismo tiempo Asia, Latinoamérica y Australia son las principales regiones productoras y exportadoras (Willer *et al.*, 2008).

El mercado de productos orgánicos y el número de agricultores que participan en él aumentaron de manera exponencial desde la década de los 80's; al tiempo que también aumentó la diversidad de los cultivos y la complejidad de los métodos de producción. Así mismo, empezaron a salir al mercado nuevos productos orientados específicamente a apoyar los métodos agrícolas orgánicos, como extractos de hierbas para el control de plagas, inocuos bacterianos para composta y muchos otros productos (González y Nigh, 2005).

En el contexto internacional, México es considerado también como un país productor-exportador de alimentos orgánicos (González y Nigh, 2005); siendo este sector uno de los más dinámicos, pues ha aumentado su superficie cultivada de 35 mil hectáreas en 1996 hasta 140 mil en el 2000 y para el 2007 se alcanzaron 434 mil hectáreas (Tovar y Gómez, 2004) (fig. 1).

En México existen alrededor de 120 mil fincas orgánicas, la mayoría administradas por pequeñas cooperativas de grupos indígenas y mas de la mitad están dedicadas a la producción de café (Willer *et al.*, 2008), colocando a nuestro país como el principal productor de café orgánico en el mundo (Nájera, 2002; Tovar y Gómez, 2004).

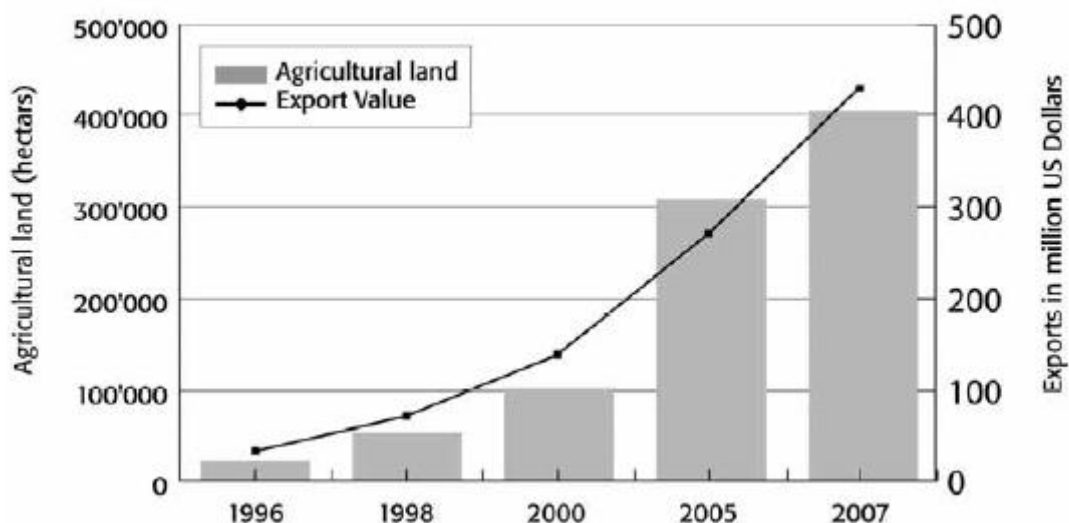


Figura 1.- Aumento en el área cultivada (miles de hectáreas) y ganancias económicas por exportación (millones de dólares) de productos orgánicos en México. (Tomado de Willer *et al.*, 2008).

Los estados de Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Chihuahua y Guerrero concentran el 82% de la superficie agrícola orgánica; cultivando más de 45 productos, principalmente el café con una producción de 47 mil toneladas, seguido de maíz con 4 670 toneladas y en tercer lugar el ajonjolí con 2 433 toneladas. En menor medida se da la producción de hortalizas, agave para la industria tequilera, condimentos, mango, naranja, frijol, manzana, papaya, aguacate, soya, plátano, vainilla, cacao, cacahuate, piña, jícama, limón, coco, nuez, litchi, garbanzo, maracuyá y durazno; otros tipos de productos que se obtienen con prácticas orgánicas son: miel, leche, queso, pan, yogurt, dulces y cosméticos (Nájera, 2002; Tovar y Gómez, 2004); obteniendo ganancias de hasta 400 millones de dólares sólo en el 2007 (Willer *et al.*, 2008).

### 2.1.3 Los fertilizantes orgánicos

Se puede definir como fertilizantes orgánicos a todos aquellos residuos de origen animal o vegetal capaces de aportar importantes cantidades de elementos que ayuden a mantener y mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y obtener mayores rendimientos en las cosechas (Trinidad, 2009).

Los fertilizantes orgánicos fueron durante muchos años la única fuente utilizada para mejorar y fertilizar los suelos, primero en su forma simple, como residuos de las cosechas, rastrojos y residuos animales y después en su forma más elaborada como las compostas, caldos nutritivos y fermentados (Masgloiris *et al.*, 2005)

Desde el punto de vista de su origen, los abonos pueden ser clasificados como: atmosféricos, microbiales, animales, vegetales, minerales, humanos, de yacimientos sedimentarios y volcánicos y de yacimientos orgánicos. En este sentido, la calidad de los abonos orgánicos depende de sus materias primas y de su proceso de preparación (Mejía, 2001b).

#### 2.1.3.1 Compostaje

Quizás el método más empleado para la fabricación de fertilizantes orgánicos es el compostaje, en este proceso se involucran parámetros físicos, químicos y microbiológicos; este último, tiene una importancia enorme debido a las interacciones entre hongos y bacterias que actúan como agentes degradadores de la materia orgánica y al mismo tiempo como productores de sustancias metabólicas con carácter de fertilizantes (Molano, 2005).

El compostaje puede ser considerado como un proceso de descomposición y estabilización de la materia orgánica bajo condiciones

aerobias controladas e influenciadas por la humedad y la temperatura (Molano, 2005) y que da como resultado un producto final llamado humus, que es la materia orgánica en un estado avanzado de degradación, estable, libre de patógenos y elementos tóxicos para las plantas (Sauri y Castillo, 2002; Masgloiris *et al.*, 2005 y Windman *et al.*, 2005).

Los principales factores que intervienen en el proceso de compostaje son:

a) Factor Biológico y la Temperatura:

Cuando el proceso de compostaje inicia, se experimenta un fenómeno cíclico de temperatura ocasionado por la actividad microbiana. En principio, aumenta rápidamente la temperatura debido al inicio de la degradación de los materiales, que se mantiene por un corto tiempo y luego comienza a enfriarse. Al mezclar los materiales que componen la composta se facilita la entrada de aire y se traen al interior los materiales del exterior, por lo que el proceso experimenta nuevamente el aumento de la temperatura. Gran parte de esta temperatura generada se debe a la actividad metabólica de las bacterias, las cuales se clasifican de acuerdo al rango de temperatura en el que son funcionales: Psicrófilas: entre  $-18^{\circ}\text{C}$  y  $18^{\circ}\text{C}$ ; Mesófilas: entre  $5^{\circ}$  y  $43^{\circ}\text{C}$ ; y Termófilas: entre  $40^{\circ}$  y  $93^{\circ}\text{C}$ . Dichas temperaturas también facilitan la destrucción de patógenos y semillas de malezas (Navarro, 2008).

En el proceso de compostaje intervienen otros organismos como los actinomicetos que son los que dan a la composta un olor característico, además de contribuir a la porosidad y aereación del mismo. También se encuentran los nemátodos que mantienen bajo control a las poblaciones de bacterias, protozoarios y esporas de otros hongos (Sauri y Castillo, 2002).

#### b) Humedad

Durante el proceso de compostaje el agua juega un papel preponderante, pues es necesario un adecuado contenido de humedad para facilitar que los nutrientes estén disponibles a los diferentes complejos de bacterias y para que estas puedan realizar sus procesos reproductivos, metabólicos y asimilativos. Un contenido bajo de humedad inhibe la actividad microbiana, a medida se va alcanzando el límite inferior el proceso de descomposición se hace más lento, si se reduce a menos del 8% toda la actividad microbiana se detiene. Si el contenido de humedad es muy alto, se evita que el oxígeno se encuentre disponible para que los microbios puedan digerir los desechos y se genera mal olor (Navarro, 2008).

No es posible determinar un contenido de humedad estándar debido a que éste puede variar por el tipo de material que se emplea durante el compostaje, sin embargo la literatura reporta que entre el 45 y 60 % de humedad se obtiene una buena actividad microbiana (Molano, 2005).

#### c) Aeración

El espacio libre que compone la matriz de la composta se denomina "espacio aéreo (airspace)", y está influenciado por el contenido de humedad, principalmente. Si se toma como indicador la velocidad de consumo de oxígeno para determinar el porcentaje óptimo de espacio aéreo para obtener la máxima degradación, estudios como los de Yamane y Sato (1968, en Molano, 2005), sugieren que el espacio de aire óptimo presente en la composta debería ser de entre 30 y 36%.

#### 2.1.3.2 Fertilizantes Líquidos Fermentados

Se puede definir como fertilizante líquido fermentado a todos aquellos productos que se originan a partir de la fermentación anaerobia de materiales orgánicos como estiércol, plantas verdes y frutos. Por lo

general los fertilizantes líquidos fermentados se fabrican a partir de la mezcla de agua con alguna fuente de nitrógeno y una fuente energética; adicionalmente, pueden ser enriquecidos con harinas de rocas molidas y sales minerales (Galindo *et al.*, 2007).

El estiércol bovino es el componente principal de este tipo de fertilizantes debido a la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio, al mismo tiempo que resulta ser un excelente sustrato para el crecimiento de microorganismos, debido a que estos hacen que las excretas sufran los procesos de degradación biológica (Galindo y Jerónimo, 2005).

Bajo las condiciones anaerobias de fermentación, las bacterias desdoblan todas las sustancias complejas a ácidos orgánicos simples, alcoholes y metano. Como resultado de la fermentación, es posible obtener un producto rico en nitrógeno amoniacal, hormonas, vitaminas D y B, así como una serie de aminoácidos producidos a partir de la actividad metabólica y en mayor proporción productos intermedios de descomposición de la materia orgánica (Galindo y Jerónimo, 2005).

En la gran mayoría de los casos, los productos generados a partir de la preparación del fermentado tienen la capacidad de ejercer efectos positivos en la producción agrícola; no obstante, existen pocos estudios que indiquen cuales son los elementos y las sustancias que se encuentran presentes en estos fertilizantes (Mazariegos y Colindres, 2002).

Existen varios estudios que evalúan la efectividad de los fermentados a través de bioensayos, uno de ellos es el realizado por Mazariegos y Colindres, (2002) en donde evaluaron el efecto de diferentes concentraciones de fermentado sobre plantas de chile picante (*Capsicum frutescens* L.). Sus resultados indican que se obtiene una alta productividad al aplicar el fermentado vía foliar, en concentraciones que



van de un 4% al 16% y que al sobrepasar este valor, la productividad tiende a reducirse hasta en un 33%.

Existen estudios que han registrado la efectividad de algunas otras técnicas de fertilización orgánica con elementos de origen animal. Como ejemplo el estudio realizado por Zavaleta-Beckler y colaboradores (2001) donde su objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización orgánica con guano de murciélago sobre el inicio de la floración, producción y peso de los frutos de xoconostle en los cultivares de *Opuntia joconostle* y *O. matudae*, en un plantación experimental ubicada en el valle del mezquital.

Sus resultados mostraron que la fertilización orgánica, en ambas especies de xoconostle, aceleró el inicio de la fructificación a partir del tercer año de producción; mientras que en el tratamiento sin fertilizar, utilizado como control, no se registraron brotes florales. Los resultados de este estudio a los 59 meses de establecida la plantación, permitieron afirmar que niveles mínimos de fertilización orgánica dan lugar a rendimientos elevados en todas las variables evaluadas.

A la par de la utilización de esto fertilizantes, existen estudios que han decidido emplear otras fuentes de materia orgánica. Ejemplo de ello es el estudio realizado por Hernández-Herrera y colaboradores (2005), donde el objetivo de su investigación fue estimar el efecto de la aplicación de lodos residuales, abonos orgánicos (estiércol de bovino) y fertilizante químico, en la producción de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.). Sus resultados sugieren que con la aplicación de lodos residuales con altos niveles de materia orgánica y abonos orgánicos se obtienen mayores niveles de producción en base seca, en comparación con los tratamientos con fertilizantes químicos y sin fertilizantes (control).

En el estudio realizado por Morales (2003, en Hernández-Herrera *et al.*, 2005), se determinó que la aplicación de un biosólido líquido en un cultivo de chile serrano mostró un incremento del rendimiento en el primer año de cultivo, mientras que con la aplicación del biosólido en estado seco el incremento fue mayor en los siguientes tres ciclos.

Aunque estas investigaciones abren la posibilidad de emplear lodos residuales, provenientes de plantas de tratamientos como fertilizantes orgánicos, aún faltaría realizar estudios más detallados en relación al contenido de metales pesados en dichos lodos y a la capacidad de bioacumulación de los diferentes tipos de cultivos.

El empleo de los fertilizantes orgánicos no sólo se ha limitado a las etapas de producción y crecimiento dentro de los cultivos; incluso sus usos se han diversificado. Como ejemplo de ello se tienen tres estudios. El primero es el trabajo de Altamirano y Aparicio-Rentería, (2002); cuyo objetivo fue evaluar el empleo de lombricomposta de pulpa de café en diferentes proporciones con suelo de bosque y arena de mina, para evaluar su efecto en la germinación y el crecimiento inicial de *Pinus oaxacana* y *Pinus rudis*. Para la fase germinativa, los resultados demostraron que aunque los sustratos no presentan diferencias significativas, al emplear la lombricomposta al 50% en la composición de todos los sustratos se obtienen valores altos en la germinación de *Pinus rudis*.

Respecto a la fase de crecimiento inicial, sugieren el uso de sustratos que contengan un 50% de lombricomposta, ya que las especies respondieron de manera significativa. Estos resultados indican que el uso de suelo de bosque puede ser reducido, incluso sustituido, por la lombricomposta en los procesos de germinación de especies forestales.

En el segundo estudio se evaluaron 21 sustratos, los cuales se formularon a base de: suelo arcilloso, fibra de coco, lombricomposta de estiércol bovino, cascarilla de arroz y aserrín para evaluar la germinación y desarrollo vegetal del chile picante (*Capsicum frutescens*). Los tratamientos con mayor porcentaje de germinación fueron lombricomposta y fibra de coco, en proporción 1:1; fibra de coco y cascarilla de arroz, en proporción 3:1; fibra de coco puro y aserrín puro. Con relación al desarrollo vegetal, todos los parámetros evaluados respondieron mejor ante la lombricomposta, fibra de coco y suelo, en una proporción 1:1:1. Sin embargo, al presentar un porcentaje de germinación mediano, se recomienda al sustrato de lombricomposta y fibra de coco, en proporción 1:1 (Ballesteros y Rubio, 1999).

Por otra parte en el tercer estudio realizado por Acevedo y Pire (2004), se pretendió establecer el efecto de diferentes dosis de lombricomposta y fertilizante nitrogenado (sólo y combinado), como sustrato base alternativo para el crecimiento vegetativo primario de *Carica papaya* L. Estos resultados indican que el crecimiento de las plántulas, reflejado en el área foliar, altura, diámetro de tallo y masa seca total fueron favorecidos con las mayores proporciones de lombricomposta en el sustrato. Sin embargo, cuando se utilizó la combinación de lombricomposta con fertilizante nitrogenado (con una concentración del 15% de este último), se originaron mayores valores de las variables de crecimiento evaluadas, destacando la necesidad de combinar el uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

Esta combinación de fertilizantes también la propusieron Kulakovskya y Brysozovskii (1984, en Romero-Lima *et al.*, 2000); quienes encontraron que la combinación de fertilizantes minerales y orgánicos mejoraron la calidad de la papa y que la fertilización mineral en altos porcentajes reduce el valor nutrimental y proteico en los tubérculos.

Estos mismos resultados se obtuvieron en un estudio donde se trató de comparar la respuesta a la aplicación de gallinaza, lombricomposta y composta, ajustando la dosis óptima de N-K-P con fertilizantes inorgánicos, sobre el rendimiento, la calidad sanitaria y comercial, el contenido de N y la materia seca de tubérculos de papa. Las pruebas demostraron que la gallinaza ajustada a la dosis recomendada de fertilización de 165-200-300 fue el abono que aportó una mayor cantidad de nutrimentos de origen orgánico, así también en mayor rendimiento total, comercial, producción de materia seca, acumulación de N y mayor contenido de biomasa microbiana en suelo (Romero-Lima *et al.*, 2000).

## 2.2 SUELO

### 2.2.1 Características y elementos

El suelo es la capa superficial intemperizada de la tierra, que puede ser considerada como un recurso natural complejo y cambiante debido a la influencia de factores químicos, biológicos y ambientales, posee las propiedades que se relacionan con los requerimientos de las plantas que sobre él se desarrollan (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990; Boul *et al.*, 2004).

En general, el suelo se compone de cuatro fases principales: fase mineral, que comprende material mineral derivado de las rocas; fase orgánica derivada de la actividad metabólica de los organismos que habitan en él; fase gaseosa y la fase líquida, estas últimas ocupando los espacios vacíos entre las partículas de suelo (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990; Baver *et al.*, 1991; Gliessman, 2002).

Los procesos biológicos combinados con los procesos físicos y químicos en cada lugar y región climática forman el suelo, donde los procesos naturales de formación y desarrollo de este recurso pueden llegar a tomar un tiempo considerable (Gliessman, 2002).

#### 2.2.1.1 Fase mineral inorgánica:

La capa o manto de material no consolidado entre la superficie del suelo y la roca consolidada es llamada regolita, el elemento básico de la regolita es su componente mineral el cual se constituye de partículas de suelo formadas por el rompimiento de la roca o material parental (Gliessman, 2002).

La fuente de la materia mineral meteorizada a partir de la cual se desarrolla el suelo se denomina roca madre y es el elemento principal que coadyuda en su formación. La naturaleza de la roca madre influye en el suelo de varias formas, quizá la más importante es que su composición química afectará en gran medida a la fertilidad del suelo (Tarbuck *et al.*, 2005).

Los minerales presentes en las rocas como granito, basalto, gneis y esquisto se denominan minerales primarios. Estos minerales se desintegran en el suelo para formar minerales secundarios. Todos estos minerales pueden dividirse en silicatos y no silicatos, en este último se incluyen óxidos, hidróxidos, sulfatos, cloruros, carbonatos y fosfatos; la mayoría de ellos con estructuras químicas sencillas (FitzPatrick, 1996).

Las partículas de la fase mineral del suelo presenta diversos tamaños, desde límites inferiores del estado coloidal hasta fracciones más gruesas que pueden encontrarse en estados que van desde los dispersos, denominado unidades texturales, hasta formas más agregadas o granuladas. (Baver *et al.*, 1991). Estas unidades texturales en el suelo son clasificadas en relación a su tamaño, tomando como base sus diámetros equivalentes (Baver *et al.*, 1991); esta clasificación basada en los tamaños de las partículas fundamentales del suelo sigue una escala logarítmica propuesta por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de

Norteamérica, con un rango que va desde menos 0.002 hasta 2.0 mm, con un valor intermedio de 0.05 mm (Castellanos *et al.*, 2000); formando así tres clases de partículas texturales: las arcillas, con un diámetro menor a 0.002 mm; los limos que van entre 0.002 y 0.05 mm; y las arenas cuyos diámetros rondan entre 0.05 y 2.0 mm. Y por lo tanto la textura del suelo dependerá de la proporción relativa de arena, limo y arcilla que componen la fase mineral (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990; Baver *et al.*, 1991; Castellanos *et al.*, 2000).

#### 2.2.1.2 Fase líquida

La fase líquida está compuesta por el agua que se encuentra en el suelo. Esta agua ocupa parte o la totalidad de los espacios vacíos entre las partículas sólidas (Boul *et al.*, 2004).

Cuando el suelo es humedecido, el agua puede seguir tres distintitos caminos: una parte es drenada hacia el subsuelo debido a la fuerza gravitacional; otra parte estará disponible para el desarrollo de las plantas, mientras que el resto será retenida de forma persistente por las partículas de suelo y por lo tanto no es aprovechable por las plantas.

Cuando el agua es abundante y los espacios entre partículas están ocupados por ésta se dice que el suelo está saturado y el movimiento del agua a capas más profundas del subsuelo por acción de la gravedad se denomina de flujo saturado (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990; Gliessman, 2004).

Debido a que el agua es retenida mucho más en algunas clases de suelo que en otras, se necesitan unidades para determinar los contenidos reales de porcentaje de humedad, que reflejen mejor las fuerzas de atracción entre las partículas de suelo y agua. Esta medida se alcanza por la expresión de la humedad del suelo en términos de energía; el potencial

de agua en el suelo (la fuerza de atracción entre las partículas del suelo), es expresado como bars de tensión o de succión ( $1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} = 0.987 \text{ atmósferas} = 1020 \text{ cm de columna de agua}$ ). Las escalas de retención de agua en suelo expresadas en bars provee un medio para determinar la disponibilidad de agua en la solución del suelo y considera las fuerzas variantes de atracción, determinadas por el tamaño de las partículas del suelo y los contenidos de materia orgánica (Gliessman, 2004).

Las partículas de suelo a nivel coloidal están cargadas eléctricamente en forma negativa ejerciendo una atracción eléctrica entre el suelo y las moléculas de agua; en este caso el agua que rodea a la partícula de agua forma una película llamada zona de adhesión, que correspondería al agua higroscópica retenida por el suelo, usualmente retenida con una fuerza de más de 31 bars de tensión (Gliessman, 2004). A medida que el espesor de la película se hace más gruesa, la fuerza de retención es menor formando una zona de cohesión que corresponde al agua capilar, que es la que llena los microporos del suelo y es retenida por las partículas de suelo con una fuerza de entre 0.3 y 31 bars; pudiendo ésta estar disponible para las plantas y diversos procesos tanto químicos como biológicos (fig. 2).

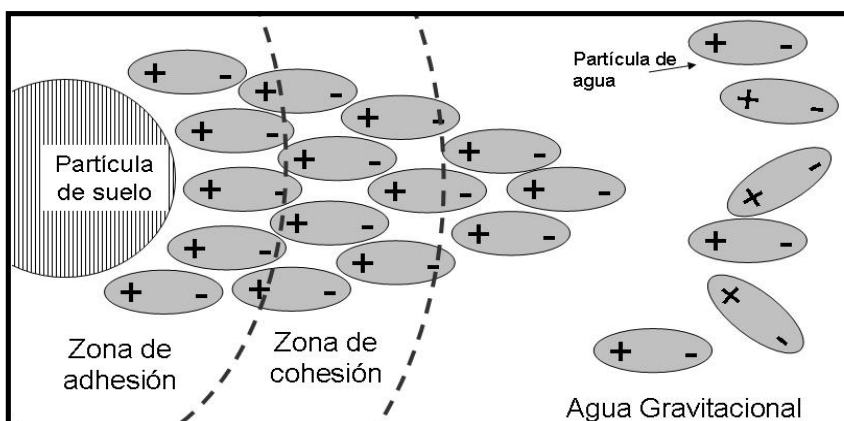


Figura 2.- Zona de adhesión y cohesión que se forman entre partículas de suelo y moléculas de agua debido a atracciones eléctricas. Tomado de Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990.

