



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO  
DEPARTAMENTO DE SUELOS



MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE

CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMPOSTEO *IN SITU* PARA EL  
ESTABLECIMIENTO DE DURAZNO (*Prunus persica*) EN UN SISTEMA  
AGROFORESTAL DE HUERTO VIVERO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA  
EL DESARROLLO SOSTENIBLE



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

ING. NOE CASAS RUIZ

Chapingo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2012

CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMPOSTEO *IN SITU* PARA EL  
ESTABLECIMIENTO DE DURAZNO (*Prunus persica*) EN UN SISTEMA  
AGROFORESTAL DE HUERTO VIVERO

Tesis realizada por Noe Casas Ruiz bajo la dirección del Comité Asesor indicado,  
aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO  
SOSTENIBLE

DIRECTOR:



Dr. David Cristóbal Acevedo

ASESOR:



Dra. María Edna Álvarez Sánchez

ASESOR:



Dr. Ranferi Maldonado Torres

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme otorgado una beca para la realización de mis estudios de posgrado y a la Universidad Autónoma Chapingo.

A la Dra. María Edna Álvarez Sánchez y al Dr. David Cristóbal Acevedo responsables del laboratorio de Química de suelos y Física de suelos respectivamente, de la Universidad Autónoma Chapingo, por su apoyo y facilidades otorgadas para la realización de las determinaciones físicas y químicas de este trabajo.

Al Ing. José Inocencio Guerrero Salinas, por su amistad, por sus consejos y excelente asesoramiento otorgado en todas las etapas del presente trabajo de investigación.

A Mari, Abel y demás personas que apoyaron en la realización de los trabajos y toma de datos en campo.

## DATOS BIOGRAFICOS

Noe Casas Ruíz nació el 19 de septiembre de 1981 en Xilitla San Luis Potosí. Ingreso a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) en el 2000. En ésta misma institución curso y aprobó las materias contempladas en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería en Agroecología del 2003 al 2007. Presentó el examen profesional correspondiente siendo ***aprobado por unanimidad con felicitación*** y obtuvo el título de Ingeniero en Agroecología el 29 de febrero del 2008, el título de la tesis presentada fue “DINAMIZACIONES HOMEOPÁTICAS (*Dioscorea villosa, Calcarea carbonica, Arsenicum album, Sulphur*) COMO PROMOTORES DE LA GERMINACIÓN EN *Ferocactus histrix*”.

Ha participado en diversos cursos, entre los que destacan el curso de Agricultura orgánica en la Universidad de Ciego de Avila, Cuba en el 2005. El curso de Cafecultura Integral Sustentable en México en el Centro Regional de (CRUO) de la UACH en Huatusco, Veracruz en el 2007. El curso de Meliponicultura impartido por la Universidad Veracruzana durante el Congreso Internacional de Actualización en Apicultura en Boca del Río Veracruz en el 2007. El curso de Cromatografía del suelo en la UAM-Xochimilco en el 2011 y el curso de diseño Keyline para cosecha de agua y suelo impartido por consultores en Agricultura Sostenible (COAS) en el 2011.

Es autor del manual para la propagación de Cactáceas (2006) y coautor del Manual técnico de producción de jitomate libre de agroquímicos en 2008.

Ha trabajado como profesor del área de Sustentabilidad en la Universidad Veracruzana Intercultural sede Huasteca, Ixhuatlán de Madero, Veracruz en el 2008, como asesor técnico de mujeres Mazahuas productoras de jitomate libre de agroquímicos en San Felipe del Progreso, Estado de México en el 2008 y como Coordinador de la Agencia de desarrollo local Pro-Otomí en Acambay, Estado de México del 2009 al 2010.

Actualmente participa en asesoría y producción agroecológica de hortalizas y cunicultura orgánica en San Juan Teotihuacán, Estado de México y como asesor de diversos grupos para el diseño y ejecución de proyectos productivos en el sector rural.

CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMPOSTEO *IN SITU* PARA EL ESTABLECIMIENTO DE DURAZNO (*Prunus persica*) EN UN SISTEMA AGROFORESTAL DE HUERTO VIVERO

CHARACTERIZATION OF THE SYSTEM OF COMPOSTING *IN SITU* FOR THE ESTABLISHMENT OF PEACH (*Prunus persica*) IN AN AGROFORESTRY GARDEN SYSTEM

Casa Ruiz Noe, Cristóbal Acevedo David

*RESUMEN*

Se evaluaron los cambios ocurridos en un periodo de 6 meses, en algunas propiedades físicas y químicas del suelo bajo un sistema agroforestal Huerto Vivero localizado en el estado de Tlaxcala, México. Tres tratamientos fueron comparados: cepa-zanja con mezcla de materiales (T1): estiércol, paja, cisco, roca fosfórica, zeolita; cepa-zanja sin mezcla de materiales (T2) y cepas individuales (T3). En todos los tratamientos se establecieron árboles de durazno. La concentración promedio de las variables químicas MO, CE, N, P, Mg, Ca, K, S y Cu, fueron superiores en T1 y T2, respecto a T3. Las variables físicas Da, CC y PMP presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En el T1 y T2 se presentó un mayor contenido de humedad. La velocidad de infiltración e infiltración acumulada no presentó diferencias entre tratamientos. El mayor porcentaje de árboles vivos e incremento en altura fue para T3. Concluyendo que el sistema Huerto Vivero incrementó los niveles de MO, de algunos macro y micro nutrientes, y mejoró la retención de humedad.

**Palabras clave:** Huerto, Vivero, Materia orgánica, Humedad, Infiltración

*ABSTRACT*

The changes that took place over 6 months in some physical and chemical properties of the nursery-garden agroforestry system in a sandy loam soil on the state of Tlaxcala, Mexico were evaluated. Three treatments: strain-trench with a mixture of materials (T1), strain-trench free of mixture of materials (T2) and individual strain (T3) were compared. In all treatments were established peach trees. The average of N, P, Mg, Ca, K, S, Cu, MO and CE, in the chemical variables, was higher in T1 and T2. Some physical variables, Da, CC and PMP, had significant differences between treatments. Infiltration rate and accumulated infiltration did not differ between treatments. The highest percentage of living trees and the greatest increase of height were for T3. It is concluded that the nursery-garden system increased the levels of MO, some macro and micro nutrients and improved moisture retention.

**Key words:** Garden, nursery, organic matter, humidity, infiltration.

## ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVO GENERAL .....	3
2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	3
3 HIPÓTESIS .....	4
4 MARCO TEÓRICO .....	5
4.1 Sistemas agroforestales.....	5
4.2 Producción de durazno en Tlaxcala.....	5
4.3 Producción de durazno en San José Pilancón.....	6
4.4 Sistema convencional de plantación de durazno .....	6
4.5 Sistema Huerto Vivero .....	8
4.6 Importancia de la materia orgánica en el suelo .....	11
4.7 Compostaje .....	12
4.8 Mineralización .....	15
4.9 Zeolita.....	15
4. 10 Roca fosfórica.....	17
4. 11Carbón .....	18
4. 12 Estiércol.....	18
4. 13 Propiedades físicas del suelo .....	19
4.13. 1 Textura.....	19
4. 13. 2 Densidad real .....	20
4. 13. 3 Densidad aparente .....	20
4. 13. 4 Conductividad hidráulica.....	21
4. 13. 5 Capacidad de campo.....	21
4. 13. 6 Punto de marchitez permanente.....	22