La tensión superficial actúa sobre estas zonas de contacto entre el agua y el suelo ayudando a equilibrar la tensión o presión ejercida sobre el agua, constituyendo un mecanismo por el cual el agua es retenida en el suelo (Kramer, 1989).

La atracción eléctrica entre el suelo y el agua y la consecuente formación de zonas de adhesión y cohesión, dan como resultado un gradiente de tensión que regirá el movimiento del agua entre las partículas de suelo, a lo que se denomina movimiento capilar. Por lo tanto, entre más delgada sea la película de agua alrededor de las partículas de suelo y más pequeños sean los poros llenos de agua, mayor será la tensión de humedad del suelo, haciendo que el agua se mueva lentamente de un lugar con baja tensión hacia uno con alta tensión (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990). El movimiento capilar del agua ayuda a las plantas a obtener agua, pero por lo general este proceso es muy lento.

Otro mecanismo de retención de agua consiste en que el suelo se contrae en la medida en que el agua es retirada, el aire no puede tener acceso a esos espacios vacíos y las partículas de suelo se unen, como estas partículas tienen una carga superficial negativa se repelen unas a otras. La proximidad de las partículas de suelo y la formación de fuerzas repelentes entre estas equilibra la tensión aplicada para quitar el agua (Kramer, 1989).

Cuando se incrementa, tanto los contenidos de arcilla como los de materia orgánica en el suelo, el agua es atraída con mayor fuerza a las partículas de suelo y es mucho más difícil que sea aprovechada por las plantas (Gliessman, 2004).

La presencia de solutos también constituye un mecanismo para la retención de agua en el suelo, ya que reduce la energía libre al incrementar



la presencia de solutos osmóticamente activos, principalmente sales. Sin embargo, los solutos no influyen directamente en la cantidad de agua retenida a diferencia de los fenómenos relacionados con la tensión y presión (Kramer, 1989).

Cuando el suelo se ha humedecido por completo y drena hasta que el movimiento capilar cesa del todo, se dice que ésta a su capacidad de campo. Cuando el potencial hídrico desciende demasiado, las plantas ya no son capaces de absorber el agua necesaria o debería absorberla demasiado rápido para compensar la pérdida de humedad por evapotranspiración, en este punto, las hojas empiezan a marchitarse y si ésta situación persiste, llega un momento en el que el contenido del agua en el suelo es tan bajo que las hojas no consiguen recuperarse de la marchitez aunque se coloquen en una atmosfera saturada de agua. El contenido de agua en el suelo en este punto se llama punto de marchitez permanente.

El porcentaje de humedad disponible para las plantas ha sido tradicionalmente determinado recolectando muestras de suelo, pesándolas y secando el suelo a 105°C por 24 horas, y determinando el peso seco. De esta forma la cantidad de humedad perdida durante el secado es dividida entre el peso de muestra seca dando un valor que es expresado como porcentaje (Gliessman. 2004).

En este sentido la fracción de humedad fácilmente disponible para las plantas suele estar designada entre los límites de la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. El punto en el que el contenido de agua disponible para las plantas es el óptimo, no es verdaderamente un valor de equilibrio, sino una condición de un movimiento de agua, donde su lentitud o rapidez está influenciada por diversos factores (Kramer, 1989).

Cuando un suelo bien drenado está saturado hasta el límite de su zona radical, el agua de lluvia que no drena fuera de esa zona en un plazo de 48 horas será retenida en los poros del suelo menores de 0,05 mm de diámetro. La cantidad de agua retenida después de este lapso corresponde a la capacidad de campo del suelo (Shaxson y Barber, 2005).

La fuerza con la cual esta agua es retenida depende del tamaño de los poros, los más grandes retienen agua a una tensión cercana a 0,33 bars. La succión máxima que pueden ejercer las plantas para extraer agua del suelo varía con el cultivo pero el valor generalmente aceptado es de cerca de 15 veces la presión atmosférica, esto es equivalente a la presión que sería ejercida por un peso de una tonelada sobre la palma de la mano. Cuando el agua ha sido agotada hasta 15 bar, el agua que permanece en el suelo será aquella almacenada en los poros menores de 0,0002 mm de diámetro y corresponde al punto de marchitez permanente del suelo (Shaxson y Barber, 2005).

Para que el agua aplicada a la superficie del suelo llegue a estar disponible para las plantas, debe infiltrarse dentro del suelo. La infiltración no se da de una manera simple, pues el agua puede perderse por escorrentía superficial o por evaporación (Gliessman, 2004).

La cantidad de agua presente en el suelo que está disponible para las plantas dependerá de cuanta agua (de lluvia o riego) permanece en el suelo después de las pérdidas por escorrentía, evaporación y drenaje profundo (Shaxson y Barber, 2005); pero también por factores como el tipo de suelo, la pendiente, el contenido de materia orgánica y la cobertura vegetal (Gliessman, 2004).

Una excesiva labranza y la pérdida de materia orgánica en el suelo, a menudo conducen a una reducción de la tasa de infiltración debido a la disminución de la porosidad superficial (Shaxson y Barber, 2005). Los terrenos planos presentan mejor infiltración que los terrenos con pendiente y una pendiente más suave pierde más agua por escorrentía que esté fracturada por variaciones microtopográficas causadas por rocas, terrones de suelo, depresiones u otras obstrucciones sobre la superficie (Gliessman, 2004)

#### 2.2.1.3 Fase gaseosa

La fase gaseosa o de vapor ocupa aquella parte del espacio entre las partículas del suelo que no están ocupadas por el agua. La mayoría de las reacciones biológicas que se realizan en el suelo consumen oxígeno y producen como subproducto bióxido de carbono (Castellanos *et al.*, 2000).

El agua comparte con el aire la porosidad que hay entre las partículas sólidas del suelo en relación inversa, es decir, al inundar el suelo, el agua desplaza al aire y cuando el suelo empieza a secarse el aire desplaza al agua. El agua es retenida con mayor energía en los microporos (0.0002 - 0.01 mm), mientras que el aire circula por los macroporos (Kolmas y Vásquez, 1999).

Mediante reacciones metabólicas las raíces de las plantas y los organismos aportan al suelo dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en proporciones de 1/3 y 2/3, respectivamente, este contenido varía con la estructura, tipo y profundidad (Kolmas y Vásquez, 1999). El  $\text{CO}_2$  es producido y el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) es consumido, por consiguiente la aireación (o respiración) consiste en el intercambio de  $\text{O}_2$  atmosférico y del  $\text{CO}_2$  de la fase gaseosa del suelo (Baver *et al.*, 1991). La tasa de generación de  $\text{CO}_2$  puede servir de índice de la actividad biológica del suelo, este factor fluctúa entre 0.5 a 3 g ( $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ).

La composición del aire en el suelo está influenciada por la tasa respiratoria de los organismos y las raíces, la solubilidad del bióxido de carbono y el oxígeno, el contenido de humedad y la rapidez del intercambio gaseoso con la atmosfera. En términos generales, el aire atmosférico contiene alrededor del 20% de oxígeno y el 0.03% de bióxido de carbono, mientras que en la fase gaseosa del suelo la proporción de CO<sub>2</sub> aumenta a un 0.25%, que representa una concentración de 8 veces mayor respecto a su porcentaje en la atmosfera, mientras que el oxígeno tiende a mantener sus valores, que están sujetos a cambios dependiendo de los factores climáticos, las características del suelo, la vegetación presente, las labores de cultivo y la actividad biológica (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990; Baver *et al.*, 1991).

La fase gaseosa del suelo es un aspecto vital respecto al crecimiento de las plantas, pues las condiciones de escaso suministro de oxígeno favorecen la pérdida de nitrógeno por el fenómeno de desnitrificación; mientras que las condiciones limitadas de oxígeno pueden propiciar la formación de compuestos tóxicos y en condiciones extremas y condiciones prolongadas de anoxia puede ocasionar la muerte de las plantas (Castellanos *et al.*, 2000).

Los valores próximos al 4 o 5% de CO<sub>2</sub> suelen ser tóxicos para cultivos; por ejemplo, dosis elevadas de abonos orgánicos pueden llevar el contenido de CO<sub>2</sub> hasta un 10% en el suelo, por lo que se recomienda no sembrar o resembrar después de aplicaciones excesivas (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990).

El intercambio gaseoso es óptimo en suelos bien estructurados y se va reduciendo conforme estos se compactan y los muy ventilados oxidan rápidamente la materia orgánica; por el contrario los suelos compactados

y anegados no pueden satisfacer a las plantas del oxígeno necesario (Kolmas y Vásquez, 1999)

#### 2.2.1.4 Fase orgánica:

La materia orgánica es el segundo componente más importante del suelo, sólo después de la fase mineral (Guggenberger, 2005). Esta fase es una mezcla heterogénea de todos aquellos residuos de origen animal y vegetal que se encuentran en diferentes etapas de descomposición, desde los residuos recientemente incorporados hasta la compleja estructura del humus alcanzada luego de siglos de transformación, acumulada tanto en la superficie como hacia dentro de los perfiles del suelo, incluyendo también la fracción de organismos vivos que participan en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Galantini y Suñer, 2008; Martínez *et al.*, 2008). La transformación de la materia orgánica está influida por las condiciones ambientales así como por las características físicas y químicas del suelo (Kolmas y Vásquez, 1999).

El clima desempeña una función importante en el contenido de materia orgánica, debido a que ejerce una enorme influencia en la distribución de la vegetación, el tipo de compuestos de los materiales orgánicos y en la intensidad de la actividad microbiana. La topografía ejerce también una gran influencia, pues en suelos cuyo drenaje es deficiente la descomposición es más lenta debido a que no hay suministro de oxígeno (Bohn *et al.*, 1993).

De la materia orgánica depositada en el suelo se pueden distinguir dos fracciones importantes. La primera es una fracción lábil, representada por la masa microbiana, carbono y nitrógeno potencialmente mineralizables (Espinoza *et al.*, 2007), que funciona como fuente energética. La segunda es una fracción húmica, llamada también humus;

formada por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, huminas, grasas, ceras y contenidos proteicos; caracterizada por ser más estable y constituir más del 50% de la materia orgánica en el suelo. (Reyes, 1996; Martínez *et al.*, 2008).

La materia orgánica presente en el suelo es una sustancia compleja de naturaleza variable que contiene un sin número de materiales cuyos porcentajes varían de acuerdo a la clase de residuos que provengan, ya sean animales o vegetales; y de su estado de descomposición. Dichos materiales pueden ser (Cepeda, 2002):

- Carbohidratos, que incluyen azúcares, almidones, celulosa, que contribuyen del 1 al 28% de la materia orgánica.
- Proteínas, aminoácidos y otros derivados nitrogenados.
- Grasas, aceites y ceras.
- Alcoholes, aldehídos, cetonas y otros derivados oxidados inestables.
- Ácidos orgánicos
- Minerales como calcio, fósforo, azufre, hierro, magnesio y potasio.
- Productos diversos de gran actividad biológica como hormonas, enzimas, antibióticos, etc.

En general, la fracción orgánica del suelo tiene un papel fundamental, pues tiene la capacidad de regular gran parte de los procesos químicos que ocurren en el suelo, influye significativamente en sus características físicas y es responsable de casi toda la actividad biológica que en él se desarrollan (Reyes, 1996; Cepeda, 2002; Sparling *et al.*, 2006)

La materia orgánica sirve como reservorio de elementos químicos esenciales para la nutrición vegetal, y a través de la mineralización son liberados al medio formas inorgánicas de nitrógeno, fósforo, azufre y demás micronutrientes fácilmente asimilables para las plantas, de igual forma se generan hormonas y antibióticos en los procesos de

descomposición. Todos estos compuestos y elementos son liberados de acuerdo a las necesidades de las plantas y cuando las condiciones ambientales son favorables para el crecimiento de éstas, las mismas condiciones ayudan a una rápida entrega y asimilación de los compuestos (Cepeda, 2002). La materia orgánica conserva tanto energía como nutrimentos en formas no lixiviables ni asimilables para microorganismos. Las bajas concentraciones de nutrimentos frecuentemente limita el proceso de crecimiento en el suelo y su conservación en formas orgánicas es una característica clave para que se lleve a cabo el proceso de descomposición. Adicionalmente, la sincronización entre la liberación de los nutrientes a través de la descomposición y la demanda nutricional de las plantas es primordial para evitar la pérdida de nutrimentos (Sparling *et al.*, 2006).

De igual forma la materia orgánica regula los niveles de disponibilidad de macro y micronutrientes, mediante la formación quelatos (sustancias orgánicas que constituyen compuestos solubles, no iónicos de valencia variable y que son móviles en el suelo) y de ácidos orgánicos que influyen en la solubilización y movilización de compuestos orgánicos (Cepeda, 2002).

La materia orgánica ayuda a compensar los cambios en el pH del suelo, contribuye a la retención de cationes cargados positivamente como lo son los minerales, especialmente en los rangos ácidos de pH, donde estos ofrecen una menor resistencia (Reyes, 1996; Kolamas y Vásquez, 1999; Sparling *et al.*, 2006) y actúa directamente sobre los fenómenos de absorción e inactivación de sustancias tóxicas como pesticidas (Cepeda, 2002).

Parte de la materia orgánica produce formas coloidales que cimentadas con partículas de suelo forman una estructura llamada

agregados; los cuales están rodeados por espacios porosos interconectados que permiten el movimiento de agua, solutos y gases a través del suelo, que contribuyen a la disminución de la erosión (Sparling *et al.*, 2006). También la materia orgánica favorece a un uso eficiente del agua pues mejora la infiltración y evita la pérdida por evaporación, mejora el drenaje en suelos de textura fina promoviendo una mejor distribución del agua en el perfil del suelo, beneficia la aireación y, por ende, el crecimiento y funcionamiento más eficaz de las raíces y al oscurecer el suelo en climas templados fomenta el calentamiento y con ello la germinación y un fácil aprovechamiento de la humedad (Cepeda, 2002).

Hay una gran variación en el contenido de materia orgánica en los suelos. Los de zonas áridas presentan los porcentajes más bajos (<1%), mientras que algunos suelos turbosos (histosoles) se aproximan al 100%. La mayoría de los suelos minerales de la superficie terrestre presentan valores que varían de 0.5 al 5% (Reyes, 1996).

#### 2.2.1.4.1 Descomposición de la materia orgánica.

La descomposición se refiere a todos esos procesos a través de los cuales la materia orgánica es transformada a estados más simples, con la obtención simultánea de energía y nutrientes, tanto orgánicos como inorgánicos; muchos de los cuales son directamente asimilados por microorganismos o por las mismas plantas (Lavelle y Spain, 2001; Guggenberger, 2005).

La transformación de la materia orgánica involucra dos procesos simultáneos, pero a la vez complementarios: la mineralización y la humificación. Ambos procesos son indispensables para mantener la fertilidad en los suelos. La mineralización determina el flujo y



disponibilidad de nutrientes entre las plantas y microorganismos, así como su distribución en el tiempo y espacio (Lavelle y Spain, 2001).

La mineralización de la materia orgánica implica la oxidación de carbono por diferentes organismos, sobre todo microscópicos, que requieren de este y otros nutrientes para obtener energía y emplearla en su metabolismo. El principal proceso de la descomposición de la materia orgánica se da por medio de la respiración, debido a que se realiza la oxidación de compuestos de carbono a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Bohn *et al.*, 1993; Reyes, 1996). Esto se puede ilustrar con la oxidación de una hexosa:



En contacto directo con el suelo, la fase inicial de la descomposición de la materia orgánica la constituyen organismos como hongos y bacterias que metabolizan compuestos como proteínas y carbohidratos, donde sus principales productos son bióxido de carbono y agua, junto con algunos otros productos intermedios como amoníaco (NH<sub>3</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), sulfatos (SO<sub>4</sub>), ácidos orgánicos y otras sustancias que no se oxidan completamente (Bohn *et al.*, 1993). Los productos simples más comunes, que resultan de la actividad microbiana del suelo, pueden ser ordenados de la siguiente manera (Brady, 1974):

- C CO<sub>2</sub>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>, carbón elemental.
- N NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, nitrógeno gaseoso.
- S S, SH<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, S<sub>2</sub>C
- P PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub>H<sup>-</sup>
- Otros H<sub>2</sub>O, O, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, etc.

En una segunda fase de descomposición una amplia gama de microorganismo atacan a estos productos intermedios y tejidos microbianos recién formados, con la consecuente producción de biomasa y pérdida de carbono en forma de CO<sub>2</sub> (Bohn *et al.*, 1993). Sin embargo

existe una relación inversa entre su tamaño y su velocidad de descomposición, donde las fracciones más densas de materia orgánica se descomponen más lentamente. La disponibilidad para los microorganismos dependerá de la relación carbono/nitrógeno, estado de humificación y ubicación dentro de la matriz del suelo (Galantini y Suñer, 2008) y en mayor medida de su composición química; por ejemplo la lignina tiene tasas más lentas de mineralización respecto a otros compuestos como azúcares, celulosa o proteínas (Bohn *et al.*, 1993).

Los principales microorganismos que intervienen en este proceso son (Ruiz, 2009):

- Bacterias, las cuales están siempre presentes en los procesos de descomposición e intervienen fuertemente en los ciclos de carbono, nitrógeno y azufre en el suelo. Durante la mineralización de la materia orgánica presentan un amplio espectro de actividad sobre el pH y humedad elevada.
- Hongos, se encuentran presentes en los procesos de descomposición cuando la relación carbono/nitrógeno es alta, pues se especializan en la degradación de celulosa y lignina por ser heterótrofos. También toleran una amplia gama de pH.
- Actinomicetes, estos atacan las sustancias no degradadas por las bacterias y los hongos, son poco competitivos pues se desarrollan en las últimas fases de la mineralización.
- En menor medida también participan algunos grupos de algas, protozoarios y cianobacterias.

En una última fase de descomposición, son sintetizados los compuestos más resistentes a la acción microbiana, en la que los actinomicetos y hongos desempeñan una función importante.

Por su parte la humificación regula la acumulación y la estabilidad de la materia orgánica en el suelo mediante procesos anabólicos en el que las moléculas orgánicas forman parte de polímeros de alta resistencia a la degradación que pueden ser preservados durante largo tiempo (Lavelle y Spain, 2001). Del proceso de humificación se deriva el humus, que es un conjunto de compuestos bioquímicos muy diversos difícilmente atacables por los microorganismos, de naturaleza coloidal, amorfo (no cristalino) y de tamaño molecular muy variable, pero cuya estructura química es muy homogénea, ya que está constituida por unidades elementales muy semejantes (Reyes, 1996).

Esta unidad estructural está formada por un núcleo aromático resultante de la heteropolicondensación de compuestos fenólicos o quinónicos y cadenas periféricas alifáticas (péptidos o sacáridos). La relación entre las estructuras aromáticas y alifáticas es variable, alcanzando valores muy bajos en los ácidos fúlvicos y aumentando proporcionalmente en los ácidos húmicos, en relación con el grado de polimerización de la molécula (Reyes, 1996).

Debido a que el humus es un componente complejo y gran parte de los compuestos suelen degradarse fácilmente, sólo aquellos con una gran persistencia pueden denominarse como materiales húmicos, entre ellos encontramos:

- Ácidos húmicos: Entre ellos se pueden distinguir el ácido himatomelánico, que es la parte del ácido húmico soluble en alcohol (también llamado ácido úlmico), los ácidos húmicos pardos, que no precipitan en presencia de sales como el cloruro sódico y los ácidos húmicos grises, que precipitan en presencia de sales (Terralia, 2010.). Estos contienen del 3.5 al 5% de nitrógeno, siendo ésta la parte constitucional de la molécula y entre los grupo funcionales

destacan los carboxilos, hidroxilos fenólicos y aminas. Esta composición estructural hace de los ácido húmicos sustancias poco compactas, dándoles una alta capacidad de absorción y retención de la humedad (Bohn *et al.*, 1993; Cepeda, 2001).

- Ácidos fúlvicos: Se pueden distinguir el ácido crénico y apocrénico. Se componen de nitrógeno, menos carbono y más oxígenos que los ácidos húmicos y sus componentes básicos son los carboxilos, metoxilos e hidroxilos fenólicos. Sus estructuras y composición les dan la capacidad de promover el intercambio iónico. Estos ácidos contienen además aminoazúcares y sustancia reductoras en mayor cantidad que los ácido húmicos (Cepeda, 2001).
- Huminas: estas sustancias han sido consideradas como un grupo intermedio entre ácidos húmicos y fúlvicos, pues en algunos tipos de suelos las huminas están compuestas por material vegetal en descomposición incompleta, mientras que en otros las huminas están constituidas por aminas, cuya fuente son los microorganismos (Cepeda, 2001).

La humificación de la materia orgánica resulta en un enriquecimiento en nitrógeno. Mientras que en la materia orgánica fresca la proporción carbono/nitrógeno es de alrededor de 40:1, en el humus esta proporción se aproxima a 10:1, por lo tanto el nitrógeno pasa a formar parte de compuestos almacenados en el suelo.

El humus juega un papel de regulador del equilibrio dinámico del suelo, pues al estabilizar componentes de la materia orgánica ayuda a compensar la pérdida de materia producto de la rápida mineralización; debido a que la liberación lenta y continua de los nutrientes estabilizados por medio de la humificación es uno de los aspectos esenciales para que

un suelo adquiera la capacidad de cubrir las necesidades nutrimentales de las plantas (Cepeda, 2001).

Existen procesos paralelos a la descomposición, en los cuales materiales resistentes a ésta recubren agregados de materia orgánica protegiéndola contra descomposición y su posible estabilización. Estos mecanismos incluyen protección química mediante asociación con superficies ricas en minerales; protección física mediante la oclusión con otros agregados y protección bioquímica mediante protección con compuestos recalcitrantes (Plante *et al.*, 2006). Estos mecanismos de protección contribuyen también a que una parte de la materia orgánica original persista durante mucho tiempo, pues el carbono contenido en los residuos orgánicos oponen resistencia a la descomposición conforme el tiempo transcurre (Bohn *et al.*, 1993).

De esta manera se pueden diferenciar tres estados típicos de la materia orgánica respecto a su persistencia en el suelo. El primero donde existen residuos vegetales en descomposición atacada por los distintos tipos de microorganismos que persisten y se renuevan constantemente durante ciclos cortos; el segundo estado, que concierne a los metabolitos microbianos y constituyentes de la pared celular que llegan a estabilizarse en el suelo, llegando a tener una vida media de 5 a 25 años y por último el tercer estado, representado por las fracciones persistentes que llegan a tener una edad de entre 250 a 2 500 años (Bohn *et al.*, 1993).

En este sentido la importancia funcional de la materia orgánica varía sistemáticamente con su edad. Los materiales más jóvenes son los biológicamente más activos, aquellos de edad intermedia contribuyen notablemente al estado físico edáfico, mientras que los más antiguos presentan una marcada influencia sobre la reactividad físico-química del suelo (Galantini y Suñer, 2008).