4. 13. 7 Humedad aprovechable .....	22
4. 13. 8 Velocidad de infiltración .....	22
4. 13. 9 TDR y Contenido de humedad en el suelo .....	23
4. 14 Propiedades químicas del suelo .....	24
4. 14. 1 Nitrógeno .....	24
4. 14. 2 Fosforo .....	25
4. 14. 3 Potasio .....	26
4. 14. 4 Magnesio .....	27
4. 14. 5 Calcio .....	27
4. 14. 6 Azufre .....	28
4. 14. 7 Cobre .....	28
4. 14. 8 Hierro .....	29
4. 14. 9 Manganeso .....	29
4. 14. 10 pH .....	30
4. 14. 11 Conductividad eléctrica .....	30
5 MATERIALES Y MÉTODOS .....	32
5. 1 PRIMERA FASE .....	34
5.1.1 Ubicación de los tratamientos en la parcela .....	34
5. 1. 2 Preparación de los tratamientos .....	35
5. 1. 3 Toma de muestras de los materiales de relleno de la cepa-zanja .....	37
5. 2 SEGUNDA FASE .....	38
5. 2. 1 Plantación de árboles de durazno .....	38
5. 2. 2 Diseño experimental .....	39
5. 3 Determinaciones realizadas en campo .....	41

5. 3. 1 Contenido de humedad en el suelo .....	41
5. 3. 2 Velocidad de infiltración .....	42
5. 3. 3 Infiltración acumulada.....	42
5. 3. 4 Incremento de altura en árboles de durazno .....	43
5. 3. 5 Porcentaje de supervivencia de árboles de durazno .....	43
6 RESULTADO Y DISCUSIÓN .....	44
6. 1 Resultados de la caracterización física y química del suelo y los materiales usados para la preparación de tratamientos. ....	44
6. 1. 1 Caracterización física .....	44
6. 1. 2 Caracterización química .....	47
6. 2 Resultados del análisis de varianza para el efecto de los tratamientos sobre las variables químicas .....	48
6. 2. 1 Análisis por fecha de muestreo.....	48
6. 2. 2 Efecto del tiempo sobre las variables químicas.....	52
6. 3 Resultados del análisis de varianza para el efecto de los tratamientos sobre las variables físicas.....	54
6. 3. 1 Análisis por fecha de muestreo.....	54
6. 3. 2 Efecto del tiempo sobre las variables físicas .....	57
6. 4 Resultados del análisis de humedad .....	58
6. 5 Resultados de la velocidad de infiltración e infiltración acumulada .....	61
6. 6 Resultados del Incremento de altura y supervivencia de árboles .....	62
7 CONCLUSIONES.....	65
8 RECOMENDACIONES .....	66
9 LITERATURA CITADA .....	67

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Descripción de tratamientos. ....	34
<b>Cuadro 2.</b> Determinaciones físicas y químicas determinadas a cada uno de los materiales empleados en el llenado de las cepas-zanja. ....	37
<b>Cuadro 3.</b> Determinaciones físicas realizadas a cada tratamiento. ....	40
<b>Cuadro 4.</b> Determinaciones químicas realizadas a cada tratamiento ....	40
<b>Cuadro 5.</b> Características físicas de los suelos tomados de la zanja donde se ubicó cada tratamiento, en el año 2010. ....	44
<b>Cuadro 6.</b> Características químicas de los materiales usados en el relleno de la cepa-zanja. ....	47
<b>Cuadro 7.</b> Comparación de medias para las variables químicas determinadas en cada tratamiento ordenadas por fecha de muestreo ....	51
<b>Cuadro 8.</b> Comparación de medias de las determinaciones químicas evaluadas en cada tratamiento promedio de las fechas de muestreo. ....	52
<b>Cuadro 9.</b> Comparación de medias para las variables físicas en cada tratamiento ordenadas por fecha de muestreo ....	56
<b>Cuadro 10.</b> Comparación de medias de las determinaciones físicas evaluadas en cada tratamiento, promedio de las fechas de muestreo. ....	57
<b>Cuadro 11.</b> Comparación de medias para el contenido de humedad ( $\theta$ ) en los diferentes tratamientos. ....	58
<b>Cuadro 12.</b> Comparación de medias para la velocidad de infiltración e infiltración acumulada en los diferentes tratamientos. ....	61
<b>Cuadro 13.</b> Comparación de los valores medios de infiltración básica y conductividad hidráulica por tratamiento. ....	62
<b>Cuadro 14.</b> Comparación de medias para el incremento en altura y supervivencia de árboles de durazno. ....	63
<b>Cuadro 15.</b> Porcentaje de supervivencia de árboles de durazno por tratamiento. ....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diversos árboles frutales establecidos según el sistema Huerto Vivero, en la comunidad de San Diego, Texcoco, Estado de México.....	10
<b>Figura 2.</b> Vista aérea de la parcela donde se desarrolló la investigación. La Cañada, San José Pilancón, Tlaxcala. ....	33
<b>Figura 3.</b> Ubicación de los tratamientos en campo.....	35
<b>Figura 4.</b> Preparación de zanjas con base en el sistema Huerto Vivero .....	36
<b>Figura 5.</b> Plantación de durazno en cada uno de los tratamientos.....	38
<b>Figura 6.</b> Diseño experimental, tres tratamiento con tres bloques cada uno .....	39
<b>Figura 7.</b> Puntos de muestreo para determinar humedad con TDR en los tratamientos. ....	41
<b>Figura 8.</b> Curvas de retención de humedad del suelo en los sitios donde se ubicaron los tratamientos T1, T2 y T3. ....	46
<b>Figura 9.</b> Valores medios de humedad volumétrica por tratamiento en dos profundidades. ....	60