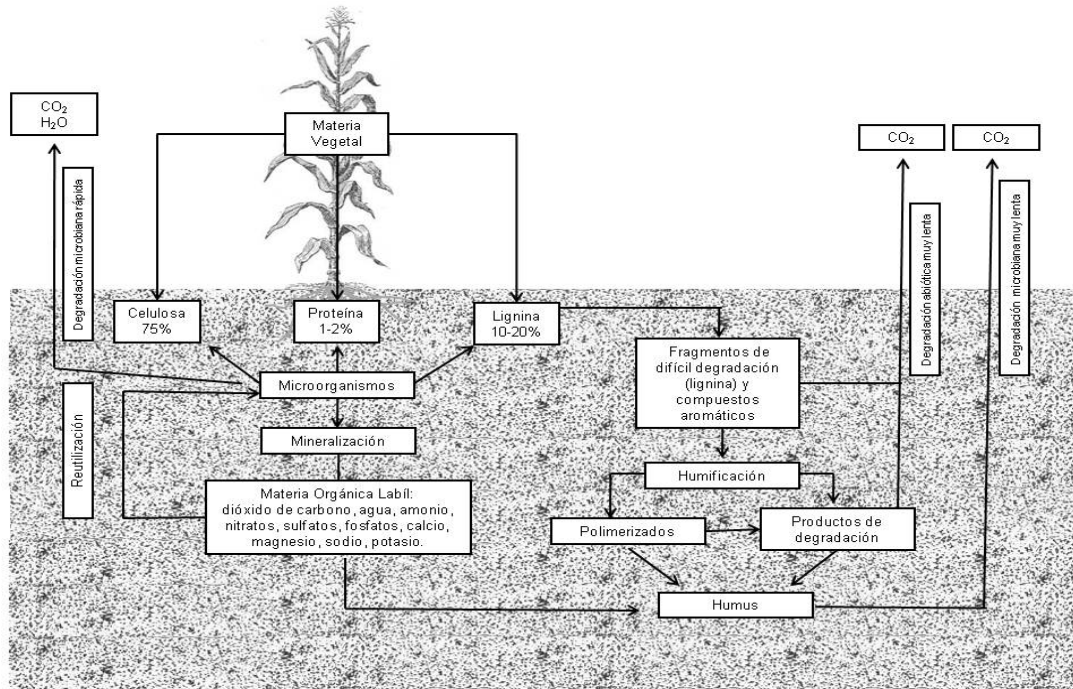


Fig. 3 Proceso general de descomposición de la materia orgánica

## OBJETIVOS

### *General:*

- Evaluar el efecto de abonos orgánicos sobre el rendimiento y calidad de los frutos de dos variedades de chile serrano (*Capsicum annuum* L)

### *Particulares:*

- Evaluar el efecto de la composta y el fermentado de estiércol, como fertilizantes orgánicos; sobre el rendimiento de una variedad criolla y el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano mediante indicadores de rendimiento.
- Determinar la cantidad de capsaicina, mediante espectrofotometría, como un indicador la calidad de los frutos.
- Determinar el efecto de los abonos orgánicos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

## JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas el uso de abonos orgánicos, como la composta y los fermentados, han recobrado importancia debido a la búsqueda de alternativas de fertilización que compensen las necesidades nutrimentales de los cultivos para obtener rendimientos aceptables sin provocar la degradación del suelo.

Los abonos orgánicos son elementos imprescindibles en sistemas sustentables de producción alimentaria que generan mínimos impactos en el ambiente y desde el punto de vista económico el empleo de este tipo de abonos contribuye a disminuir los costos por producción y operación para los agricultores.

La aplicación de fertilizantes orgánicos ha demostrado tener un efecto positivo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, resultando en un incremento en la fertilidad y el mantenimiento de la productividad de los cultivos. Aunado a ello, el tipo de suelo donde se cultivan los chiles tiene una gran influencia sobre las características de los frutos, particularmente en la pungencia, atributo muy importante de su calidad y comercialización.

Por lo tanto, es importante evaluar y validar el efecto de diferentes abonos orgánicos mediante ensayos científicos que permitan orientar su aplicación y desarrollo hacia la mayor eficacia y productividad frente a los sistemas convencionales de fertilización.



## M É T O D O

### 5.1 Material biológico

Las dos variedades de chile serrano (*Capsicum annuum*) fueron:

- Variedad criolla, obtenida de productores rurales de la sierra alta hidalguense, que sólo la cultivan para el autoconsumo y comercio local.
- Cultivar Tampiqueño 74, desarrollada a través del Programa de Mejoramiento Genético de Chile en el Campo Experimental Sur de Tamaulipas (Cestam) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), apto para ser sembrado en los suelos vertisoles y fluviosoles del nororiente de Veracruz, San Luís Potosí, Jalisco, Nayarit, Hidalgo y la Planicie Huasteca (Córdoba, 2003).

### 5.2 Elaboración de fertilizantes

#### 5.2.1 Composta

Para la elaboración de la composta se siguió la metodología propuesta por Rodríguez y Córdoba (2006), en el "Manual de compostaje municipal". Se empleó un cubo de madera de 1m<sup>3</sup>, forrado con maya de plástico como contenedor. El proceso de compostaje requirió de cuatro elementos principales: "residuos verdes" (con alto contenido de nitrógeno), "residuos cafés" (con alto contenido de carbono), agua y oxígeno.

Para los "residuos verdes", se permitió la incorporación de cáscaras de frutas, hojas de verduras consumidas en fresco, desechos de café, cáscaras de huevo y residuos frescos de jardín; para los "residuos cafés", se permitió la incorporación de hojas y ramas secas, pasto seco, aserrín y virutas de madera, polvo del suelo y cáscaras de nueces. Los componentes orgánicos incorporados al proceso fueron cortados y triturados previamente para estimular una rápida degradación.

Todos los desechos orgánicos fueron colocados en capas alternadas de residuos verdes y cafés, hasta llenar el contenedor. Todo fue mezclado

para permitir una adecuada incorporación de los dos tipos de desechos, evitar la compactación y permitir una adecuada aeración. Inmediatamente después se dio un riego con agua corriente tratando de no saturar la composta en más de un 70%.

A lo largo de todo el proceso, una vez a la semana, se realizó un volteo de la composta con el fin de revolver los desechos orgánicos, incorporando los desechos del exterior al interior con el fin de seguir con el proceso de degradación y permitir la aeración. Los riegos también se hicieron con la misma frecuencia, o en su defecto, cuando las condiciones ambientales lo hubiesen requerido.

El proceso de degradación de los desechos orgánicos se llevo a cabo durante 4 meses, al término de este periodo se realizó la cosecha de la composta tomando en cuenta que el producto resultante debió tener un olor dulce y característico de la tierra, un color café claro oscuro a negro grisáceo y una textura semejante a ligeros terrones del suelo; todas estas características se tomaron como indicativas de que el proceso de compostaje había terminado.

La composta cosechada fue secada al sol para estabilizarte, eliminar la humedad y facilitar su almacenamiento hasta el momento de utilizarla.

### 5.2.2 Fermentado de estiércol

Para la realización del fermentado se siguió la metodología propuesta para la elaboración del fermentado de estiércol reportada por Mejía (2001b). Se utilizó un recipiente de plástico de 20 L, al cual se hizo un agujero en la tapa, se introdujo una manguera, y se selló alrededor para evitar la entrada de aire (este extremo no debía hacer contacto con la mezcla) y el otro extremo de la manguera se colocó en una botella de plástico de 600 ml con agua a la mitad de su capacidad (este extremo

debía quedar dentro del agua) para realizar la función de válvula de escape.

Del estiércol fueron eliminados piedras, ramas y otros materiales que pudiera contener y se introdujo en el recipiente tratando de hacer una mezcla homogénea de estiércol y agua al 50%. El recipiente se colocó en un lugar bajo la sombra, agitándolo una vez al día por dieciocho días consecutivos. Después de 30 días de iniciado el proceso, el producto resultante de la fermentación fue filtrado con una maya de plástico y puesto en contenedores hasta su utilización.

### 5.2.3 Fertilizante químico

El fertilizante químico empleado fue el conocido con la marca comercial: Fosfolnitro<sup>®</sup>, compuesto por: 3% de nitrógeno total (N); 40% de fósforo aprovechable (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); ácidos fúlvicos en un 1% y diluyentes y acondicionadores en un 56%.

## 5.3 Actividades culturales

### a) Germinación y trasplante

Las semillas de ambas variedades fueron germinadas en charolas de plástico transparente con papel filtro, algodón y agua. Cuando las plántulas tuvieron una longitud de 5 cm, fueron colocadas en almácigos de unicel con tierra cernida. Después de un mes, las plántulas fueron trasplantadas de los almácigos a macetas con capacidad de 3 Kg.

### b) Fertilización

Para esta investigación se propuso una mezcla de ½ kg de composta y 2 kg de tierra para macetas de 3 kg de capacidad, dicha mezcla fue utilizada por el volumen que la composta ocupa en la maceta.

El fermentado para ser aplicado se diluyó en una proporción de 1:3 en agua, con base a las recomendaciones de Mejía (2001b); de esta mezcla se aplicaron 300 ml por maceta cada 15 días a lo largo del experimento.

La dosis del fertilizante químico Fosfolnitro<sup>®</sup>, fue de 5.3 ml por cada litro de agua (comunicación personal del Ing. Agr. Rutilio Resendiz). Aplicando 300 ml de esta solución cada 15 días.

Para los dos fertilizantes aplicados en forma líquida (fermentado y fertilizante químico), fue necesario determinar la capacidad de campo del suelo donde se desarrollaron las plantas. Dicho suelo fue saturado con agua corriente y se dejó 48 horas para asegurar que la gravedad drenara el excedente de humedad.

Pasado dicho periodo, se aplicó agua tratando de alcanzar el punto en el que el suelo mostrara su máxima capacidad de retención de humedad. Con ello se determinó que la dosis de aplicación de los fertilizantes líquidos sería de 300 ml por maceta.

### c) Polinización

La polinización natural del chile es efectuada por insectos y en presencia de estos, sobre todo en cultivo bajo invernadero se ha observado, en algunas variedades, un aumento en la producción llegando a duplicar el nivel de fructificación y pudiéndose apreciar una aceleración en la maduración (Muñoz y Ayusto, 2005); por lo anterior se optó por realizar la polinización manualmente empleando pinceles de cerdas suaves.

En todo momento se trató de realizar una polinización cruzada entre las plantas de los tratamientos pertenecientes a la misma variante de chile, por lo tanto los pinceles para la variedad criolla y tampiqueño 74 fueron siempre diferentes. Estas actividades se realizaron durante las

primeras horas del día. Las flores que habían sido polinizadas eran marcadas con cinta adhesiva donde se indicaba el tratamiento de fertilización, la planta y la maceta; el número de flor y la fecha de polinización. Todos estos datos eran registrados y capturados con el fin de llevar un control del número de flores polinizadas por tratamiento y por variante de Chile.

e) Control de enfermedades y plagas

- Control de cenicienta polvorienta (*Oidium* sp).

Se detectó en hojas viejas una cobertura blanca sobre el haz (polvo blanco) en agosto del 2009; se determinó que la infección era causada por un hongo identificado como "cenicienta polvorienta" (*Oidium* spp) (Calixto, 2009).

Este hongo requiere de alta humedad relativa para desarrollarse, condición que se da en invierno con alta humedad por la noche y la mañana, seguida de periodos secos durante el día. Los síntomas se inician con pequeñas manchas o lesiones en el envés de las hojas basales y dependiendo del grado de infección y densidad del inóculo, aunado a la susceptibilidad del genotipo, se distribuye rápidamente por toda la planta. Posteriormente se desarrolla en el haz un polvillo blanco que se distribuye por medio del viento. Las infecciones severas causan defoliación y reducción de la capacidad fotosintética. (Calixto, 2009).

En este sentido, García (2009), propone el uso del bicarbonato de potasio al 1% como una alternativa orgánica para el combate de la cenicienta polvorienta. Por lo tanto se realizaron aspersiones de bicarbonato de potasio a una concentración de 1g/L<sup>-1</sup>, pero los resultados fueron limitados. Por último, a mediados del mes de septiembre 2009, se aumentó la concentración a 3 g de bicarbonato de potasio por litro, siendo esta concentración la más eficaz eliminando la aparición del hongo en un 80%.

- Control del pulgón verde (*Myzus persicae*)

Durante el mes de octubre se detectó la presencia de gran cantidad de insectos principalmente en el envés de la hoja y cerca de las flores; la presencia de dichos insectos ocasionaba una mielecilla en dichos órganos.

Con base en la bibliografía se determinó la presencia del pulgón verde (*Myzus persicae*) que es una especie de hemíptero de la familia Aphididae. Las ninfas y los adultos se alimentan succionando la savia sobre el envés de la hoja y en los brotes. El daño es ocasionado por una sustancia tóxica que inyectan al alimentarse, la cual distorsiona las hojas, causa reducción de vigor de la planta y caída de las hojas (Córdoba, 2003).

Para su combate se realizaron infusiones de 100 g. de *Tagetes lucida* en peso seco para un litro de agua. Dicha infusión se aplicó directamente a las plantas afectadas por aspersion cada tercer día hasta detectar una reducción de la infestación (comunicación personal del Dr. Miguel Ángel Villavicencio Nieto y la Quím. Blanca Estela Pérez Escandón).

Al cabo de un mes de aplicación, se observó una reducción en la incidencia de pulgones, principalmente en los estadios jóvenes; al tiempo que se notó una mejoría en el vigor de las plantas y una disminución en la aparición de la mielecilla que evidenciaba la presencia de la plaga.

#### d) Cosecha

Para la variedad criolla, la cosecha se inició 90 días después de la fecha de trasplante (10 de octubre del 2009). El corte de los frutos se realizó cada 15 días, con la finalidad de que los frutos cosechados pasaran el mismo número de días en la planta.

Para que un fruto pudiera ser cosechado, la pulpa debía contar una coloración verde oscura, buena consistencia y un grosor uniforme, esto es

que al presionar el fruto con los dedos en su parte media no debía aplastarse fácilmente.

Los frutos del cultivar tampiqueño-74 fueron cosechados 120 días después del trasplante (13 noviembre del 2009), teniendo como principal indicador el color verde esmeralda de los frutos con una longitud entre los 6 y 8 cm de longitud.

#### 5.5 Evaluación del rendimiento.

Para determinar el rendimiento de las variedades de chile, se evaluarán los siguientes parámetros:

- a) Altura total de la planta, evaluada semanalmente.
- b) Número de flores, se contabilizó y marcó el número de flores diariamente para cada planta durante la época de floración.
- c) Ganancia de biomasa (GB), se obtuvo al final de la cosecha, seccionando las plantas (hojas, tallo y raíz) y los frutos; pesándolos para obtener el peso fresco total. El material fue secado en una estufa a una temperatura de 72° C hasta tener un peso constante y obtener el peso seco. La ganancia de biomasa se determinó para cada planta y sus respectivos frutos, obteniendo el porcentaje del peso seco respecto al peso fresco con la siguiente fórmula:

$$GB = \frac{\text{PESO SECO} \times 100}{\text{PESO FRESCO}}$$

- d) Índice de cosecha (IC), este índice se aplicó para determinar la eficiencia de la cosecha desde el punto de vista del rendimiento. Este se obtuvo dividiendo la ganancia de biomasa de los frutos entre la ganancia de biomasa de la planta contemplando hojas, tallo y raíz; de la cual provenían estos. La fórmula aplicada fue:

$$I C = \frac{GB \text{ DEL FRUTO}}{GB \text{ DE LA PLANTA}}$$

### 5.5 Cuantificación de capsaicina.

Los frutos secos a 50°C durante 72 hrs fueron clasificados por planta y molidos en morteros de porcelana hasta obtener un polvo fino. Para cada tratamiento se formaron muestras compuestas adicionando 0.5 grs de fruto molido de cada una de las plantas correspondientes a cada tratamiento.

Se pesó 1 g de cada muestra compuesta y se colocó en un matraz aforado con metanol grado reactivo al 70%, esta solución se vació en un matraz erlenmeyer de 250 ml, se agregó 0.1 g. de carbón activado y se mantuvo en agitación constante durante 30 min. Después esta solución se filtró con papel "Whatman" n° 1. La solución obtenida se denominó "solución filtrada"; se realizó una solución filtrada por cada uno de los tratamientos de fertilización para ambas variedades de chile y para la muestra de suelo inicial.

A partir de las soluciones filtradas se realizaron muestras ácidas y muestra básicas. Cada una de ellas contenía 2.7 ml de agua destilada, 1 ml de la solución filtrada y 2 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 1N, para las muestras ácidas, o en su caso hidróxido de sodio (NaOH), para las muestras básicas; estas soluciones eran aforadas a 25 ml con metanol grado reactivo al 100%.

Adicionalmente se realizaron soluciones de referencia (blancos) tanto ácidas como básicas, estas se elaboraron con 3 ml. de agua destilada, 2 ml de HCl al 1N o NaCl al 1N, según fuera el caso y se aforaba a 25 ml con metanol grado reactivo al 100%.



Para determinar la longitud de onda apropiada para determinar la absorbancia de capsaicina se realizó un barrido desde los 200 hasta los 1000 nm. El resultado indicó que la mayor absorbancia se registraba a los 297 nm (ver anexo 1).

De cada tratamiento se realizaron 5 repeticiones de las lecturas de absorbancia en un espectrofotómetro (Marca) a 297 nm, contrastando las soluciones ácidas y básicas de referencia con las muestras ácidas y básicas, respectivamente, para cada tratamiento de fertilización.

## 5.6 Evaluación de las propiedades del suelo.

### a) Determinación de la textura del suelo por el método Bouyoucos

Se pesaron 200 g de suelo tamizado y se colocaron en un vaso de precipitados agregándole 40 ml de agua oxigenada con el fin de eliminar la materia orgánica. Para aumentar la velocidad de reacción, las muestras se colocaron en baño María por dos días.

Después de eliminar la materia orgánica y la humedad, se obtuvo una muestra de 50 gr de suelo; esta fue triturada y se adicionó agua hasta cubrirla con una lámina de 2 cm. Al mismo tiempo se le agregaron 5 ml de oxalacetato de sodio, mas 5 ml de de metasilicato de sodio y se dejó reposar por 15 minutos.

Posteriormente, la muestra fue colocada en un agitador mecánico para lograr dispersar el material durante 5 minutos. Al finalizar este tiempo, la muestra se colocó en una probeta de 1000 ml y se agregó agua destilada hasta aforar. Se colocó el hidrómetro dentro de la probeta y se tomaron dos lecturas, la primera a los 40 segundos y la segunda 2 horas después.

Para poder obtener los porcentajes de las texturas, se emplearon las siguientes formulas:

$$\% \text{ limos} + \% \text{ arcillas} = \frac{\text{primera lectura} \times 100}{\text{grs de suelo}}$$

$$\% \text{ arena} = 100 - (\% \text{ limos} + \% \text{ arcillas})$$

$$\% \text{ arcillas} = \frac{\text{segunda lectura} \times 100}{\text{grs de suelo}}$$

$$\% \text{ limos} = (\% \text{ limos} + \% \text{ arcillas}) - \% \text{ arcillas}$$

#### b) Determinación de pH

Se tomaron muestras por duplicado de suelo previamente tamizado (10 g) por cada tratamiento de fertilización para ambas variedades. Cada muestra de suelo fue colocada en frascos de vidrio con 20 ml de agua destilada. Se colocaron en agitación constante durante 30 min para posteriormente determinar el pH con un potenciómetro (Hanna mod. HI 98180), previamente calibrado.

#### c) Determinación de materia orgánica.

Para determinar el contenido de materia orgánica se siguió la metodología de Walkley-Black. Se obtuvieron muestras de suelos, previamente tamizadas, de los tratamientos de fertilización de ambas variedades de Chile. De cada una de las muestras fueron obtenidas 2 submuestras de 0.5 g de suelo; para el caso de los tratamientos con composta la submuestra consistió en 0.2 g

Cada una de las submuestras de suelo fueron colocadas en matraces Erlenmeyer de boca ancha de 250 ml, se les agregó 5 ml de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) al 1N y después 10 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado, dirigiéndolo al centro de la suspensión y agitando

suavemente hasta mezclar el suelo y los reactivos durante un minuto, para que por último se dejara reposar durante 30 minutos.

Pasado el tiempo se agregaron 100 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosforico ( $H_3PO_4$ ) y 5 gotas del indicador de sulfato de bario de difenilamina. Por último la solución fue titulada con sulfato ferroso ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) al 0.5 N, controlando la cantidad añadida para buscar la reacción en la cual la solución pasa de un color ámbar a un azul oscuro y finalmente a un verde esmeralda. Al observar el cambio de color se anotaba la cantidad de sulfato ferroso usada en la titulación para hacer los cálculos finales.

Este método se aplicó a cada una de las submuestras así como a una muestra del suelo original y una muestra blanco.

La fórmula empleada para realizar los cálculos fueron:

$$\% M.O. = \frac{5 - (ml FeSO_4 \times N \text{ real})}{Grs \text{ de suelo}} \times 0.69$$

d) Determinación de la capacidad de intercambio catiónico total (CICT):

Se tomaron muestras de suelo previamente tamizado (1g) por duplicado, por cada tratamiento de fertilización para ambas variedades de chile y cada muestra fue colocada en tubos de ensaye de plástico.

Se agregaron 10 ml de cloruro de calcio ( $CaCl_2$ ) por muestra, se centrifugó durante cinco minutos a 3000 rpm y por último se eliminó el sobrenadante; esta operación se repitió cinco veces. El mismo procedimiento se realizó con la adición de alcohol etílico y cloruro de sodio

a cada una de las muestras, para este último el sobrenadante fue reservado para hacer titulaciones con el método del versenato (EDTA).

A los sobrenadantes reservados se les agregó 10 ml de solución de buffer pH 10, 5 gotas de clorhidrato de hidroxilamina, 5 gotas de cianuro de potasio al 2% y 5 gotas de negro de eriocromo, todos estos compuestos adicionados en agitación constante, para finalmente titular con versenato (EDTA) al 0.02N hasta que la solución cambiara de color púrpura a azul.

La fórmula empleada para determinar la capacidad de intercambio catiónico total en cada muestra fue:

$$\text{CICT (mEq/100grs}^{-1}\text{)} = \frac{\text{(ml de EDTA) (N)}}{\text{grs de la muestra}} \times 100$$

e) Porcentaje de saturación de bases intercambiables.

Se pesó 1 g de suelo previamente tamizado y se colocó en un tubo de centrifuga, se agregaron 10 ml de acetato de amonio 1N y se agitó durante un minuto por medio de un agitador de cristal. Después el suelo fue centrifugado durante cinco minutos a una velocidad de 3000rpm. El sobrenadante resultante fue colocado en un matraz de 250 ml; esta actividad se repitió cinco veces para cada una de las muestra de suelo de los diferentes tratamientos de fertilización y de la muestra de suelo inicial.

La solución fue aforada con agua desionizada y filtrada con papel "Whatman" N° 41. A partir de esta solución se realizó una disolución 1:100 para determinar la concentración (cmol/Kg<sup>-1</sup>) de Ca, Mg, Na y P por medio de espectroscopía de emisión óptica de plasma.

A partir de la capacidad de intercambio catiónico total se obtuvo el porcentaje de saturación de bases, empleando la sumatoria de la concentración de los cuatro iones por tratamiento. Tomando la saturación de bases como el 100% se obtuvo el porcentaje la saturación individual para ión.

#### 5.8 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental de bloques completamente al azar evaluando dos factores, el primero integrado por dos variedades de chile serrano *Capsicum annuum* (variedad criolla y el cultivar tampiqueño 74) y el segundo factor constituido por cuatro tipos de fertilizantes (composta doméstica, fermentado de estiércol bovino, fertilizante químico y un control); para obtener 8 tratamientos. Para cada tratamiento fueron evaluadas 3 repeticiones con 10 plantas cada una.

Los datos de índice de cosecha, número de frutos, contenidos de clorofila fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias de Turkey con el paquete estadístico SPSS Statistics 18.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO

#### 6.1.1 Crecimiento, floración y generación de frutos

Los datos de altura recabados semanalmente a lo largo del experimento indicaron que las plantas del cultivar tampiqueño 74 en los cuatro tratamientos de fertilización, obtuvieron mayores tallas respecto a sus homólogos de la variedad criolla (figura 4).

Las plantas del cv. Tampiqueño 74 que se sometieron al tratamiento con fertilizante químico obtuvieron una altura final promedio de 64.4 cm, seguido del tratamiento con fermentado con 61.8 cm, el tratamiento con composta tuvo una altura promedio de 57.6 cm y el tratamiento control con 34.7 cm. En la variedad criolla, la mayor altura promedio registrada fue de 46.4 cm para el tratamiento con fermentado de estiércol, seguido por el tratamiento con fertilizante químico y composta que obtuvieron una altura promedio similar con 41.3 y 41.2 respectivamente y el control con una altura promedio de 27.4 cm.

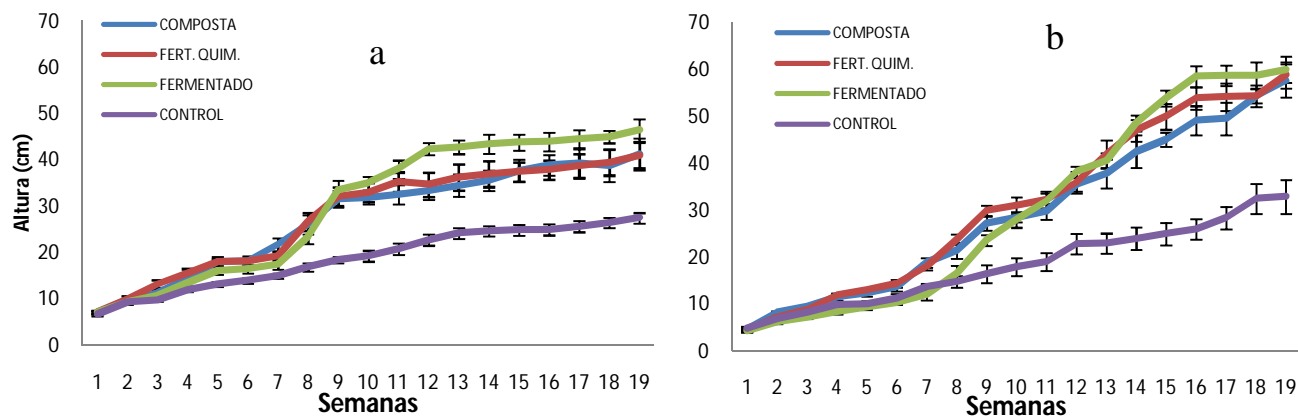


Figura 4.- Cinética de crecimiento y barra de error típico de los cuatro tratamientos de fertilización para la variedad criolla (a) y para el cultivar tampiqueño 74 (b), de chile serrano (*Capsicum annum*)

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre las dos variedades de chile serrano, así como entre los tratamientos

de fertilización ( $P < 0.05$ ), sin embargo, estas diferencias estadísticas residen solamente para los tratamientos control ya que los tratamientos con composta, fertilizante y fermentado se agruparon en un sólo subconjunto según el análisis de comparaciones múltiples de Turkey. (figura 5)

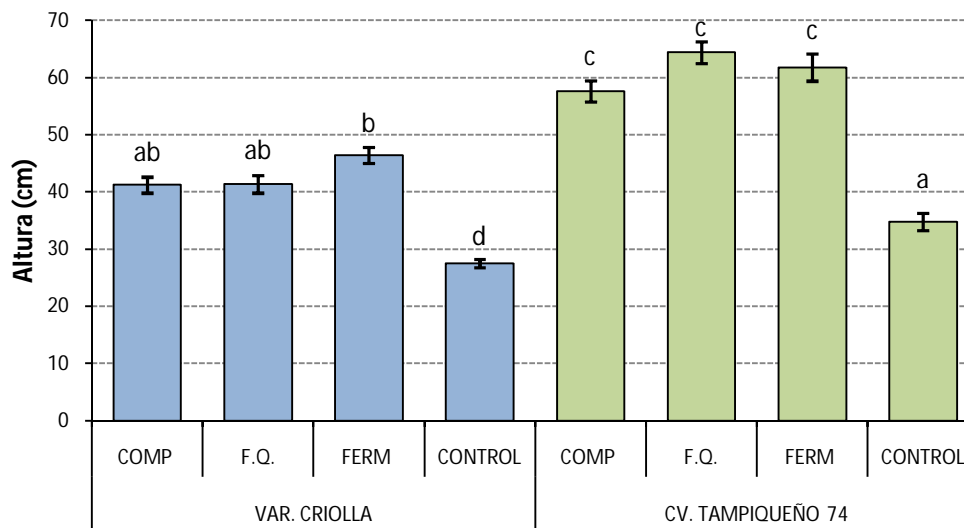


Figura 5.- Alturas finales promedio y barra de error típico para los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*)

La variedad criolla inició su etapa de floración 55 días después del trasplante y la etapa de cosecha se inició hasta los 124 días. En el cultivar tampiqueño 74, la floración se registró a los 74 días y la cosecha a los 150 días a partir de la fecha de trasplante. Esto mostró un desfase de alrededor de 20 días de estas etapas entre variedades.

El mayor número de flores se obtuvo en los tratamientos de la variedad criolla respecto a los del cultivar tampiqueño; en ambos casos los tratamientos con composta fueron los de mayor floración, mientras que los tratamientos con fermentado y fertilizante químico mostraron resultados variables; por su parte los tratamientos control mostraron los valores más bajos. El porcentaje de formación de frutos respecto al

número total de flores registradas para la variedad criolla se encontró en un rango del 15.7% al 27.4%, mientras que en el cultivar este rango va del 8.1% al 16.9% (cuadro 1).

Cuadro 1.- Número de flores totales registrada, número de frutos producidos y porcentaje de fruto producidos respecto al número de flores totales; para los cuatro tratamientos de fertilización de chile serrano (*Capsicum annuum*) de la variedad criolla (arriba) y cv. Tampiqueño 74 (abajo) variedad criolla.

	var. criolla			
	Composta	F. Q.	Fermentado	Control
Nº Flores totales	553	432	515	113
Nº Frutos	87	97	88	20
% de formación de frutos	15.7	22.4	17.1	27.4

	cv. Tampiqueño 74			
	Composta	F. Q.	Fermentado	Control
Nº Flores totales	412	371	196	110
Nº Frutos	51	63	56	9
% de formación de frutos	12.3	16.9	14.0	8.1

Respecto a la fructificación, para la variedad criolla, el fertilizante químico presentó una mayor fructificación en relación al fermentado y la composta, ambos con número de frutos muy similares; mientras que el tratamiento control obtuvo los valores más bajos.

Aunque el cultivar tampiqueño 74 presentó un menor número de frutos respecto a la variedad criolla, el comportamiento de los resultados que obtuvieron los tratamientos de fertilización fueron similares, siendo mayor el fertilizante químico, seguido por el tratamiento con fermentando, la composta y el control. Los resultados en relación al número promedio de frutos por cada planta presentan una tendencia similar a los resultados que muestra el número de frutos totales. (cuadro 2); los análisis estadísticos respecto al número de frutos indicaron diferencias significativas entre las variedades y entre los tratamientos de fertilización, el análisis de comparaciones múltiples de Turkey indicó que sólo el control difiere a los demás tratamientos de fertilización ( $P>0.05$ ) (figura 6).



Cuadro 2.- Número de frutos totales, promedio de frutos por planta, índice de cosecha promedio en peso seco (IC peso seco) e índice de cosecha promedio en peso fresco (IC peso fresco) para cada tratamiento de fertilización para la variedad criolla y el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*).

		N° de frutos	Prom.frutos /planta	IC peso seco	IC peso fresco
var. Criolla	Composta	87	2.90	2.03	26.20
	Fert. Quim.	97	3.23	1.99	26.07
	Fermentado	88	2.93	1.99	31.51
	Control	31	1.03	0.47	41.37
cv. T 74	Composta	51	1.70	0.90	19.42
	Fert. Quim.	63	2.10	0.98	17.07
	Fermentado	56	1.86	0.87	17.55
	Control	9	0.30	0.20	8.90

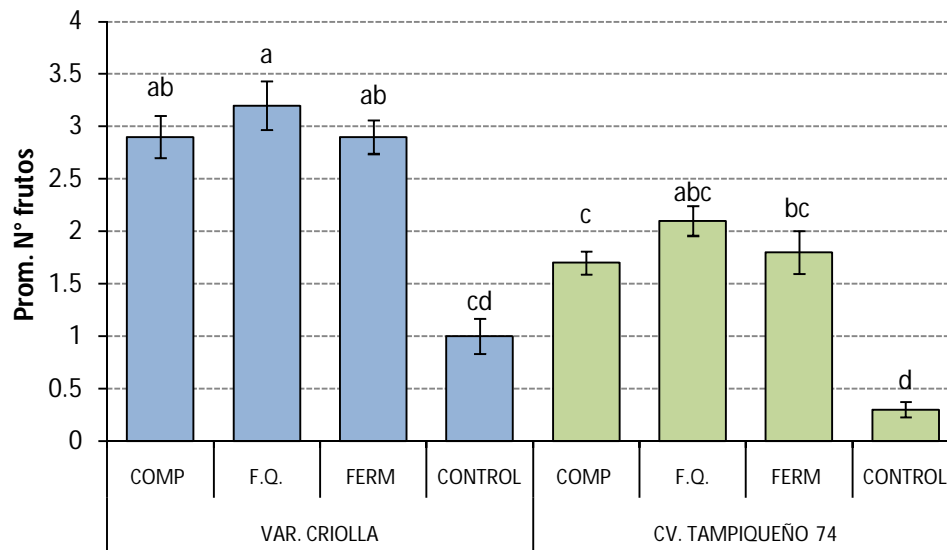


Figura 6.- Número de frutos promedio y barra de error para los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*)

### 6.1.2 Índice de cosecha

El índice de cosecha es considerado como un indicador de la eficiencia de cierta variedad desde el punto de vista del rendimiento. Es decir, si el fruto es la estructura con mayor interés; entonces los métodos de producción que procuren una mayor acumulación de materia seca en el fruto, en relación al peso seco total de las demás estructuras de la planta (biomasa), serán los más eficientes (Escalante y Kohashi-Shibata, 1993).

El tratamiento de fertilización con composta presentó el índice de cosecha más alto con un valor de 2.03, mientras que el tratamiento con fertilizante químico y fermentado obtuvieron un índice de cosecha del 1.99 y el control con valor de 0.76; todos ellos de la variedad criolla. Los valores de índice de cosecha para todos los tratamientos del cultivar tampiqueño 74 fueron inferiores a la variedad criolla, llegando a tener valores no mayores a 1 (cuadro 2).

El análisis de varianza sobre el índice de cosecha promedio en peso seco demostró que existe un efecto significativo de la interacción entre los fertilizantes y la variedad ( $P < 0.05$ ). La prueba de comparaciones múltiples de Tukey muestra diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización en ambas variedades, agrupándolos en tres subconjuntos (figura 7).

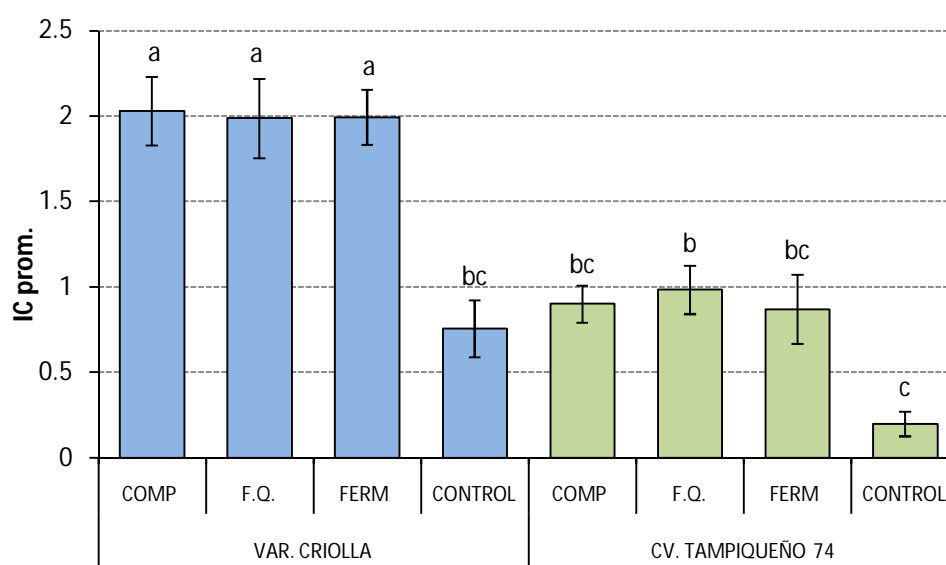


Figura 7.- índice de cosecha promedio (ICprom) en pesos seco y barra de error para los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*)

Hasta este punto, la respuesta que muestran ambas variedades de chile serrano es diferente, no importando los tratamientos de fertilización. Hacia dentro de cada variedad, los resultados en altura promedio, número

de frutos e índice de cosecha en peso seco, indican que la respuesta a los tratamientos con composta, fertilizante químico y fermentado de estiércol no mostró diferencias y que estos difirieron significativamente de sus respectivos tratamientos control.

Para este efecto es importante considerar que estos componentes morfológicos, reflejan que la capacidad de productividad de las variedades dependen en gran parte del genotipo (Khromov y Zhidekhina, 2007) y la respuesta que estas tengan a las variaciones ambientales y nutrimentales de los abonos.

No obstante, el hecho de que el rendimiento y el desarrollo vegetativo de las plantas fertilizadas con composta (en ambas variedades) fuera similar a los otros tratamientos muestra buenos indicios respecto a su calidad en el proceso de elaboración, los materiales involucrados y su proporción aplicada a las plantas (250 g / k<sup>-1</sup> de tierra); en comparación a la investigación hecha por Manjarrez- Martínez *et al.* (1999), donde establece un tratamiento empleando sólo vermicomposta en diferentes proporciones (1.25, 2, 3, 4 y 6 g /kg<sup>-1</sup> de tierra) para la producción de una variedad criolla de chile serrano, llegando a concluir que la aplicación de dicho abono orgánico no influía en el desarrollo de las plantas ni promovía su fructificación.

Los resultados que muestra el fermentado de estiércol al equiparar estadísticamente los resultados mostrados por el fertilizante químico y la composta es un buen indicio de su calidad en la elaboración y sus beneficios en la productividad. Estos resultados coinciden con los de Solaya (2010), al encontrar que no existían diferencias significativas en la altura, número de hojas y ganancia de biomasa de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinese*) comparando los efectos de un fertilizante

químico (9-45-11 NPK) y un fermentado de estiércol bovino enriquecido con suero de leche, ceniza de materia orgánica y panela, aplicado al 7%.

En esta investigación se aplicó el fermentado de estiércol en una concentración del 25% considerando que su elaboración sólo involucró el estiércol fresco y agua en partes iguales, sin la aplicación de algún enriquecedor.

Guerrero *et al.*, (2006), al comparar los rendimientos de dos años consecutivos del cultivo de chile aplicando compostas, encontraron que la productividad había sido mayor en el 2005 respecto al 2004. Dicho resultado fue atribuido al efecto residual de la composta aplicada en el 2004 que mejoraron las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, a su vez reflejadas en mayor productividad. Este mismo efecto residual de la composta pudo haberse esperado si el experimento de esta investigación se hubiese seguido trabajando para una segunda temporada de cosecha.

Diversas investigaciones han demostrado que los efectos superiores de los fertilizantes orgánicos sobre los fertilizantes químicos y las prácticas agrícolas se hacen evidentes a largo plazo, al menos un año después (Bulluck III *et al.*, 2002). Calegari y Alexander (1998 en Zetina-Lezama *et al.*, 2005), mencionan que tras 9 años consecutivos de aplicación de materia orgánica en suelo se mejoró considerablemente la disponibilidad de macronutrientes y se incremento significativamente el rendimiento del maíz.

También se ha demostrado que la aplicación de elementos orgánicos composteados, así como la aplicación de nutrimentos inorgánicos no mostraron diferencias significativas en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum*). Por lo tanto los autores argumentan que para ese caso, el principal efecto benéfico de las materiales compostados fue el de

disminuir la lixiviación de los nutrientes presentes en el suelo gracias a una mayor retención hídrica y al aumento en la capacidad de intercambio catiónico (De Grazia *et al.*, 2007).

En un estudio realizado con cultivo de chile aplicando diferentes dosis de composta y fertilizante inorgánico (N,P), tanto individualmente como combinados; encontraron que los rendimientos fueron mayores con la aplicación de composta mezclada con fertilización inorgánica que cuando esta se aplicó sola (Guerrero *et al.*, 2006).

Este último aspecto concuerda con Añez y Espinosa (2003), que determinaron que el mejor rendimiento comercial de hortalizas como la lechuga y el repollo llegó a ser el más alto cuando se abonaron con 10 t/ha<sup>-1</sup> de composta complementada con 100 y 150 kg/ha<sup>-1</sup> de nitrógeno respectivamente. Dichos autores sustentan que la liberación de nutrimentos por parte de los abonos orgánicos es muchas veces insuficiente a corto plazo para sostener la producción agrícola, considerando que una aplicación anual de 1.4 t/ha<sup>-1</sup> de materia orgánica es apenas suficiente para sostener la biomasa edáfica necesitándose cantidades adicionales para suplir la demanda de nitrógeno y potasio requerido por las plantas.

Otro aspecto importante que puede determinar la productividad es el arreglo espacial del cultivo, ya que durante el experimento fueron sembradas dos plantas por maceta. En otros estudios se ha demostrado que si bien la altura de plantas de pimiento aumentan cuando estas se encuentran más próximas; también aumenta la posibilidad de disminución en la ganancia de biomasa, el diámetro del tallo, el desarrollo radical y la calidad del fruto, trayendo como consecuencia una disminución en la productividad individual (Viloria *et al.*, 1998, 2001).

Se ha demostrado que el incremento en ganancia de biomasa en peso fresco y seco en la planta disminuye cuando se llega a tener una densidad de siembra de entre seis a ocho plantas por metro cuadrado aún con una adecuada fertilización; el peso promedio por planta disminuye a medida que la densidad aumenta debido a la competencia por CO<sub>2</sub>, agua, nutrientes y luz (Viloria *et al.*, 2001).

Aunado a esto, cuando se siembra en macetas el sistema radicular de las plantas puede estar expuesto a distintos tipos de estrés como la resistencia mecánica, pudiendo afectar la elongación, orientación o el patrón de la ramificación de la raíz causando alteraciones fisiológicas que inevitablemente tendrán consecuencias sobre los órganos aéreos (De Grazia *et al.*, 2007).

Este último se considera un factor limitante durante el experimento, pues aún teniendo las plantas cultivadas en macetas fue necesario tenerlas lo más cercanas posible debido a las limitaciones de espacio dentro del invernadero y la intención de evitar el intercambio de polen entre las dos variedades para evitar una sobre estimación en el índice de cosecha y contenido de capsaicina debido a un entrecruzamiento de las variedades.

Si bien el índice de cosecha basado en la materia seca nos ayuda a determinar el rendimiento del cultivo mediante la ganancia de biomasa, es necesario también considerar el rendimiento con base en el peso fresco pues el peso del fruto al ser cosechado determina en gran medida la ganancia económica que se obtiene durante su comercialización.

Los promedios de índice de cosecha en peso fresco demostraron que para la variedad criolla los tratamientos con composta y fertilizante químico tienen índices similares, 26.20 y 26.07 respectivamente; para el

tratamiento con fermentado el rendimiento alcanza un valor de 31.517, mientras que el control alcanza un valor superior a los demás tratamientos (41.37).

En la variedad tampiqueño 74, el tratamiento con composta alcanzó un índice de cosecha de 19.42, siendo éste el más alto pues los tratamientos con fertilizante químico y fermentado tuvieron valores de 17.07 y 17.55, mientras que el control obtuvo sólo un índice de cosecha de 8.90.

El índice de cosecha en el tratamiento control de la variedad criolla es aparentemente alto debido a que se generaron 31 frutos y estos eran relativamente más grandes si se comparaban con el tamaño de sus plantas, esto no pasó en el control de la variedad tampiqueño 74 debido a que sólo se generaron 9 frutos (cuadro 2).

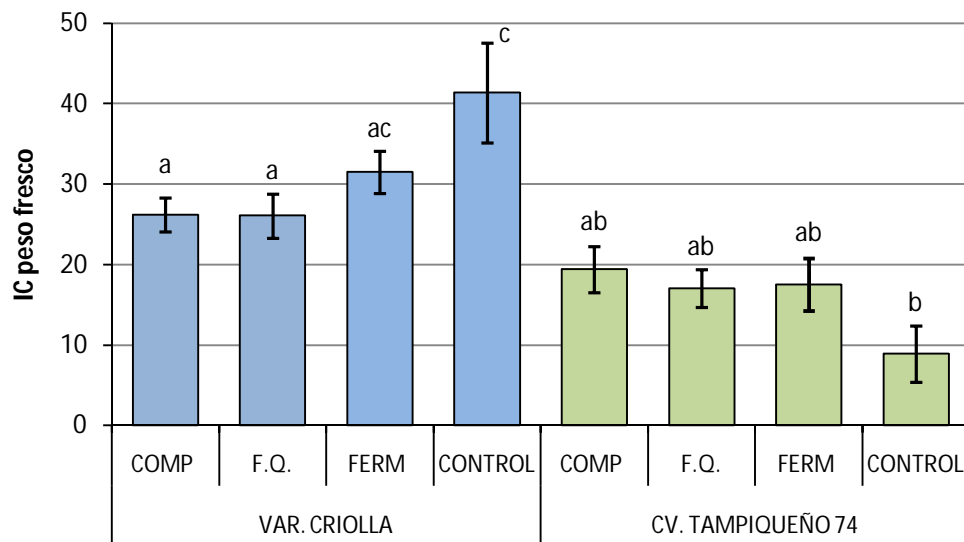


Figura 8.- Promedio de índice de cosecha (IC) en pesos fresco y barra de error para los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*)

El análisis de varianza sobre el índice de cosecha basado en los promedios de peso fresco mostraron diferencias significativas sólo para las variedades ( $P<0.05$ ) y una interacción significativa entre las variedades de chile serrano y los tratamientos de fertilización ( $P<0.05$ ). La prueba de comparaciones múltiples de Turkey agrupa los tratamientos de ambas variedades en tres subconjuntos (Figura 8).