# 1 INTRODUCCIÓN

La Agroforestería es un sistema de uso de la tierra donde leñosas perenes interactúan en una misma área con cultivos y/o animales, estos elementos pueden estar asociados en forma simultánea o secuencial. Dentro de este sistema se dan interacciones ecológicas y económicas entre los componentes arbóreos y no arbóreos del sistema.

Existen diferentes puntos de vista para la clasificación de los sistemas agroforestales. La clasificación esta en función de la estructura en el espacio, su diseño a través del tiempo, la importancia relativa y la función de los diferentes componentes, los objetivos de la producción y las características sociales y económicas.

Los sistemas agroforestales pueden clasificarse en tres grandes grupos: agrosilviculturales combinación de árboles y cultivos, silvopastoriles combinación de árboles con ganadería, y agrosilvopastoril uso de árboles con cultivos y ganado. Dentro de los sistemas agrosilviculturales se encuentran los cultivos en callejones.

El sistema Huerto Vivero puede ser clasificado como una variante del cultivo en callejones. La principal característica del sistema Huerto Vivero es el acondicionamiento del suelo donde se sembraran las especies perenes, con la incorporación de materia orgánica; como estiércol, paja y esquilmos de cosechas principalmente. La incorporación de la materia orgánica en el sistema Huerto Vivero se realiza en capas como si se tratara de una composta, al interior de una zanja de poca profundidad.

La plantación de frutales bajo el sistema Huerto Vivero se ha empleado en varias localidades del Estado de México, Tlaxcala y Puebla, promovidas por el ingeniero José

Inocencio Guerrero, profesor de la Universidad Autónoma Chapingo. Este sistema de plantación se ha usado en especial para el cultivo de durazno, pero su aplicación no se limita a un solo cultivo.

El sistema Huerto Vivero, a pesar de haber sido implementado en diversas plantaciones de durazno en varias comunidades desde hace ya varios años, no ha sido caracterizado y evaluado. Con esta investigación se pretende tener elementos suficientes para determinar las características físicas y químicas del sustrato así como de supervivencia e incremento de altura de árboles del sistema Huerto Vivero como una mejor alternativa en la producción de durazno, en la comunidad San José Pilancón, municipio de Alzayanca, en el estado de Tlaxcala.

La producción de durazno en San José Pilancón municipio de Alzayanca se realiza bajo una mala distribución de agua, con una precipitación que oscila entre los 400 a 500 mm, concentrada en los meses de mayo a octubre. En la comunidad se acostumbra un sistema de plantación de durazno que ocupa todo el terreno de los productores limitando la diversificación de cultivos una vez que la plantación está en producción. En tales condiciones el uso del sistema de producción Huerto Vivero, es una opción para incrementar los niveles de materia orgánica en el suelo, mejorar las condiciones de éste, confiriéndole una mayor capacidad de retención de agua, de aumento en la fertilidad del suelo, lo que permitiría la diversificación de cultivos al tratarse de un sistema de plantación en callejones.