### 6.1.3 Contenido de clorofila

Para la variedad criolla, los mayores promedios de clorofila se obtuvieron en el tratamiento con fermentado de estiércol, seguido del fertilizante químico, la composta y el control, los niveles máximos alcanzados van desde 56.90 hasta 52.30 uSPAD y los mínimos entre 35.10 y 43.22 uSPAD. Respecto al cv. Tampiqueño-74, los valores máximos, mínimos y los promedios para todos los tratamientos generalmente son más bajos que los de la variedad criolla; el tratamiento con el promedio más alto es el del fertilizante químico, siguiéndole el tratamiento con fermentado, el de composta y al final el control; los valores máximos van de 55.75 a 44.78 y los mínimos entre 31.00 y 35.70 uSPAD (cuadro 3).

Cuadro 3.- Promedio, niveles máximos y niveles mínimos de clorofila, expresados en unidades SPAD; para los cuatro tratamientos de fertilización para la variedad criolla (arriba) y el cv. Tampiqueño-74 (abajo) de chile serrano (*Capsicum annuum*).

var. Criollo				
	Composta	F. Q.	Fermentado	Control
PROMEDIO	48.71	49.49	52.89	48.32
MAX	55.19	55.20	56.40	52.30
MIN	39.00	35.10	42.60	43.22

cv. Tampiqueño 74				
	Composta	F. Q.	Fermentado	Control
PROMEDIO	44.11	46.84	44.61	41.68
MAX	49.79	55.75	51.54	44.78
MIN	32.20	31.00	35.70	34.50



El análisis de varianza de medidas repetidas mostró una interacción significativa entre los tipos de fertilizantes y la variedad de chile para el contenido de clorofila ( $P < 0.05$ ).

Sin embargo, al inicio de las mediciones, los tratamientos de la variedad criolla mostraron una concentración de clorofila con valores de 30 a 35 uSPAD, no así el cv. Tampiqueño que muestra niveles iniciales de entre 35 a 45 uSPAD. A lo largo del tiempo la variedad criolla mostro una disminución en el contenido de clorofila en hojas que pudo ser observada en todos los tratamientos entre la semana siete y ocho, que coincide con los eventos de floración y fructificación de esta variedad; mientras que al final (a partir de la semana 11) se presentó un nuevo descenso de clorofila más pronunciado que el anterior (figura 9).

Por su parte, el contenido de clorofila en el cv. Tampiqueño mostró un aumento durante las primeras semanas de evaluación, que después cambió a un comportamiento más errático principalmente en los tratamientos con composta, fertilizante químico y control (figura 6).

Este comportamiento fluctuante en los contenidos de clorofila suele estar relacionado a la fenología. Se ha reportado que cuando las plantas de chile serrano entran a la etapa de floración la fotosíntesis se ve drásticamente reducida debido a que no se producen nuevas hojas y el aumento en la demanda de carbohidratos para la producción de frutos provoca que las ya existentes entren en fase de senescencia (Manjarrez-Martínez *et al.*, 1999). El incremento en la velocidad de respiración para la formación de frutos en combinación con la senescencia de las hojas involucra el aumento en la concentración de azúcares y la disminución de la velocidad de la fotosíntesis (Tanaka y Yamaguchi 1994 en Manjarrez-Martínez *et al.*, 1999).

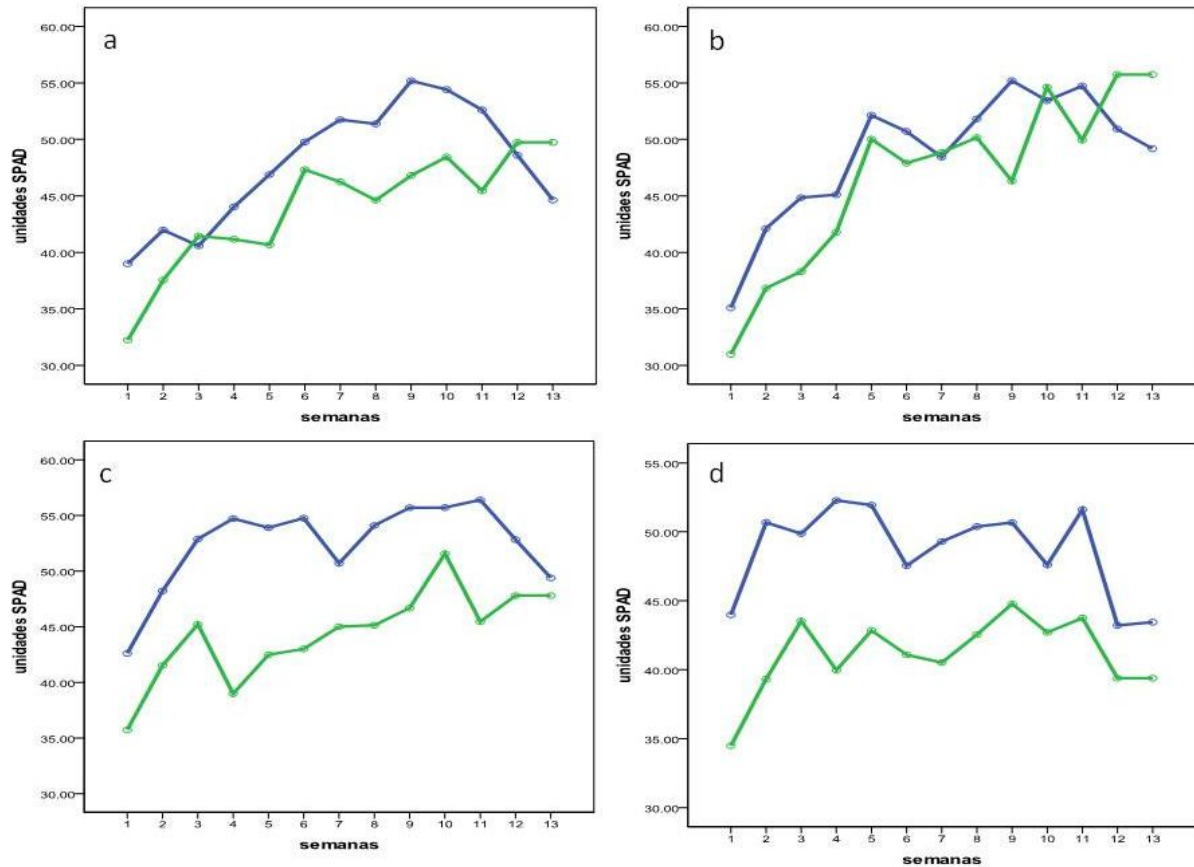


Figura 9.- Promedio semanal de lecturas de clorofila (uSPAD) para los tratamientos de fertilización: composta (a), fertilizante químico (b), fermentado (c) y control (d); tanto para la variedad criolla (línea oscura) como para el cultivar Tampiqueño 74 (línea clara) de Chile serrano (*Capsicum annuum*)

Este fenómeno se pudo observar en las últimas semanas de medición y en la mayoría de los tratamientos, a excepción del cv. Tampiqueño 74 en el tratamiento con fertilizante químico donde se presentó un incremento en la concentración de clorofila, incluso por arriba de la variedad criolla.

El hecho de que sin importar el tratamiento, la variedad criolla mostrara mayores niveles de clorofila pudo deberse a factores genéticos. Algunos estudios demuestran que los cultivares modernos mantienen una menor actividad fotosintética con respecto a sus ancestros silvestres producto de los procesos de selección y domesticación de cultivares. (Long *et al.*, 2006).

## 6.2 Contenido de capsaicina en frutos

La determinación de capsaicina mediante espectrofotometría de UV mostró que para la variedad criolla, la absorbancia más alta se obtuvo en los frutos del tratamiento con fertilizante químico, seguido del tratamiento con composta, fermentado y control. En la variedad tampiqueño 74, la mayor absorbancia de capsaicina fue igual para el tratamiento con fertilizante químico seguido del fermentado, composta y el control (cuadro 4).

Cuadro 4.- Promedio de absorbancia, a 297 nm para cada uno de los tratamientos fertilización composta, fertilizante químico (F.Q), fermentado (Ferm.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annum*)

Tratamientos de fertilización		Absorvanbcia
var. criolla	Composta	0.5884
	Fert. Químico	0.7289
	Fermentado	0.5516
	Control	0.5050
var. Tampiqueñ o 74	Composta	0.5029
	Fert. Químico	0.5519
	Fermentado	0.5499
	Control	0.5005

El análisis de varianza de los contenidos de capsaicina mostró diferencias significativas tanto para las variedades ( $F=1027.710$ ,  $P<0.05$ ) como para los tratamientos ( $F=762.599$ ,  $P<0.05$ ) y la interacción entre estos dos factores ( $F=391.219$ ,  $P<0.05$ ). (figura 9).

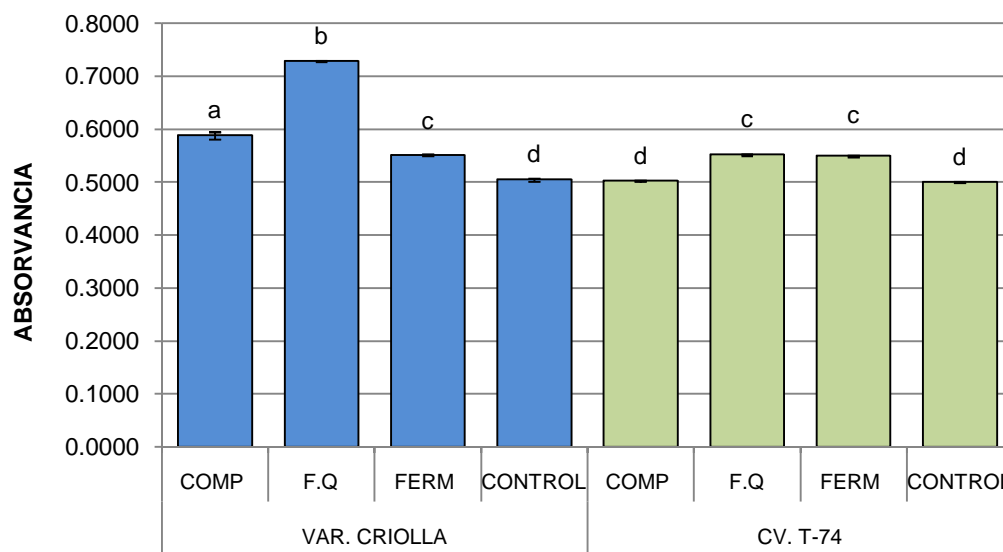


Figura 9.- Promedio de absorbancia de capsaicina a 297 nm en frutos de los cuatro tratamientos de fertilización: composta, fertilizante químico (F.Q), fermentado (Ferm.) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*)

Las sustancias encargadas de provocar el picor en los chiles se derivan 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 o leucina, respectivamente. De este grupo de compuestos, se conocen alrededor de 20 y de ellos la capsaicina y la dihidrocapsaicina constituyen el 90% del total presente en los frutos. (Cázares-Sánchez *et al.*, 2005; Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

La acumulación de capsaicinoides en los frutos y su variación en el picor está determinada por toda una serie de factores (fisiológicos, genéticos y ambientales), así como por la acción conjunta de estos factores. (Zewdie y Bosland, 2000).

Las condiciones ambientales suelen en estos casos tener un papel fundamental incluso por arriba de otros factores, estudios previos encontraron variaciones significativas de hasta ocho veces en el contenido de capsaicinoides de individuos con el mismo material genético cultivados en condiciones de campo distintas (Zewdie y Bosland, 2000). Un factor determinante es la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, en Chile jalapeño ya se ha determinado una dosis óptima de nitrógeno para obtener la máxima acumulación de capsaicinoides y en momentos en los que a dicha dosis es rebasada su capacidad de síntesis y acumulación disminuye.

La limitación de agua es otro de los factores ambientales documentados con mayores posibilidades de modificar los contenidos de capsaicinoides en frutos, aunque sus efectos dependen en parte de su interacción con la genética de los cultivares; en un estudio realizado con tres cultivares de Chile encontraron que la deficiencia de agua incrementó el contenido de capsaicinoides en dos de ellas (cv. Beauty Zest y Home Flavor), mientras que en la tercera (cv. Hungarian) no se manifestó ningún efecto (Sung *et al.*, 2005 en Vazqu ez-Flota 2007). Sin embargo se han obtenido algunos cultivares de Chile con la capacidad de mantener sus niveles de pungencia a pesar de diversas condiciones ambientales.

Los capsaicinoides son sintetizados en la placenta del fruto y empiezan a acumularse en las primeras etapas de desarrollo aumentando gradualmente hasta la maduración total.

No obstante las variaciones que se observan en el contenido de capsaicinoides podría ser el resultado de las diferencias del flujo de compuestos y enzimas intermediarias a lo largo de la ruta metabólica, derivado a su vez de diferencias en los niveles de expresión de los genes involucrados y muchos de los productos finales de la ruta de los

fenilpropanoles que dan origen a los productos intermediarios de los capsaicinoides son acumulados en respuestas a los factores ambientales (Zewdie y Bosland, 2000; Mueller-Seitz *et al.*, 2008).

El daño por plagas o mecánico en los frutos también afecta su capacidad pungente, la ruptura de las vacuolas en las células epidérmicas de la placenta en combinación con el contacto con el oxígeno promueve su oxidación (Zewdie y Bosland, 2000; Mueller-Seitz *et al.*, 2008).

También se ha encontrado que esta capacidad pungente puede variar debido a la posición del fruto en la planta debido a competencia por los fotosintatos, dado que la remoción de frutos puede influenciar la disponibilidad de nutrimentos individualmente (Zewdie y Bosland, 2000), por ello es importante recordar que los resultados presentados provienen de muestras compuestas con todos los frutos del total de plantas de los tratamientos correspondientes, por lo tanto sería posible esperar que la variación en la pungencia no se derive de este aspecto.

Se pensaría que entre mayor acumulación de biomasa se presente en los frutos mayor sería su pungencia, sin embargo, se debe tener presente que los diversos tejidos del fruto no se desarrollan uniformemente y que los capsaicinoides se sintetizan en la placenta del fruto que correspondería a sólo el 20% del total del peso mientras que el pericarpo contribuye con el resto y sólo en etapas temprano de desarrollo se muestra una correlación positiva entre ganancia de biomasa y concentración de capsaicinoides (Mueller-Seitz *et al.*, 2008). Esto se refleja en que los resultados de la ganancia de biomasa en peso fresco y la concentración de capsaicina no son correspondientes para nuestro estudio.

Cázares-Sánchez *et al* (2005), al analizar una población de chile habanero, encontraron una menor concentración de capsaicinoides

respecto a lo reportado en estudios previos similares, atribuyendo sus resultados a que en parte el materia biológico fue cultivado en invernadero, como fue el caso en esta investigación y a que el experimento se ubicó a una altitud diferente a la del sitio de origen de la población, condiciones que posiblemente no permitieron que la planta desarrollara todo su potencial; sin embargo, logró cuantificar hasta 60 000 unidades scoville para los morfotipos clasificados como muy pugnates y 10 000 para los de picor intermedio.

Aunque en este estudio se determinó el contenido de capsaicina como indicador de la calidad de los frutos, es necesario enfocar los estándares de calidad en otras cualidades físico químicas. Se ha demostrado que el chile contiene una importante cantidad de vitaminas (A, C y E), así como minerales y otros compuesto fitoquímicos con gran potencial farmacéutico; por ejemplo los ácidos fenólicos que reducen el riesgo de desarrollar cáncer, problemas cardiovasculares y demás enfermedades crónico degenerativas (Guzmán *et al.*, 2004). Las variaciones en los niveles de vitaminas en el chile se han atribuido a diferencias en cultivares, madurez del fruto, manejo agronómico de la planta y factores climáticos; incluso hay diferencias debidas al método analítico utilizado.

### 6.3 Características físicas y químicas del suelo.

Con el fin de contar con una referencia válida y acorde a las condiciones edáficas del México, la mayoría de los resultados obtenidos serán categorizados según la NOM-021-RECNAT-2000, pues en ella se establecen las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

### 6.3.1 Textura del suelo

La textura que se determinó para el suelo empleado fue franco arenosa (migajón arenoso), según el triángulo de texturas con base a los siguientes porcentajes: arena: 54.2%, arcilla: 5.8%, limo: 40%

Este tipo de suelo, donde más del 50% corresponde a las arenas y menos 20% son arcillas, se considera de textura gruesa teniendo como principal característica su baja capacidad de retener nutrimentos y agua; al igual, la predominancia de poros grandes y el bajo porcentaje de arcillas facilita la pérdida de nitrógeno nítrico, principalmente (Castellanos *et al.*, 2000).

Desde una perspectiva agrícola, la arena proporciona un buen drenaje y un buen desarrollo radicular, sin embargo, también se seca fácilmente y pierde nutrimentos por lixiviación; por su parte el limo es más fino que la arena y retiene mejor el agua e iones. No obstante, la importancia de las arcillas se debe a que existe una marcada diferencia con relación a la formación de arenas y limos, debido a los procesos químicos relacionado con el proceso intemperismo. Por su tamaño, menor a  $2\mu$ , las arcillas son consideradas coloides cargadas eléctricamente en forma negativa y de tal forma atraen cationes de elementos esenciales como  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  o radicales positivos como  $NH_4^+$ ; quedando así retenidos en el suelo (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990). Las arcillas controlan propiedades importantes en el suelo, como la plasticidad, el intercambio catiónico y la retención de agua (Gliessman, 2002).

Ante el panorama de contar con un suelo con poca capacidad de retención de nutrimentos y humedad, nos queda la posibilidad de evaluar con mayor amplitud el papel que jugaría la aplicación de abonos orgánicos a este tipo de suelo; ya que en el caso de suelos pobres en arcillas la materia orgánica coloidal cumple el papel de retener cationes asimilables



para las plantas y humedad. Aunado al hecho de que en presencia de arena, la materia orgánica coloidal es más efectiva que la arcilla para formar agregados estables. (Baver *et al.*, 1991).

Si bien la textura del suelo no sufre modificaciones importantes después de la aplicación de los abonos orgánicos, otras características físicas del suelo como la capacidad de campo, punto de marchitez permanente y humedad aprovechable pueden tener incrementos después de su aplicación (López-Martínez *et al.*, 2001).

La conformación textural del suelo utilizado en esta investigación presentó algunas ventajas en relación a la producción de chile ya que este tipo de cultivos son susceptibles a enfermedades radiculares en suelos con proporciones elevadas de arcillas (Castellanos *et al.*, 2000).

Villalón *et al.* (2009), encontraron que algunas variedades silvestres de chile piquín (*Capsicum annum* var. *Glabriusculum*) se encuentran creciendo en suelos con diferentes clases texturales como franco, migajón limosa, migajón arcilloso-arenoso, migajón-arcillo-arenoso y migajón arenosa; ésta última empleada en esta investigación. Este aspecto revela la plasticidad genética que tienen las variedades silvestres de chile para desarrollarse en diferentes condiciones, lo cual puede reflejarse en mayores niveles de rendimiento, contenido de clorofila y concentración de capsaicina. Pudiendo este aspecto ayudar a explicar la diferencia entre la variedad criolla de chile serrano y el cultivar tampiqueño 74.

### 6.3.2 pH

La muestra de suelo inicial presentó un pH neutro (6.70), mientras que las muestras de suelo tomadas después del experimento para todos los tratamientos mostraron aumentos importantes con tendencias a la alcalinidad.

Las muestras tomadas de los tratamientos con fertilizante químico, en ambas variedades de chile serrano presentaron un pH menor (7.8) respecto a los demás tratamientos; este valor se clasifica según la NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo; como medianamente alcalino. Los tratamientos restantes tuvieron pH aún mayores, de entre 8.50 a 8.69 incluyendo los tratamientos control, a los cuales sólo se les adicionó agua corriente a los largo del experimento. Estos niveles de pH son considerados como fuertemente alcalinos (cuadro 5).

Cuadro 5.- pH y su categorización de acuerdo a la NOM-021-REC NAT-2000. Los valores se presentan para una muestra de suelo previa a los tratamientos de fertilización (suelo inicial) y el suelo sometido a los tratamientos de fertilización donde se desarrollaron las plantas de variedad criolla y el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annum*).

		pH	Categoría NOM.
Suelo inicial		6.70	Neutro
var. Criolla	Composta	8.50	Fuertemente alcalino
	Fert. Quim.	7.82	Medianamente alcalino
	Fermentado	8.56	Fuertemente alcalino
	Control	8.62	Fuertemente alcalino
cv. T-74	Composta	8.63	Fuertemente alcalino
	Fert. Quim.	7.80	Medianamente alcalino
	Fermentado	8.69	Fuertemente alcalino
	Control	8.53	Fuertemente alcalino

Esperaríamos que la materia orgánica presente en la composta o el fermentado de estiércol afectara el pH del suelo debido a diversos grupos activos que aportan grados de acidez (Navarro y Navarro, 2003; Martínez *et al.*, 2008). Pero en un hecho contrario, todos los tratamientos de fertilización registraron un aumento en el pH generando la alcalinidad del suelo; especialmente llama la atención el aumento en los controles llegando a ser fuertemente alcalinos, a pesar de que sólo se les aplicó riego con agua corriente como a los demás tratamientos.

Este fenómeno de alcalinidad demuestra que la reacción del suelo, después de los tratamientos de fertilización y los riegos, se comporta como la de un suelo de ambientes semiáridos pues en esos casos la baja actividad microbiana por la escasa humedad, la aportación de material orgánico coloidal y los procesos de meteorización retienen cationes (Martínez *et al.*, 2008).

Desde el punto de vista agronómico, el Chile requiere de un rango aceptable de pH de entre 5.5 y 7 (Castellanos *et al.*, 2000), sin embargo, se han encontrado poblaciones silvestres de Chile piquín (*Capsicum annum* var. *Glabriusculum*) creciendo en suelos con un pH de entre 8 y 8.2, considerado medianamente alcalinos (Villalón *et al.*, 2009). Aun así la alcalinidad alcanzada en el suelo rebasa en mucho lo encontrado en dicha investigación.

Fortis-Hernández *et al.* (2007), reportó que a los 75 días después de la aplicación de tratamientos de biocompost y fertilizante químico (por separado) en la producción de maíz forrajero se alcanzaron valores de pH de 8.41 en suelo, mientras que al finalizar el experimento el pH disminuyó a valores próximos a 7.5.

El aumento del pH en los tratamientos de fertilización podría explicarse por la liberación de bases intercambiables a través de la mineralización de la materia orgánica y por el contenido inicial de nitrógeno en la materia orgánica que provocaría un aumento en el pH asociado a la formación de  $\text{NH}_4^+$  (amoníaco) que consume protones, pero la posterior nitrificación del  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  (nitrato) provocaría a su vez un eventual descenso (Martínez *et al.*, 2008).

Los suelos alcalinos se forman en algunos casos cuando el sodio se combina con aniones débiles tales como bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ), pudiendo llegar a tener valores altos de pH; de la misma manera, una alta concentración de sales neutras como el NaCl (cloruro de sodio) o  $\text{NaSO}_4$  (sulfato de sodio) pueden generar suelos salinos. Cuando uno, o los dos fenómenos combinados se presentan, el aspecto clave que genera estas condiciones se puede presentar en el manejo y la aplicación del agua de riego (Gliessman, 2002).

Ante este posible escenario se recurrió a analizar las propiedades físico-químicas de agua proveniente de la toma del invernadero donde se realizó esta investigación (ver anexo 2). De entre todos los parámetros evaluados sobresalen la concentración de sodio con  $189.5 \text{ mg/L}^{-1}$ ; sólidos totales disueltos con  $729 \text{ mg/L}^{-1}$  y de cloruros con  $729 \text{ mg/L}^{-1}$ .

Generalmente la alcalinidad del suelo se presenta cuando el sodio es el catión dominante, siendo su principal fuente el riego con agua subterránea o extraída de pozos profundos. Los efectos físicos del riego con elevadas concentraciones de sodio y sales involucra la dispersión de coloides del suelo al tiempo que el pH puede elevarse hasta 8.5 debido a que las sales solubles evitan las reacciones de hidrólisis deteriorando sus características hidráulicas y consecuentemente se ve limitado el desarrollo vegetal (Bohn *et al.*, 1993; Lossino *et al.*, 2002).

Cuando el complejo coloidal del suelo se encuentra saturado por iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ) en más de un 15%, iones como los de calcio y magnesio ( $\text{Ca}^+$  y  $\text{Mg}^+$ ) se ven desplazados, pudiendo llegar a pH de entre 8.5 y 10, como se muestra en los resultados obtenidos; además el efecto peptizante del sodio provoca la dispersión y destrucción de la estructura del suelo originando problemas de permeabilidad (Urbano, 1999; Navarro y Navarro, 2003).

Silva-García et al. (2006), establece que una concentración de entre 1 y 15 mEq/L<sup>-1</sup> de sodio en el agua representa un grado de peligrosidad para la agricultura; para este caso la concentración de sodio en agua del invernadero (189.5 mg/L<sup>-1</sup>) equivale a 8.23 mEq/L<sup>-1</sup>, colocándola dentro de este rango. La FAO en su apartado sobre la calidad de agua para la agricultura determina que una concentración mayor 3 mEq/L<sup>-1</sup> se considera de peligro para ser empleada para fines de irrigación (Ayers y Westcot, 1994).

Según Castellanos *et al.* (2000), una concentración de entre 5-10 mEq/L<sup>-1</sup> de sodio en el agua de riego esta en posibilidades de generar daños en el follaje de chile.

Con base a esta concentración de sólidos totales disueltos, expresados en mg/L<sup>-1</sup>, se pudo calcular la conductividad eléctrica (CE), en razón de que 640 mg/L<sup>-1</sup> de sólidos suspendidos totales equivalen a 1 dS/m<sup>-1</sup> de conductividad eléctrica (Castellanos *et al.*, 2000); basados en estos cálculos, la muestra de agua del invernadero empleada en la investigación presentaba una CE de 1.13 dS/m<sup>-1</sup>.

Tomando en cuenta los parámetros de calidad de agua para riego de Castellanos *et al.* (2000); junto con la CE y la concentración de sólidos totales disueltos de la muestra de agua del invernadero, se cataloga como de leve a moderado el grado de restricción de su uso para fines agrícolas. Por su parte Silva-García *et al.* (2006); cataloga que el agua que se encuentra entre 0.75 y 2.25 dS/m<sup>-1</sup> como de utilización restringida en ciertas actividades agrícolas, y debe usarse en cierto tipo de cultivos tolerantes a un nivel medio de salinidad.

Debido al carácter básico del suelo y los procesos de hidrólisis es posible que se pudiera dar un predominio en la saturación del suelo de  $\text{OH}^-$  (hidróxidos) sobre los hidrógenos ( $\text{H}^+$ ) producto de la disociación, teniendo como principal problema la dificultad para la extracción de nutrimentos y para el desarrollo de las plantas (Gliessman, 2002; Navarro y Navarro, 2003).

El pH del suelo controla las reacciones químicas que determinan si los nutrientes van a ser disponibles para la absorción por las raíces. Se ha encontrado que la mayoría de los nutrientes esenciales para las plantas están fácilmente disponibles dentro en el rango de 6.5 a 7.5 pH (neutro), rango en el que se favorece también el crecimiento de las raíces. El nitrógeno, potasio y azufre son los nutrimentos que se ven menos afectados cuando el pH sale del rango de la neutralidad (Fisher y Argo, 2010; IPNI, 2010).

Por el contrario, el fósforo es uno de los macronutrientes con mayor sensibilidad al pH. Este elemento es absorbido rápida y principalmente como fosfato monovalente ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), pero en su forma divalente ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) se absorbe con menor rapidez. El pH controla la abundancia relativa de estos dos tipos de fosfatos; la forma monovalente es favorecida a un pH menor a 7, mientras que la divalente es más abundante en suelos que tienden hacia la alcalinidad (Salisbury y Ross, 1994).

La mayoría de los micronutrientes, especialmente el hierro, manganeso, cobre, zinc, y boro presentan una baja disponibilidad cuando el pH del suelo aumenta sobre del rango de la neutralidad; mientras que la disponibilidad del molibdeno actúa de manera inversa, aumentando en las mismas condiciones (Fisher y Argo, 2010).

Las plantas que se desarrollan en suelos salinos tienden a incrementar el potencial osmótico de sus tejidos. Fisiológicamente, el efecto principal de la salinidad en los cultivos es utilizar la energía que originalmente sería empleada en el desarrollo, a fin de mantener el diferencial osmótico en el sistema suelo-planta. Uno de los primeros procesos afectados es el alargamiento celular, no obstante, las células del tejido foliar continúan con su división pero no se alargan provocando plantas con poca altura; el color verde oscuro es una característica morfológica relacionada al desequilibrio fisiológico que significa que hay más células por unidad de área foliar (Richards, 1974; Bohn *et al.*, 1993).

La acumulación de cloruros en los tejidos produce necrosis en las puntas y en bordes de las hojas. El exceso de sodio también provoca desequilibrios nutricionales resultado del poco hierro disponible a altos niveles de pH, así también se presenta una deficiencia de calcio, magnesio y muchos micronutrientes (Bohn *et al.*, 1993).

### 6.3.3 Contenido de materia orgánica en suelos

La cuantificación del contenido de materia orgánica en el suelo donde se desarrollaron ambas variantes de chile serrano bajo los cuatro esquemas de fertilización, mostraron que los mayores niveles se encuentran en los tratamientos con composta, teniendo un porcentaje de materia orgánica del 8.98% para la variedad criolla y 5.73% para el cultivar tampiqueño 74, esto indica que la composta aportó entre 3 y 5 veces más el contenido de materia orgánica respecto al porcentaje contenido al momento de iniciar el experimento que fue del 1.74% (suelo inicial) (cuadro 6).

Cuadro 6.- Porcentaje de materia orgánica (% M.O.) y su categorización de acuerdo a la escala de concentración de materia orgánica para suelos no volcánicos de la NOM-021-RECNAT-2000. Los valores se presentan para una muestra de suelo previa a los tratamientos de fertilización (suelo inicial) y el suelo sometido a los tratamientos de fertilización donde se desarrollaron las plantas de variedad criolla y el cultivar tampiqueño 74 (cv. T 74) de chile serrano (*Capsicum annuum*).

		% M.O	Categoría NOM.
Suelo inicial		1.748	Medio
var. Criolla	Composta	8.979	Muy Alto
	Fert. Quim.	1.965	Medio
	Fermentado	1.694	Medio
	Control	2.182	Medio
cv. T-74	Composta	5.725	Alto
	Fert. Quim.	2.182	Medio
	Fermentado	1.531	Bajo
	Control	2.019	Medio

Considerando la NOM-021-RECNAT-2000, se puede establecer que el porcentaje de materia orgánica aportada por la composta llevarían a dicho suelo a clasificarlo como de alta o muy alta fertilidad. Los niveles de materia orgánica en suelo sometido a los tratamientos con fermentado indican una leve disminución respecto a los niveles de suelo inicial, para la variedad criolla se encontró el 1.69% de materia orgánica, mientras que para el cultivar. tampiqueño 74 se encontró el 1.53%.

Los porcentajes de materia orgánica encontrados en suelo con fertilización química corresponden a 1.97% para la variedad criolla y 2.18% para el cultivar tampiqueño 74, considerándolos como de fertilidad media según la NOM-021-RECNAT-2000.

Los tratamientos control mostraron niveles de materia orgánica mayores a los tratamientos de fermentado y fertilizante químico, para la variedad criolla el porcentaje de materia orgánica fue de 2.18% y 2.02%



para cultivar tampiqueño 74; la norma oficial los considera como de fertilidad media.

El contenido de materia orgánica entre el suelo abonado con composta y los otros tratamientos de fertilización muestran grandes diferencias, debido en principio a la aplicación directa de materia orgánica en su forma sólida (composta), reflejado lógicamente en los resultados. Aunque el tratamiento con composta añadió altos niveles de materia orgánica respecto a los tratamientos como el fermentado y el fertilizante químico, esto no significó una ventaja en términos de rendimiento de las plantas, ya que estos tres tratamientos no mostraron diferencias significativas en dicho aspecto.

Los altos niveles acumulados de materia orgánica en el suelo aportados por las compostas se debió al proceso mismo de compostaje, en el cual los compuestos simples fueron mineralizados primero y puestos a disposición de las plantas para ser absorbidos durante la etapa de fructificación (materia orgánica lábil); mientras que compuestos más complejos como la lignina y demás sustancias recalcitrantes se acumulan a través de la humificación para ser mineralizados posteriormente (Leifeld *et al.*, 2002).

Los resultados de este trabajo difieren parcialmente de los de López-Matínez *et al.* (2001), que reporta que sin importar las dosis de composta aplicadas (20, 30 y 40 t/ha<sup>-1</sup>), los porcentajes de materia orgánica se elevaron de 0.84% hasta 1.33% en promedio; que representó un aumento del 44%. Al igual Fortis-Hernández *et al.*, (2007), encontró que tratamientos con biocompost en dosis de 30 t/ha<sup>-1</sup> sólo aumentaron el porcentaje de materia orgánica de un 0.91% (antes de su aplicación) a un 94%. Mientras que el presente estudio con la aplicación de composta se

pudo elevar el porcentaje de materia orgánica desde 1.7% hasta 7%, que representó un aumento de más del 400%.

Las mismas dosis (20, 30 y 40 t/ha<sup>-1</sup>) de estiércol bovino (sin fermentar) obtuvieron porcentajes de entre 1.2 y 1.5%, que representaron un aumento del 58% respecto a los niveles iniciales antes del experimento. Sin embargo nuestros resultados de materia orgánica en suelo abonado con fermentado de estiércol, que van de entre 1.5 y 1.6%; no muestran ningún aumento respecto a los porcentajes antes de aplicar dicho abono (suelo inicial).

Salazar-Sosa *et al.* (2007), reportaron un aumento desde 3.59% hasta 6.35% de materia orgánica en el estrato superficial de suelo con aplicaciones de 80, 120 y 160 t/ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino, no obstante después de 4 años seguidos de aplicación aumentó la salinidad del suelo llegando a superar el límite permisible.

No obstante otros estudios han encontrado mayores niveles de materia orgánica en abonos de origen animal en comparación con desechos vegetales domésticos composteados (Castillo *et al.*, 2000; Inbar *et al.*, 2002; en Perez *et al.*, 2008).

En este sentido es importante considerar que la cantidad de materia orgánica aportada por los abonos orgánicos y los beneficios con los que pueda contribuir al rendimiento de los cultivos depende del grado de mineralización, que a su vez está en función de las propiedades de los materiales y del proceso de fabricación, más que de la tecnología; así también de las condiciones ambientales para su consecuente descomposición (Espinosa, 1996; Castro *et al.*, 2009; Isaza-Arias *et al.*, 2009).

Comparando dos técnicas de aeración (aireación forzada y volteo manual) durante el proceso de compostaje de residuos de jardín y cascaras de cítricos, se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de degradación de materia orgánica y determinando a su vez que existe una correlación directa con la temperatura. Consecuentemente la temperatura sería un factor clave durante el proceso de compostaje que determinaría la presencia de compuestos inorgánicos disponibles para las plantas (Isaza-Arias *et al.*, 2009).

En el compostaje de material vegetal procedente de desechos domésticos y de jardines, se observó que sólo el 10% de los materiales orgánicos fue mineralizado, y cuando el compostaje de desechos se combinaba con otros materiales como lodos y estiércoles el porcentaje de mineralización de la materia orgánica llega a alcanzar valores del 12%. Sin embargo, cuando el compostaje era complementado con procesos de aireación forzada los porcentajes de mineralización de la materia orgánica llegaba a ser de entre 21 a 42%, considerando los materiales empleados (Francou *et al.*, 2005).

La disponibilidad de nutrientes de los abonos orgánicos es usualmente baja y variable, si se compara con los fertilizantes minerales; a diferencia de estos últimos, los orgánicos requieren mineralización previa la cual puede durar desde semanas hasta meses, sin que esta sea total ni el único proceso que los afecta. La mineralización está controlada en parte por varios factores como riqueza microbial, humedad, temperatura, textura y mineralogía del suelo, así como por la calidad de los materiales incorporados, cantidad agregada y forma de aplicación (Castro *et al.*, 2009).

El leve aumento de materia orgánica en el tratamiento con fertilizante químico respecto a los niveles de la muestra de suelo inicial

pueden deberse a que se dieron las condiciones y manejo necesario para que los nutrimentos que contenía dicho fertilizante estuvieran disponibles para las plantas traduciéndose en un mayor desarrollo vegetativo, y que esto a su vez incrementara la cantidad de residuos aéreos y de raíces que contribuyeron al aumento de materia orgánica en el suelo. Autores como Malavolta *et al.* (1991 en Espinosa 1996), consideraron que la aplicación de fertilizantes químicos representa una alternativa económica para incrementar o por lo menos mantener la materia orgánica en un nivel adecuado para una producción sostenible y rentable.

Contraria a esta última afirmación, la utilización de fertilizantes químicos para mayor producción de biomasa que posteriormente pueda ser incorporado al suelo, no aseguran su completa humificación y mineralización mientras que la aplicación de materia orgánica a través de esquemas fertilización orgánicos supone más que el mantenimiento de estos niveles con fines productivos.

Un estudio realizado para ver el efecto de la aplicación de materia orgánica en el combate a la pudrición basal del chile dulce (*Capsicum annuum*) var. Tropical Irazú, causada por *Phytophthora capsici*; encontró que una composta orgánica redujo la aparición del este hongo un 26% más respecto de un tratamiento con fertilizante químico. Los autores refirieron que la materia orgánica aumentó considerablemente el número de organismos en el suelo y propicio un ambiente de competencia edáfica que llevó a reducir la presencia del patógeno (Corrales *et al.*, 1990). Bulluck III *et al.* (2002), reportó que a través de la aplicación de compostas y estiércol bovino aumentó la densidad la micro fauna edáfica, principalmente del género *Trichoderma*, conocidos como agentes del control biológico de diferentes hongos fitopatógenos.

Lo anterior nos lleva a considerar que los altos niveles de materia orgánica no sólo aumentan los beneficios en productividad, sino que también en el combate a plagas y enfermedades.

#### 6.3.4 Capacidad de intercambio catiónico total (CICT)

Los análisis demostraron que en la etapa inicial (sin la aplicación de abonos) la capacidad de intercambio catiónico del suelo fue de 6.6 cmol/Kg<sup>-1</sup>. Después de efectuado el experimento los niveles aumentaron en todos los tratamientos; la composta usada con la variedad criolla, mostró niveles de CICT de casi el doble (12.7 cmol/Kg<sup>-1</sup>), para los tratamientos con fertilizante químico, fermentado y control, la capacidad de intercambio catiónico aumentó hasta 8.7, 10.7 y 9.3 cmol/Kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Con la variedad tampiqueño 74, el tratamiento con composta mostró niveles de 12.6 cmol/Kg<sup>-1</sup>, mientras que los demás tratamientos llegaron a tener entre 8.5 y 8.8 cmol/Kg<sup>-1</sup> (cuadro 7).

Cuadro 7.- Capacidad de intercambio catiónico (CICT) (cmol/Kg<sup>-1</sup>) y su categorización según la norma oficial (NOM-021-RECNAT-2000). Los valores se presentan para una muestra de suelo previa a los tratamientos de fertilización (suelo inicial) y el suelo sometido a los tratamientos de fertilización donde se desarrollaron las plantas de variedad criolla y el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*).

		CICT cmol/Kg <sup>-1</sup>	Categoría NOM.
Suelo inicial		6.6	Baja
var. Criolla	Composta	12.7	Baja
	F. Q.	8.7	Baja
	Ferm.	10.7	Baja
	Control	9.3	Baja
	Composta	12.6	Baja
cv. T 74	F. Q.	8.8	Baja
	Ferm.	8.5	Baja
	Control	8.6	Baja

Aunque los niveles de capacidad de intercambio catiónico aumentaron en todos los tratamientos respecto a los de suelo inicial, la NOM-021-RECNAT-2000 determina que estos sólo pueden ser categorizados como de baja capacidad.

La capacidad de intercambio catiónico puede tener valores menores de 5 cmol/Kg<sup>-1</sup> en suelos con pocas proporciones de arcilla o hasta 200 cmol/Kg<sup>-1</sup> para suelos altamente ricos en materia orgánica (Navarro y Navarro, 2003). En suelos de textura franca, se han registrado valores de hasta 92.1 cmol/Kg<sup>-1</sup> de capacidad de intercambio catiónico directamente relacionados a los porcentajes de materia orgánica, similares a los encontrados en esta investigación (Ramos-Bello *et al.*, 2001).

Los mayores incrementos en la CIC se registraron en los tratamientos con composta y el el fermentado de estiércol con la variedad criolla. En suelos pobres en acillas y con cierto aporte de materia orgánica se esperaría que la función coloidal que desempeñan las arcillas fuera cubierta perfectamente por la materia orgánica pues su superficie y capacidad de absorción excede con mucho a las presentadas por cualquier tipo de arcilla (Mabrouki *et al.*, 1999; Navarro y Navarro, 2003).

El aumento en la capacidad de intercambio en los demás tratamientos pudo deberse al aumento en la concentración de Na<sup>+</sup> intercambiable y al recambio de iones que se explica más adelante.

#### 6.3.4.1 Porcentaje de saturación de bases intercambiables

Los resultados indican que los mayores porcentajes de saturación de bases corresponden a los tratamientos control de ambas variedades (12 % para la var. criolla y 14 % para el cv tampiqueño 74), además de la muestra inicial (13.1%) (cuadro 8).

En la variedad criolla, el suelo abonado con fermentado de estiércol presenta el menor porcentaje de saturación bases 9.28%, la composta registra un 10.36%, mientras que el fertilizante alcanza un porcentaje de 11.96%. Para el cultivar tampiqueño el tratamiento con fertilizante químico y fermentado presentaron valores similares (11.58% y 11.38% respectivamente, mientras que el tratamiento con composta obtuvo el menor porcentaje: 9.57 % (Cuadro 9).

Un porcentaje de saturación bajo indica percolación intensa del suelo. Cuando el Na<sup>+</sup> intercambiable excede del 5 al 10% de la capacidad de intercambio catiónico del suelo se impide el movimiento del agua hacia dentro y a través del suelo (FitzPatrick, 1996). Sin embargo, nunca se registraron niveles superiores al 3% de Na<sup>+</sup> respecto a la capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 8.- Porcentaje de saturación de bases intercambiables, extraído de la capacidad de intercambio catiónico total y el porcentaje de saturación individual por catión respecto al porcentaje de saturación de bases; para una muestra de suelo previa a los tratamientos de fertilización (suelo inicial) y el suelo sometido a los tratamientos de fertilización donde se desarrollaron las plantas de variedad criolla y el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*).

		% SAT. DE BASES	PORCENTAJE DE SATURACIÓN INDIVIDUAL DEL COMPLEJO CATIONICO			
			Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>
	Suelo Inicial	13.12	0.38	4.48	4.20	90.94
var. Criolla	Composta	10.36	2.96	10.47	6.53	80.04
	F. Q.	11.96	1.73	5.14	6.19	86.94
	Ferm.	9.28	- - -	10.40	6.34	83.27
	Control	12.01	1.47	5.70	5.59	87.23
cv. T-74	Composta	9.57	1.67	9.10	6.28	82.95
	F. Q.	11.58	1.28	5.65	6.83	86.25
	Ferm.	11.38	1.20	10.58	6.29	81.93
	Control	14.00	0.75	4.75	5.61	88.90

Si bien los porcentajes de saturación de bases no dan los suficientes indicios para estimar la efectividad de los abonos orgánicos, la proporción de saturación individual de cada ión respecto a éste muestra resultados importantes.

Destaca el hecho de que los cationes siguieron dos dinámicas principales, por un lado el porcentaje de saturación individual de  $\text{Ca}^{++}$ , el catión más abundante en esta investigación, disminuyó entre 2 y 10 puntos porcentuales respecto a los niveles iniciales.

Mientras que los cationes de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{++}$  registraron aumentos importantes, principalmente en los tratamientos con fertilizantes orgánicos y de forma variable según sus características intrínsecas. Este fenómeno es relevante ya que los tratamientos de fertilización orgánica permitieron la ganancia de iones potencialmente intercambiables disminuyendo la predominancia del  $\text{Ca}^{++}$  a pesar de contar con un suelo fuertemente alcalino.

La dinámica de retención y absorción de los iones está determinada en parte por la fuerza de atracción entre éstas y la fracción coloidal del suelo; arcillas o materia orgánica según sea el caso. La fuerza de absorción de un ión depende de su radio iónico, de su carga y de su grado de hidratación. Por lo tanto para cada ion se ha encontrado una energía de retención catiónica llamada serie liotrópica, que para los iones cuantificados se presenta de la siguiente manera:  $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$  (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990; Navarro y Navarro, 2003).

La dinámica de intercambio entre los iones retenidos en el complejo adsorbente y los iones de la disolución del suelo no es estático sino cinético, ya que el intercambio entre los iones adsorbidos y los iones en



disolución es continuo sin alcanzar nunca un desplazamiento total de un catión ni la saturación total con otro (Madrid, 1977).

a) Sodio ( $\text{Na}^+$ )

Se observó un aumento en el porcentaje de  $\text{Na}^+$  en todos los tratamientos. El porcentaje inicial fue de 0.38%. La mayor ganancia de este ion se registró en los tratamientos con composta en ambas variedades (2.96% y 1.67% para la variedad criolla y el cultivar tampiqueño 74, respectivamente).

Los tratamientos con fertilizante químico y el control, de la variedad criolla, presentaron valores de 1.73% y 1.47%; mientras que para el tratamiento con fermentado de estiércol la metodología empleada no logró registrar valores debido a una saturación. Para el cultivar tampiqueño 74, el tratamiento con fertilizantes químico y fermentado presentaron valores similares: 1.28% y 1.20% respectivamente; mientras que el control registró el menor aumento con el 0.75% (figura 10).