## **2 OBJETIVO GENERAL**

Determinar si existen diferencias sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo, en un sistema de plantación en callejones de Huerto Vivero, entre los tratamientos de composteo *in situ* con y sin mezclado, contrastado con una variante del sistema convencional de plantación de durazno.

### **2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Determinar si existe efecto de los tratamientos sobre:

1. La concentración de nutrientes (N, P, Mg, Ca, K, S, Cu, Fe, Mn), así como: pH, MO y CE.
2. Las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, densidad real, macro y micro porosidad, CC, PMP, humedad aprovechable y conductividad hidráulica).
3. El porcentaje de humedad retenida.
4. La velocidad de infiltración e infiltración acumulada.
5. El incremento en altura de árboles de durazno
6. Porcentaje de supervivencia de árboles de durazno a seis meses de establecidos en los tratamientos.

### **3 HIPÓTESIS**

El uso del sistema de producción Huerto Vivero, es una mejor alternativa a la producción convencional de durazno, ya que permite incrementar los niveles de materia orgánica en el suelo, y con ello, mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, condiciones que favorecen el establecimiento y el crecimiento de los árboles.

## **4 MARCO TEÓRICO**

### **4.1 Sistemas agroforestales**

Los sistemas agroforestales pueden definirse como aquellos sistemas en los que se hace uso de especies vegetales arbóreas combinadas con otras especies vegetales o animales (Pérez y Huerta, 2002). En donde los beneficios financieros que se obtendrán con el establecimiento de un sistema agroforestal son un incentivo para los productores, ya que los valores de la relación beneficio costo son mayores a uno; lo que indica que el sistema agroforestal será rentable a partir del quinto año de su establecimiento (Magdaleno *et al.*, 2005).

Los sistemas de producción agroforestales presentan grandes expectativas entre los agricultores, el desarrollo de este tipo de sistemas es una alternativa de uso de la tierra, por los beneficios agregados que generan estos sistemas en lo social, en los servicios ecológicos y en las funciones productivas (Gutierrez, 2003).

### **4.2 Producción de durazno en Tlaxcala**

En el estado de Tlaxcala se cultiva un superficie aproximada de 1,096 ha de durazno, concentrada en su mayoría en los municipios de Alzayanca, Huamantla y Amaxac de Guerrero (SAGARPA, 2008), principalmente como monocultivo, con implicaciones como lo son; mayor incidencia de plagas y enfermedades, ya que en las plantaciones no se fomentan las interacciones con otras especies vegetales y animales, ni se realizan labores que incrementen los niveles de materia orgánica en los suelos donde se establecen las plantaciones de durazno.

La producción de durazno en Alzayanca, estado de Tlaxcala se realiza en zonas de temporal, con suelos arenosos de baja fertilidad y alta infiltración, a una altura promedio de 2 600 metros, con presencia de lluvias en verano, incidencia de heladas, granizadas y sequías (Hernández *et al.*, 2001). Alzayanca tiene una superficie de 15, 907.41 ha, de las cuales el 71.15 % son de uso agrícola (11 529.64 ha), divididas en 94 % de temporal (10 724.63 ha) y solo el 6 % (594.63 ha) de riego (INEGI, 2007).

#### **4.3 Producción de durazno en San José Pilancón**

La producción de durazno en San José Pilancón, municipio de Alzayanca se realiza bajo malas condiciones de distribución de agua, con una precipitación que oscila entre los 400 a 500 mm, concentrada en los meses de mayo a octubre. En la comunidad se acostumbra un sistema de plantación de durazno que ocupa todo el terreno de los productores impidiendo la diversificación de cultivos una vez que la plantación esta en producción.

En San José Pilancón el cultivo de durazno tuvo gran importancia en el pasado, sin embargo los factores climáticos adversos, el monocultivo y el mal manejo de los paquetes tecnológicos causaron que la producción de durazno descendiera considerablemente, por lo que los productores se han visto obligados a buscar nuevas variedades de durazno o en el peor de los casos cambiar de cultivo.

#### **4.4 Sistema convencional de plantación de durazno**

Saldaña (1994), recomienda para el establecimiento de una plantación de durazno las siguientes labores de preparación del suelos: subsoleo, barbecho profundo y rastreo.