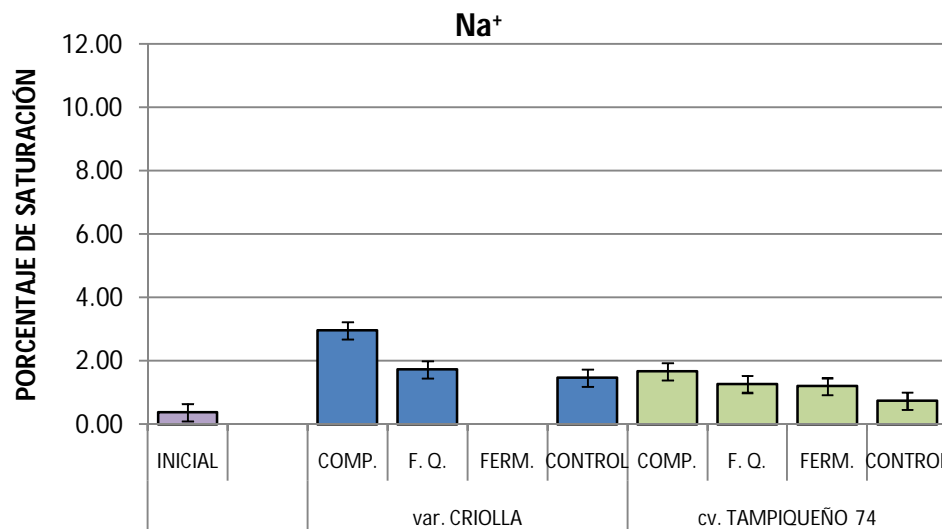


Figura 10.- Porcentaje de saturación de sodio en una muestra de suelo inicial y en los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*)

En ambas variedades se observa que el tratamiento con composta es el que presenta mayores concentraciones de  $\text{Na}^+$  intercambiable, dicho fenómeno corresponde al efecto coloidal que la materia orgánica ejerce sobre este ion (Navarro y Navarro, 2003).

Con la aplicación de composta y estiércol bovino, López-Martínez *et al.*(2001), determina que los niveles de  $\text{Na}^+$  no aumentan significativamente, aun sin importar las dosis aplicadas de ambos abonos.

Basados en los resultados obtenidos de las propiedades físico-químicas del agua empleada para el riego, donde la concentración de sodio ( $189.5 \text{ mg/L}^{-1}$ ) fue bastante elevada; entonces se esperaría que la concentración de  $\text{Na}^+$  intercambiable fuera elevada respecto a los demás iones. Sin embargo, el excedente de sodio aportado por el agua fue lixiviado debido a su baja energía de fijación causando el incremento del pH en suelo al hidrolizarse el complejo sódico y el carbonato sódico y aumentar la concentración de  $\text{OH}^-$ , a la par de que la materia orgánica es dispersada (Navarro y Navarro, 2003).

#### b) Potasio

En la misma dinámica, el  $\text{K}^+$  presenta aumentos significativos principalmente en los tratamientos con abonos orgánicos. A partir de la muestra de suelo inicial, que registra un 4.48%, se logró duplicar la concentración en el suelo destinado para la variedad criolla hasta en un 10.47% y 10.40% para el tratamiento con composta y fermentado de estiércol, respectivamente; los tratamientos con fertilizante químico y control alcanzaron porcentajes entre 5.14% y 5.70%.

El suelo del cultivar tampiqueño 74, siguió las misma tendencia, la composta y fermentado de estiércol registraron porcentajes

de 9.10% y 10.58%, respectivamente; mientras que el tratamiento con fertilizante químico llegó a concentraciones de 5.65% y el control con 4.75% (figura 11).

Aunque el  $K^+$  es un ión con baja energía de retención, su concentración aumentó en suelo debido a la fuerte absorción con mucho minerales laminares y a menudo el intercambio entre la solución del suelo y estos minerales suele ser lenta. El humus generado a partir de materia orgánica contenido en los abonos orgánicos posee una gran capacidad para retener el  $K^+$  en forma intercambiable, en cambio no presenta la capacidad para fijarlo como no intercambiable (Bohn, 1993; Navarro y Navarro, 2003).

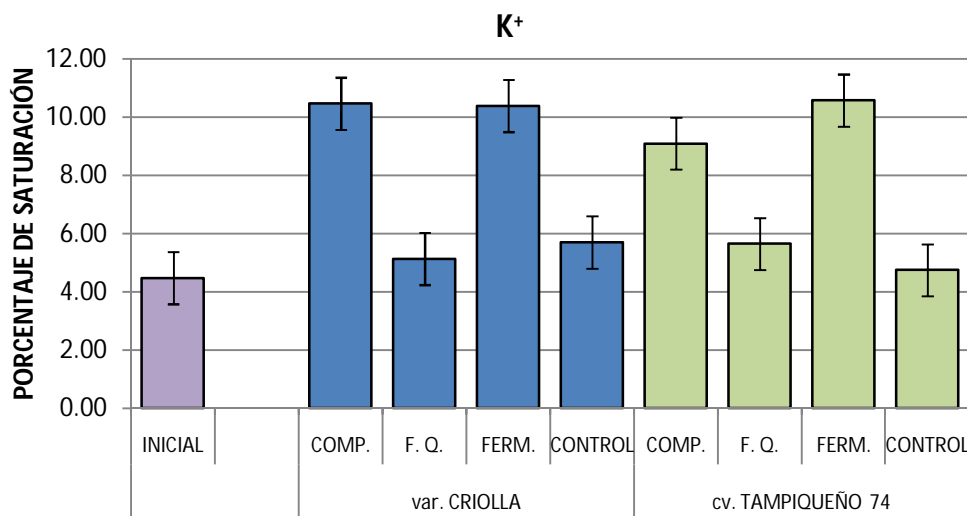


Figura 11.- Porcentaje de saturación de potasio en una muestra de suelo inicial y en los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*)

La cantidad de  $K^+$  disponible en la solución de suelo depende de la capacidad de su extracción; en este sentido, el tetrafenilborato de sodio

( $\text{NaB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ ), es un fuerte extractor de  $\text{K}^+$  formando un ion complejo, además el  $\text{Na}^+$  ayuda a separar las capas del mineral (Bohn, 1993).

Cuanto mayor sea la saturación de  $\text{Ca}^{++}$  en el suelo, mayor será la absorción al coloide del  $\text{K}^+$ . Si ello se combina con un aumento del pH, también se favorece su liberación de entre las arcillas, ya que el  $\text{Ca}^{++}$  tiene un mayor volumen que el  $\text{K}^+$  (Navarro y Navarro, 2003).

En condiciones favorables, la planta absorbe cantidades apreciables de  $\text{K}^+$ , aun cuando no se produzcan incrementos significativos en el rendimiento. En este caso, el alcanzar o no rendimientos aceptables basados en el incremento de  $\text{K}^+$  en el complejo de cambio, dependerá principalmente, más de índices de cosecha cualitativos, que cuantitativos (Henríquez *et al.*, 1990).

La pérdida de  $\text{K}^+$  por lixiviación por el lavado durante el riego es uno de los factores que afecta su disponibilidad, no obstante, en suelos arcillosos o de altos contenidos de materia orgánica las pérdidas suelen ser pequeñas. Este aspecto concuerda con nuestros resultados, pues las mayores concentraciones de  $\text{K}^+$  se registraron en los tratamientos con composta y fermentado de estiércol, los cuales involucran la adición de materia orgánica al suelo.

### c) Magnesio

Este ión presenta aumentos moderados en todos los tratamientos. La muestra de suelo inicial presentó una concentración del 4.20%, mientras que el mejor tratamiento indica un aumento de tan sólo 2.63 puntos porcentuales.

En la variedad criolla; el tratamiento con mayor porcentaje de Mg<sup>++</sup> fue la composta con 6.53%, seguido del fermentado de estiércol, fertilizante químico y el control con 6.34%, 6.34% y 5.59%, respectivamente. Para el cultivar tampiqueño 74, el mayor porcentaje lo registra el tratamiento con fertilizante químico con 6.83%, seguido de la composta y fermentado con 6.28% y por último el control con 5.61% (figura 12).

El uso fertilizantes químicos cada vez más puros y la menor utilización de abonos orgánicos, ha dado lugar a que el balance entre el magnesio natural y el aportado y extraído por los cultivos, o perdido por diversas causas, se haga cada vez más desfavorable. La falta de nitrógeno y la acumulación de fosforo se consideran como causas que pueden influir en gran medida a la deficiencia de magnesio debido a la interacción nitrógeno-potasio. (Navarro y Navarro, 2003).

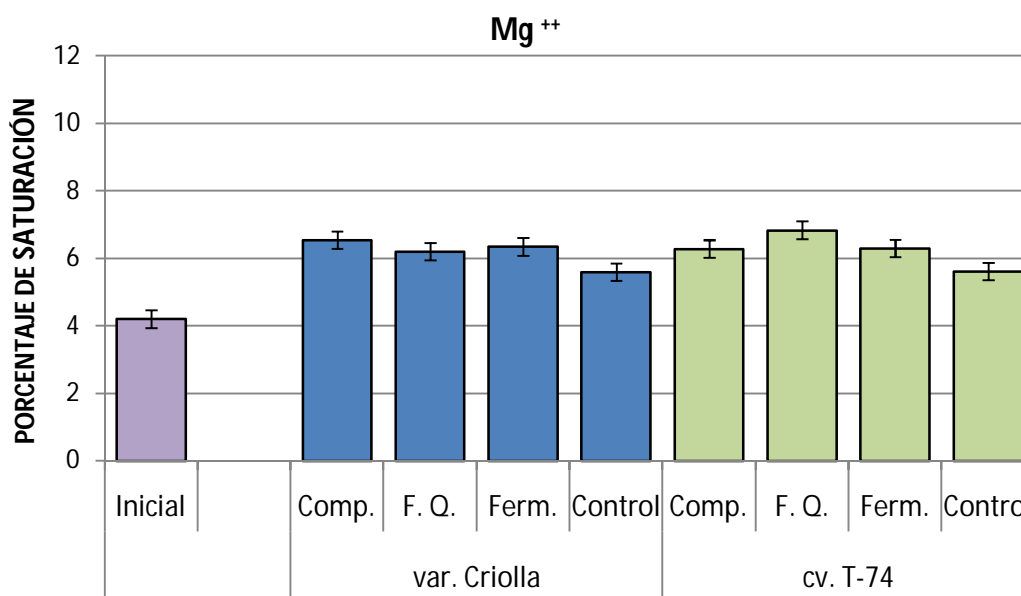


Figura 12.- Porcentaje de saturación de magnesio en una muestra de suelo inicial y en los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar tampiqueño 74 de chile serrano (*Capsicum annuum*)

Del mismo modo, suelos con altas concentraciones de  $\text{Ca}^{++}$  tienen la capacidad de liberar iones de  $\text{Na}^+$  del complejo de cambio, pero también genera un desbalance en la relación con otros cationes como el  $\text{Mg}^{++}$ , el cual puede ocupar un papel importante en la limitación de la productividad de los cultivos (Martínez *et al.*, 2001).

Las concentraciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  dificultan en gran medida la proporción de absorción de  $\text{Mg}^{++}$  debido a los antagonismos, ejemplo de ello es cuando se aplican grandes cantidades de fertilizantes potásicos o cuando se trata de suelos salinos. De la misma forma, el  $\text{Mg}^{++}$  con alta capacidad de intercambio se encuentra ligado a suelos con problemas de deficiencia, pH alto, similares a las condiciones de suelos en esta investigación (Martínez *et al.*, 2001; Navarro y Navarro, 2003).

Sin embargo, la disminución del  $\text{Ca}^{++}$  y el eventual aumento del  $\text{Mg}^{++}$  en el complejo intercambiable se ha registrado en otras investigaciones, donde existe un efecto depresor en la fertilización con magnesio a diferentes dosis. Por su parte el  $\text{K}^+$  tendió a mantenerse constante frente a una concentración diez veces mayor que el magnesio, por lo cual parece poco probable que la fertilización magnésica afecte significativamente la presencia de  $\text{K}^+$  (Balocchi *et al.*, 2001).

#### d) Calcio

El  $\text{Ca}^{++}$  fue el único ión que presentó un descenso en sus porcentajes de concentración, llegando a exhibir una pérdida de hasta diez puntos porcentuales. Los niveles de la muestra inicial presentaron un 90% de saturación de este ión.

Los mayores descensos se presentaron en los tratamientos con composta en la variedad criolla (80%) y 82.95% para cultivar tampiqueño

74. Los tratamientos con fermentado de estiércol presentaron porcentajes de saturación de entre 81 y 83%, mientras que los suelos sometidos a fertilizante químico presentaron valores cercanos al 86% en ambas variedades.

La menor pérdida de  $\text{Ca}^{++}$  se presentó en los tratamientos control: 87.23% para la variedad criolla y 88.90% para el cultivar tampiqueño 74 (figura 13).

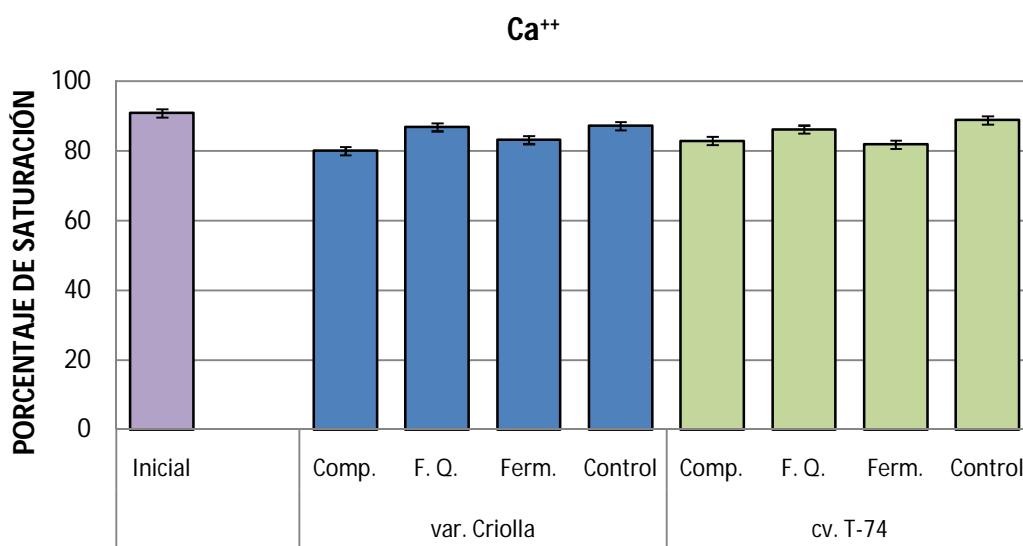


Figura 13.- Porcentaje de saturación de calcio en una muestra de suelo inicial y en los cuatro tratamientos de fertilización: composta (COMP.), fertilizante químico (F.Q), fermentado (FERM) y el tratamiento control; tanto para la variedad criolla como para el cultivar tampiqueño 74 de Chile serrano (*Capsicum annuum*)

El hecho de registrar una disminución de  $\text{Ca}^{++}$  no necesariamente refleja una pérdida, sino que, en este caso, es conveniente considerar un reemplazo de iones, en el cual el  $\text{Ca}^{++}$  por acción de la materia orgánica y dinámicas de microorganismo fue desplazado del complejo de cambio por otros iones para lograr un equilibrio entre estos.

Dicha disminución puede explicarse debido a que el  $\text{Ca}^{++}$  fue utilizado para estimular el metabolismo microbiano del suelo y con ello

una mayor rapidez en la mineralización de la materia orgánica. La mayoría de las bacterias responsables de la conversión de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  requieren gran cantidad de  $\text{Ca}^{++}$  activo, acelerando así al proceso de nitrificación (Navarro y Navarro, 2003). El aumento en la absorción de amonio debido al  $\text{Ca}^{++}$ , estimula la fotosíntesis ayudando a absorber mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  lo que aumenta los componentes orgánicos y la biomasa en la planta (Feagley y Fenn, 2010).

Otros estudios han demostrado la importancia del  $\text{Ca}^{++}$  en los patrones de reserva y en los rendimientos del cultivo. Por ejemplo, se demostró que hojas de la planta de arroz bajaron progresivamente su peso mientras el grano acumuló mayor biomasa, causando que el 15% de la producción de energía se transfiriera al llenado de la semilla. Efecto similares del  $\text{Ca}^{++}$  también fueron encontrados en betabel, cebolla, avena y cebada (Feagley y Fenn, 2010).

Las altas concentraciones de  $\text{Ca}^{++}$  respecto a los demás cationes representa una ventaja desde el punto de vista agronómico, pues ello refleja concentraciones bajas de otros cationes intercambiables que podrían ocasionar toxicidad principalmente  $\text{Al}^{+++}$  y  $\text{Na}^+$  en el caso de los suelos salinos (Bohn, 1993) y suele ser antagonista de otros elementos minerales (K, Mn, Fe, B, Zn) o dificultar la asimilación y fitotoxicidad de algunos otros (Mn, B, Zn) (Hernandez *et al.*, 2003).



## CONCLUSIONES

- Respecto al rendimiento, la variedad criolla presentó mayores índices de cosecha y mayor número de frutos por planta respecto al cv. Tampiqueño 74, mientras que este último obtuvo plantas con mayor altura. No obstante en ambos aspectos y hacia dentro de cada variedad los tratamientos de fertilización no mostraron diferencias significativas entre sí.
- Los niveles de clorofila siempre fueron mayores en plantas de la variedad criolla, a través del tiempo éstas mostraron fluctuaciones muy marcadas que se relacionaron a eventos fenológicos (floración y fructificación). Por su parte el cv. Tampiqueño 74 mostró niveles de clorofila inferiores y un comportamiento más errático después de las primeras semanas de evaluación.
- En la variedad criolla se encontró una mayor concentración de capsaicina en frutos de plantas sometidas a fertilizante químico, mientras que la composta y el fermentado mostraron resultados variables. Para el cv. Tampiqueño 74, las absorbancias de los tratamientos con fermentado de estiércol y el fertilizante químico no mostraron diferencias significativas, mientras que la composta y el control obtuvieron resultados similares.
- El comportamiento de las variedades de chile serrano dependió tanto de factores ambientales y fisiológicos asociados a los tipos de fertilización, como a características genotípicas derivadas de su selección y domesticación.
- Tanto la composta como el fermentado de estiércol igualaron los resultados del fertilizante químico en cuanto a rendimiento y contenido

de clorofila. Lo anterior indica la efectividad de los abonos orgánicos para ser integrados a sistemas alternativos de producción.

- La materia orgánica adicionada a través de la composta y el fermentado de estiércol intervino para clasificar al suelo como de alta a media fertilidad, según las normas oficiales; al tiempo que ésta suplió el efecto coloidal ante la ausencia de arcillas.
- La capacidad de intercambio catiónico aumentó en todos los tratamientos y en ambas variedades. El complejo de bases intercambiables fue modificado por los abonos orgánicos (composta y fermentado de estiércol), logrando que los altos porcentajes de calcio descendieran para permitir el aumento de sodio, magnesio y principalmente potasio; la dinámica de los cationes reflejó el equilibrio dinámico del complejo de intercambio favorecido por la presencia de materia orgánica.
- Se propone realizar más investigaciones para comparar los efectos de abonos orgánicos y fertilizantes químicos a corto y mediano plazo sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, así como para determinar el efecto de los procesos de elaboración y materias primas sobre la composición química de las compostas y fermentados de estiércol.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Acevedo, I. C. y R. Pire. 2004. Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (*Carica papaya* L.). *Interciencia*, 29(5):274-279.
- Altamirano, Q. M. T. y A. Aparicio-Rentería. 2002. Efecto de la lombricomposta como sustrato alternativo en la germinación y crecimiento inicial de *Pinus oaxacana* Mirov. y *Pinus rudis* End. *Foresta Veracruzana*, 4(1): 35-40.
- Añez, B y W. Espinoza. 2003. Respuesta de la lechuga y el repollo a la fertilización química y orgánica. *Revista Forestal Venezolana*, 47(2):73-82.
- Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1994. *Water quality for agriculture*. FAO. Roma, Italia. (En línea: [www.fao.org](http://www.fao.org))
- Balocchi, O., D. Pinochet, F. Wittwer, P. Contreras, R. Echeverría, F. Guzmán. 2001. Rendimiento y composición mineral de una pradera permanente fertilizada con magnesio. *Pesquisa agropecuaria brasileira* 36: 1909-1317.
- Ballesteros, J. y A. Rubio. 1999. Efecto de sustratos en el desarrollo del chile picante (*Capsicum frutescens*) bajo invernadero en el trópico húmedo. Tesis de Licenciatura. Universidad Earth.
- Baver, L. D., W. H. Gardner y W. R. Gardner. 1991. *Física de suelos*. UTEHA. 530 pps.
- Brady, C. N. 1974. *The nature and properties of soils*. 8ª edición. Macmillan Publishing Co., Inc. NY, USA.
- Bohn, H. L., B. McNeal y G. A. O'Connor. 1993. *Química del suelo*. Editorial Limusa. México, D.F. 370 pps.
- Boul, S. W., F. D. Hole y R. J. McCracken. 2004. *Génesis y clasificación de suelo*. Ed. Trillas. México, D.F. 417 pps.
- Bulluck III, L. R., M. Brosius, G. K. Evanylo y J. B. Ristaino. 2002. Organic and syntetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecolgy*, 19:147-160.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Memoria del curso sobre interpretación de análisis de suelos, agua agrícolas, plantas y EPC. (Versión preliminar)
- Castillo, A. E., S. H. Quarín y M. C. Iglesias. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agric. Tec.* 60(1). En línea ([www.scielo](http://www.scielo)).
- Castro, A, C. Henríquez y F. Bertsch. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 33(1):31-43.

- Calixto, R. A. 2009. El cultivo de chile serrano en González, Tamaulipas. Técnicas de aplicación de plaguicidas. Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. (En línea)
- Cázares-Sánchez, E., M. T. Rodríguez-González, R. Soto-Hernández, J. L. Chávez-Servia, F. Castillo-González y P. Ramírez-Vallejo. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annum* L.) del centro oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39:627-238
- Cepeda, D. J. 2002. Química de suelos. Ed. Trillas-UAAAN. México, D. F. 154 pps.
- Córdoba, R. A. 2003. El cultivo de chile serrano en al zona media de San Luís Potosí. Folleto para productores N° 37. SAGARPA/INIFAP. San Luís Potosí, México.
- Corrales, O., E. Vargas y M. A. Moreira. 1990. Efecto de la materia orgánica en el combate de la pudrición basal de chile dulce (*Capsicum annum*) causada por *Phytophthora capsici*. *Agronomía Costarricense*, 14(1):9-14.
- El-Hage, S. N. y C. Hartman. 2003. Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria. Colección FAO: Ambiente y recursos naturales N°4. FAO, Roma, Italia. 280 pps. (En línea)
- Escalante, E. J. A. y J. Kohashi-Shibata. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Mpio. de Texcoco, México. 84 pps.
- Espinosa, J. 1996. Relación entre la fertilización mineral, la materia orgánica y los microorganismos en el suelo. X Congreso Nacional Agronómico Nacional y de Recursos Naturales. San José de Costa Rica del 8 al 12 de julio del 1996. En línea ([http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_x/index.html](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_x/index.html))
- Espinoza, Y., Z. Lozano y L. Velásquez. 2007. Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de materia orgánica en el suelo. *Interciencia*, 32 (8):554-559.
- J. De Grazia, P.A. Tittonell, and A. Chiesa. 2006. The effect of substrates with compost and nitrogenous fertilization on photosynthesis, precocity and pepper (*Capsicum annum*) yield. *Cien. Inv. Agr.* 34(3): 195-204.
- Diario Oficial de la Federación. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Feagley, S. E. y L. B. Fenn. 2010. El uso de calcio soluble para estimular el crecimiento vegetal. Servicio de extensión agrícola de Texas. En línea: [agpublications.tamu.edu](http://agpublications.tamu.edu) (Fecha de consulta: noviembre 2010).
- Félix-Herrán, J. A., R. R. Sañudo, G. E. Rojo, R. Martínez, y V. Olalde. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai*, 4 (1): 57-67.

- Fisher, P. R. y W. R. Argo. 2010. Manejo del pH en medio sin suelo. En línea: <http://extension.unh.edu/agric/AGGHFL/pHSpan.pdf> (Fecha de consulta: noviembre 2010).
- FitzPatrick, E. A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Ed. Trillas. México, D. F. 287 pps.
- Fortis-Hernández, M., J. A. Leos-Rodriguez, P. Preciado-Rangel, I. Orona-Castillo, J. A. García-Salazar, J. L. García-Hernández y J. A. Orozco-Vidal. 2007. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero por riego por goteo. *Terra Latioamericana*, 27(4):329-336.
- Franco, C., M. Poitrenaud y S. Hout. 2005. Stabilization of organic matter during composting influence of process and feedstoks. *Compost science and utilization*, 13(1):72-83.
- Galantini, J. A y L. Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en suelos de la Argentina. *Agriocientia*, XXV(1): 41-55.
- Galindo, B. A. y C. S. Jerónimo. 2005. Estudio sobre los abonos líquidos fermentados y su efectividad en la producción agrícola. Tesis de Licenciatura, Universidad Earth.
- Galindo, A., C. Jerónimo, E. Spaans y M. Weil. 2007. Los abonos líquidos fermentados y su efectividad en plántulas de papaya (*Carica papaya* L.). *Terra Tropical*, 3(1):91-96.
- García, R. S. 2009. Alternativas orgánicas para el control de la cenicilla polvorienta. Centro de Investigación en alimentación y desarrollo A.C. En línea: <http://www.ciad.edu.mx> (Fecha de consulta: junio 2009).
- Gliessman, S. R. 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sustentable. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 359 pps.
- Gómez, A. 1998. Agricultura ecológica y conservación de la biodiversidad. Segundo congreso nacional sobre areas silvestres protegidas. [www.ceuta.org.uy](http://www.ceuta.org.uy) (Fecha de consulta: agosto 2009)
- González, A. A. y R. Nigh. 2005. La certificación y la participación de los pequeños propietarios en el mercado global. *Gaceta Ecológica*, 77:19-33.
- González, M. P. 2005. Los dilemas de la producción agrícola en el mundo ¿Es la producción orgánica un modelo viable?. Tesis Licenciatura. Relaciones Internacionales. Departamento de Relaciones Internacionales e Historia, Escuela de Ciencias Sociales, Universidad de las Américas Puebla.
- Guggenberger, G. 2005. Humification and Mineralization in Soils. *In*: F. Buscot y A. Varma. *Soil Biology*, Vol. 3 *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*. Springer-Verlag. Berlin Alemania.
- Guerrero, M., S. Mendoza, J. Gamboa, J. González, J. I. Sáenz, B. A. Rivas. 2006. Aplicación continúa de composta en el rendimiento y nutrición del chile jalapeño. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales,

- Universidad Autónoma de Chihuahua. En línea:. (Fecha de consulta: enero 2010).
- Guzmán, M.S., Torres, I., González, M., Mora, M.A., Herrera, M.G. y Hernández, D. 2004. Capsaicinoides en variedades de chile con diferente capacidad pungente. First World Pepper Convention
- Henríquez, C., F. Bertsch y C. Cabalceta. 1990. Efecto de la variación del potasio disponible en el suelo sobre la absorción de Ca, Mg, K y sus interacciones foliares. *Agronomía Costarricense* 14(2):223-230.
- Hernández-Herrera, J. M., E. Olivares-Sáenz, I. Villeneuve-Fierro, H. Rodríguez-Fuentes, R. Vázquez-Alvarado y J. F. Pissani-Zuñiga. 2005. Aplicación de lodos residuales, estiércol de bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.). *Rev. Int. Contam. Ambient*, 21(1):31-36.
- INPI International Plant Nutrition Institute. 2010. Soil pH and the availability of plants nutrients. En línea: [www.ipni.net](http://www.ipni.net) (fecha de consulta: febrero 2011).
- Isaza-Arias, G.C., S.H. Querín y M.C. Iglesias. 2009. Comparación de técnicas de aireación en la degradación de materia orgánica. *Universidad y Ciencia*, 25(3):233-243.
- Khromov, N. V y T.V. Zhidekhina, 2007. Biological aspects of crop yield formation in serviceberry. *Russian Agricultural Sciences*, 33(1):22-23.
- Kolmas, E y D. Vásquez. 1999. Manual de agricultura ecológica. Una aplicación a los principios básicos y su aplicación. Grupo de agricultura orgánica de ACTAF. La Habana, Cuba. 163 pps (En línea: [www.agriculturasostenible.info/images/Manual%20AE.pdf](http://www.agriculturasostenible.info/images/Manual%20AE.pdf))
- Kramer, P. J. 1989. Relaciones hídricas del suelo y plantas. Harla. México, D.F. 538 pps.
- La Manna, L., C. Budaba, V. Alonso, M. Davel, C. Puentes y J. Irisarri. 2007. Comparación de métodos analíticos para determinar materia orgánica en suelos de la región Andino-Patagónica: efectos de la vegetación y el tipo de suelo. *Cienc. Suelo*, 25(2): 3-17
- Lavelle, P. y A. V. Spain. 2001. Soil ecology. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 654 pps.
- Leifield, J., S. Siebert e I. Kögen-Knabner. 2002. Changes in the chemical composition of soil organic matter after application of compost. *European Journal of Soil Science*,. 53(2):299-309.
- León- Nájera, J. A., R. Gómez , S. Hernández, J. D. Álvarez y D. J. Palma. 2006. Mineralización en suelos con incorporación de residuos orgánicos. *Universidad y Ciencia*, 22(2):163-174.
- Long, S. P., S. L. Naidu and D. R. Ort. 2006. Can Improvement in Photosynthesis Increase Crop Yields? *Plant Cell and Environment* 29:315-330.

- López-Martínez., J. D., A. Díaz, E. Martínez, y R. Valdez. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *TERRA Latinoamericana*, 19(4):293-299.
- Lossino, B. N., O. S. Heredia, S. M. Sainato, L. Guiffre y G. Galindo. 2002. Impacto potencial del agua de riego con agua subterránea sobre los suelos en la cuenca del arroyo Pergamino, provincia de Buenos Aires. *Ecología Austral*, 12:53-63.
- Madrid, R., S. Navarro y A. Lax. 1977. Disorción de cationes en arcillas de tipo 2:1 por aplicación del método de cambio iónico continuo infinitesimal. *Edit.um* 35(1):180-193.
- Manjarrez-Martínez, M.J., R. Ferrera-Cerrato, y M.C. González-Chávez. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra*. 17:9-15.
- Marin, G. M. L. y C. Gómez. 2002. Análisis químico de suelo y aguas. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. 175 pps.
- Martínez, E. H., J. P. Fuentes, E. Acevedo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R. C. Suelo -Nutr. Veg.* 8(1):68-96.
- Martínez, R. S., P. Zalba, M. B. Villamil y M. Peinemann. 2001. Efecto de cationes sobre propiedades hidrofísicas de suelos con diferentes minerales de arcilla. *Ciencia del suelo* 19(2):85-91.
- Masgloiris, M. F., H. Rodríguez, R. Ramos y M. M. Rivera. 2005. Efectos del compost vegetal y humus de lombriz en la producción de capítulo florales de *Calendula officinalis* L. y *Matricaria recutita* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 10(1):4-14.
- Mazariegos, R. S y C. O. Colindres. 2002. Producción de chile picante (*Capsicum frutescens* L.) con y sin presencia de arvenses y bajo cinco concentraciones de abono líquido orgánico fermentado, en la Mercedes de Guácimo, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad Earth.
- Mejía, G. M. 2001a. Escuelas agrícolas alternativas. En: *Agricultura ecológica*. Ed. Panamericana Formas e Impresos. Bogotá Colombia. 346.
- Mejía, G. M. 2001b. Abonos Orgánicos. En: *Agricultura ecológica*. Ed. Panamericana Formas e Impresos. Bogotá Colombia. 346.
- Molano, A. 2005. Procesos de control para el montaje y operación de un sistema de compost tipo windrow, mediante el estimado de parámetros biológicos y biogénicos. *Umbal Científico (Fundación Universitaria Manuel Beltrán)*, 6: 5-10.
- Mueller-Seitz E., C. Hiepler and M. Petz. Chili pepper fruits: content and pattern of capsaicinoids in single fruits of different ages, *J. Agric. Food Chem.*,56: 12114–12121
- Muñoz, R. A, M. C. Ayusto y J. Labrador. 2005. Polinización de cultivos. Ed. Mundi-Prensa. México, D. F. 232 pps

- Naturland, 2000. Fundamentos de agricultura orgánica. Naturland e.V. Asociación para la agricultura orgánica - Agencia alemana para la cooperación técnica [www.naturland.de](http://www.naturland.de) (Fecha de consulta: marzo 2009)
- Najera, E. O. 2002. El café orgánico en México. Cuadernos de desarrollo rural N° 48:59-75.
- Navarro, B. S. y G. Navarro. 2003. Química agrícola, segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. México, D. F. 438 pps.
- Navarro, R. A. 2008. Manual para hacer composta aeróbica. CESTA, Amigos de la Tierra El Salvador. [www.cesta-foe.org/recursos/pdfs/composta.pdf](http://www.cesta-foe.org/recursos/pdfs/composta.pdf) (Fecha de consulta: 15 de diciembre del 2008).
- Nieto-Garibay, A., B. Murillo-Amador, E. Troyo-Dieguez, J. A. Larrinaga-Mayoral y J. L. García-Hernández. 2002. El uso de composta como alternativa para la producción sostenible de chile en zonas áridas. *Interciencia*, 27 (8): 417-421.
- OMS-FAO. 2007. COdex Alimentarius: Alimentos producidos orgánicamente, tercera edición. FAO, Roma, Italia. 62 pps. (En línea)
- Ortiz-Villanueva, B. y C. A. Ortiz. 1990. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. México, D. F. 394 pps.
- Pérez, A., C. Cespedes y P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas a la producción de cultivos de la República Dominicana. *R. C. Suelo. Nutr. Veg.* 8(4):10-29.
- Plante, A. F., R. T. Conat, C. E. Stewart, K. Paustian y J. Six. 2006. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:287-296 (2006).
- Queirós, F. 2009. Impactos de la revolución verde. COEDUCA. [www.ecomunidad.org.uy](http://www.ecomunidad.org.uy) (Fecha de consulta: agosto 2009).
- Ramos-Bello, R., L. J. Cajuste, D. Flores-Román y N. E. García-Calderón, 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia* 35:385-395.
- Reyes, J. I. 1996. Fundamentos teóricos-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo. Parte 1. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. 257 pps.
- Richards, L. A. (Ed). 1974. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Editorial Limusa. México, D.F. 172 pps.
- Rodríguez, M. A. y A. Córdoba. 2006. Manual de compostaje municipal: Tratamiento de residuos sólidos urbanos. SEMARNAT/INE/GTZ. México, D. F. 104 pps. En línea: [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx) (Fecha de consulta: Diciembre del 2008).



- Romero-Lima, M., A. Trinidad-Santos, R. García-Espinosa y R. Ferrero-Cerrato. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia*, 34: 261-269.
- Ruiz, F. J. F. 2009. Ingeniería del compostaje. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 237 pps.
- Salazar-Sosa, E., H. I. Trejo-Escarreño, C. Vázquez-Vázquez y J. D. López-Martínez. 2007. Producción de maíz bajo riego con cintilla y aplicación de estiércol bovino. *PHYTON*, 76:169-185.
- Salisbury, F. B. y C. W. Roos. 1994. Fisiología Vegetal (versión en español). Grupo editorial Iberoamerica. México, D. F. 759 pps.
- Sauri, R. M. y E. R. Castillo. 2002. Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes. *Ingeniería*, 6(3):55-60.
- Sauri, M. R., H. A. Nájera, J. G. Ramírez y G. M. Mejía. 2002. Aplicación de composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación. *Ingeniería*, 6(1):13-20.
- Shaxson, F. y R. Barber. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. Boletín de suelos de la FAO N° 79. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma
- Silva-García, J. T., S. Ochoa-Estrada, D. Cristóbal-Acevedo y F. Estrada Godoy. 2006. Calidad química del agua subterránea de la ciénega de Chapala como factor de la degradación del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24(4): 503-513.
- Solaya, D. J. 2010. Elaboración artesanal de dos abonos líquidos fermentados y su efectividad en la producción de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinese* Jacq.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 101 pps.
- Soto, G. y R. Muschler. 2001. Génesis, fundamentos y situación actual de la agricultura orgánica. *Manejo integrado de plagas*, 62:101-105.
- Sparling, G. P., D. Wheeler, E. T. Vesely y L. A. Schipper. 2006. What is the organic matter worth?. *J. Environ. Qual.* 35:548-557
- Tarbutck, E. J., F. K. Lutgens y D. Tasa. 2005. Ciencias de la tierra, octava edición. Pearson Prentice Hall. Madrid, España. 685 pps.
- Terralia. 2010. Ediciones Agrotecnicas S.L. [www.terralia.com](http://www.terralia.com) (Fecha de consulta: 12 de septiembre del 2010).
- Tovar, L. y M. A. Gómez. 2004. La agricultura orgánica en México y en el mundo. *Biodiversitas* N° 55: 13-15.
- Trinidad, S. A. 2009. Abonos orgánicos. SAGARPA-Colegio de Postgraduados. [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx) (Fecha de consulta: marzo del 2009).
- Urbano, T. P. 1999. Impacto producido por sustancias disueltas en el agua de riego. *Vida rural*, 81:33-38.

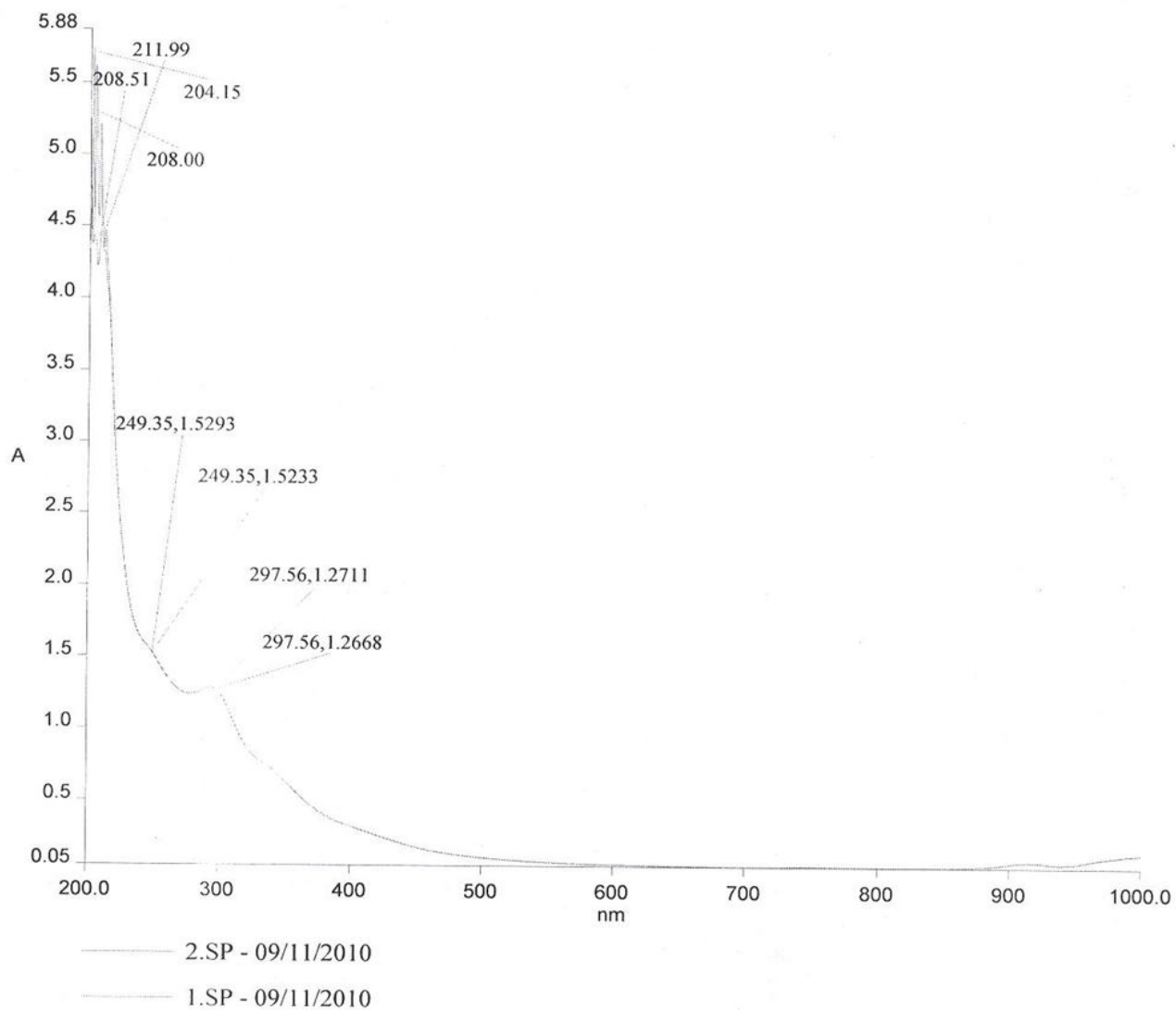
- Vázquez-Flota, F., Miranda-Ham, M., Monforte-González, M., Gutiérrez-Carbajal, G., Velázquez-García, C. y Nieto-Pelayo Y.. 2007. Biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Fitotecnia mexicana* 30(4): 353-360.
- Viloria, A. Z., L. Arteaga de R. y R. Pire. 1998. Desarrollo radical de pimentón (*Capsicum annum* L) bajo 3 distancias de siembra y su relación con el peso de los frutos. *Bioagro*, 10(3):80-83.
- Viloria A. Z., L. Arteaga de R. y L.T. Díaz T. 2001. Crecimiento del pimentón (*Capsicum annum* L.) en respuesta a diferentes niveles de N P K y densidad de siembra. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 43:24-29.
- Villalón, M.L., G. Sánchez-Ramos, A. Cordoba, H. Villalón, E. Jurado y T. Medina. 2009. Tipo de suelo y fertilidad en poblaciones naturales de "Chile Piquín" *Capsicum annum* var. *Glabriusculum* (Dual) Heiser & Pickersgill en la sierra madre oriental de Tamaulipas, México. *Memorias de la sexta convención mundial del chile*, Octubre del 2009.
- Windman, A. F., F. Herrera y D. D. Cabañas. 2005. El uso de composta proveniente de residuos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. *Estudios preliminares. Ingeniería*, 9(3):31-38.
- Willer, H., Yussefi-Menzler A. y N. Sorensen (Eds). 2008. *The world of organic agriculture: statistics and emerging trends 2008*. International federation of organic agriculture movements (IFOAM), Germany and research institute of organic agriculture (FiBL) Frick, Swintzerland.
- Zavaleta-Beckler, P., L. J. Olivares-Orozco, D. Montiel-Solero, A. Chimal-Hernandez y L. Scheinvar. 2001. Fertilización orgánica en Xoconostle (*Opuntia joconostle* y *O. matudae*). *Agrociencia*, 35(6):609-614.
- Zetina-Lezama, R., A. Trinidad-Santos, L. Oropeza-Mota, V. Volke-Haller y L.L. Landois-Palencia. 2005. Relación bases intercambiables-rendimiento del maíz en un cambisol districo con labranza, encalado y abono verde. *Terra Latinoamericana*, 23(3):389-397.
- Zewdie, Y. y P. W. Bosland. 2000. Evaluation of genotype, environment, and genotype by environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annum* L. *Euphytica* 111: 185-190

## ANEXO 1

Barrido de espectrofotometría de UV de 200 a 1000 nm para determinar el mayor pico de absorbanza de la capsaicina.

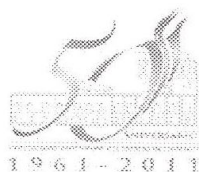
Date: 09/11/2010

Time: 11:15:42 a.m



## ANEXO 2

Análisis físico-químico para determinar la calidad del agua de riego empleada durante la investigación.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Área Académica de Química

**Dra. Maritza López Herrera:**

Pachuca Hgo.

Presente

Por medio de la presente envío a Ud. los resultados de un análisis físico-químico de 1 muestra de agua potable

Descripción de la muestra.

Origen: agua potable

Lugar: toma del invernadero.

Fecha: 3 de Marzo del 2011

Realizados: por el usuario

No.	Parámetro	MI	Unidades	NOM-127-SSA1-94
1.	pH	7.17	u. de pH	6.5-8.5
2.	Color	5.0	cobalto-platino	20.00
3.	Turbiedad	1.4	UTN	5.00
4.	Sólidos disueltos tot.	729.0	mg/l	1000.00
5.	Cloruros	296.3	mg/l	250.00
6.	Nitratos	0.1	mg/l	10.00
7.	Nitritos	0.0	mg/l	0.05
8.	Dureza total	80.27	mg/l	500.0
9.	Sulfatos	24.0	mg/l	400.00
10.	Nitrógeno amoniacal	0.1	mg/l	0.50
11.	Aluminio	0.0	mg/l	0.20
12.	Arsénico	0.0	mg/l	0.05
13.	Bario	0.0	mg/l	0.70
14.	Cadmio	0.0	mg/l	0.005
15.	Cianuro	0.0	mg/l	0.07
16.	Cobre	0.3	mg/l	2.00
17.	Cromo	0.0	mg/l	0.05
18.	Fierro	0.12	mg/l	0.30
19.	Manganeso	0.0	mg/l	0.15
20.	Plomo	0.0	mg/l	0.025
21.	Zinc	0.0	mg/l	5.00
22.	SAAM	0.0	mg/l	0.50
23.	Sodio	189.5	mg/l	200.0
24.	Fenoles	0.0	mg/l	0.001
25.	Mercurio	0.0	mg/l	0.001

sin mas por el momento quedo de Ud.

ATENTAMENTE  
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"  
Mineral de la Reforma - Hgo. a 9 de Marzo del 2011



IQI Raúl Castillo Téllez  
Responsable de servicios analíticos.

M. en C. Dora Luz Quintero Mogica  
Jefe del A.A.Q.

CENTRO DE INVESTIGACIONES  
QUÍMICAS

Ciudad Universitaria Carretera Pachuca – Tulancingo  
Km. 4.5. s/n Col. Carboneras C.P. 42184  
Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.  
Tel: (771)7172000 ext. 2216 Fax. 6502