Estas actividades se hacen con la finalidad de aflojar el suelo uniformemente a buena profundidad, para facilitar el enraizamiento de las plantas. Se recomienda dejar libre el terreno de árboles de capulín, sabino, tepozán, así como de magueyes y jarillas u otros arbustos o malezas. El terreno debe dedicarse exclusivamente al cultivo de durazno.

La distancia de plantación entre arboles de durazno es muy variable, puede hacerse de acuerdo a la fertilidad y tamaño del terreno. Una buena distancia entre arboles de durazno es de 3 m entre árboles y 4 m entre hileras. Con una distribución de 3 x 4 se tienen 825 árboles por ha<sup>-1</sup>. Hay otras distancias como 3 x 3, 3 x 5, 4 x 4, 4 x 5 y 4 x 6. Si el terreno es pequeño (menor a media hectárea) la distancia puede ser de 3 x 3 m, en terrenos grandes debe preferirse una distancia de 4 x 6 m para permitir el paso del tractor para rastrear y fumigar (Saldaña, 1994).

Muñoz *et al.* (2000) recomienda una plantación de tipo intensivo para pequeñas parcelas, con hileras separadas a 5 m y distancia entre plantas de 2 m con una superficie de 10 m<sup>2</sup> por árbol. Con una densidad de plantación de 1,000 árboles por hectárea. La orientación de las hileras de árboles debe ser de norte a sur, donde la pendiente lo permita, para que tengan buena insolación los frutos y las hojas.

Las cepas para la plantación de los árboles se trazan alineadas según el tipo de plantación conveniente en el terreno. Las cepas deben rascarse con un mínimo de 15 días antes de la plantación, para que se ventilen y le dé el sol a la tierra. Se recomienda un tamaño grande de cepa, preferentemente de 80 cm de lado si es un cubo y 80 cm de diámetro si es circular. En ambos casos la profundidad será de 80 cm (Saldaña, 1994).

#### 4.5 Sistema Huerto Vivero

El sistema Huerto Vivero surge de la experiencia en el establecimiento y producción de huertos de durazno, en el municipio de Hueyotlipan, Tlaxcala. Donde la mayoría de las familias cuenta con animales, desechan un volumen importante de agua y generan esquilmos y materia orgánica que ya no puede ser aprovechada en la alimentación de ganado. Estos recursos pueden ser aprovechados para establecer huertos intensivos con variedades de durazno, chabacano y manzano de porte enano y semienano que posibilitan una producción importante de fruta con mínimo uso de agroquímicos, en espacios muy reducidos, contribuyendo a la diversificación de las especies cultivadas en los huertos (Guerrero, 2011).

Guerrero (2011) menciona un modelo de composteo *in situ* empleado en la producción de árboles frutales en huertos de traspatio en Hueyotlipan, Tlaxcala, durante los años 2000-2003. Dicho modelo fue diseñado a partir de experiencias previas con proyectos similares. Algunas bondades del modelo de composteo *in situ* según Guerrero (2011) son el ahorro de energía al no tener que voltear ni acarrear la composta y de agua al haber menos pérdida por evaporación y no requerir desinfección, ya que los procesos de fermentación semiaeróbica disminuyen la población de microorganismos patógenos. Con el empleo de este modelo, se logran además de los ahorros que implica el composteo *in situ*, la conformación de un sustrato ideal para el desarrollo de árboles, arbustos o cultivos herbáceos de gran desarrollo radicular.

El composteo *in situ* es parte de un sistema de producción de frutales llamado Huerto Vivero. El sistema Huerto Vivero, fue desarrollado por Guerrero (2011), el cual consiste en la apertura de cepas-zanjas de 1 m de ancho por el largo disponible en el terreno

y una profundidad de 0.80 m. La cepa-zanja se llena con una capa de 20 cm de grava de tezontle que funciona como dren en suelos con poca capacidad de drenaje. Sobre la grava se colocan capas alternadas de 5 cm de arena, 5 cm de paja, 5 cm de estiércol, una espolvoreada de superfosfato de calcio triple mezclado con cloruro de potasio y 5 cm de tierra de la misma parcela; esta secuencia se repite (excepto la grava que solo queda en el fondo) hasta llenar la zanja, culminando con una capa adicional de 5 cm de arena, sobre la cual se aplica agua suficiente para humedecer los materiales. A los tres meses el sustrato esta listo para la siembra de plántulas.

Paralelo al llenado de la cepa-zanja se realiza la germinación de semillas de frutales de clima templado como son el durazno u otras. Estas semillas se germinan en un proceso de estratificación<sup>1</sup>, para posteriormente ser colocadas en charolas de unicel, para continuar su desarrollo hasta alcanzar una altura aproximada de 20 cm. Posterior a esto se tienen dos opciones: la primera, si la materia orgánica colocada en las zanjas ha llegado a un proceso estable de humificación, se colocan las plántulas en las zanjas a 50 cm de distancia. Segunda, si la materia orgánica colocada en las zanjas, aun no llega a un proceso estable de humificación, las plántulas se colocan en bolsas de vivero para continuar con su desarrollo en espera de condiciones adecuadas en la zanja (Guerrero, 2011).

Una vez que los árboles se han plantado en la cepa-zanja estos continúan su desarrollo expuestos a las condiciones climáticas del lugar, lo que traerá como

---

<sup>1</sup> La estratificación de la semilla es un procedimiento que se hace para favorecer la germinación. Consiste en colocar la semilla en condiciones húmedas y frías.

consecuencia que solo las plantas, que logren una mejor adaptación sobrevivan (Guerrero, 2011). Los árboles con mejor desarrollo (generalmente de un año de edad) son injertados con especies frutales mejoradas, eliminando aquellos árboles débiles o muertos. De ser necesario se realizaran reubicaciones de árboles en la zanja de tal forma que se tenga una distancia de 1 m entre árboles. Siguiendo un diseño de cultivo en callejones (Figura 1).



**Figura 1.** Diversos árboles frutales establecidos según el sistema Huerto Vivero, en la comunidad de San Diego, Texcoco, Estado de México.

En el sistema Huerto Vivero la distribución de los árboles se puede hacer en callejones con una distancia de 6 m entre líneas de árboles y 1 m entre árboles, con lo que se tienen 1600 árboles por hectárea; duplicando la cantidad de árboles por hectárea del sistema convencional de plantación que es de 825 con un arreglo de 3 x 4 m (Saldaña, 1994) o de 1000 árboles distribuidos a 3 x 3 m (Muñoz *et al.*, 2000). La distribución de los

árboles bajo el sistema Huerto Vivero permite el cultivo de plantas anuales; como maíz, fríjol u otras, en los callejones.

El uso del sistema de producción Huerto Vivero, es una opción, ya que al incrementar los niveles de materia orgánica en el suelo, mejora las condiciones del suelo como la capacidad de retención de agua e incrementando la fertilidad del suelo. Por otra parte permite la diversificación de cultivos al tratarse de un sistema de plantación en callejones.

El crecimiento y desarrollo óptimo de los árboles frutales y calidad de fruto que producen depende de los factores de manejo, entre ellos la densidad y nutrición de la plantación. La nutrición está estrechamente relacionada con las disponibilidad de nutrientes en el suelo, la cual está determinada por la fertilidad del suelo y la fertilización que se aplique (Santiago *et al.*, 2008).

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

Se conoce como materia orgánica del suelo a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo. Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos. En la materia orgánica del suelo se distingue una fracción lábil, disponible como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Aguilera, 2000).

La materia orgánica es considerada como uno de los factores más importantes para conocer la productividad del suelo. Carrión (1996) plantea que la cantidad de materia orgánica presente en un suelo determina la fertilidad de éste, además, el aumento de la materia orgánica del suelo mejora en gran medida la calidad del mismo, y juega un papel clave para garantizar una cosecha sostenible, la producción y seguridad alimentaria.

Los residuos de cultivos, juegan un papel importante en la conservación del suelo mediante el aumento de la fertilidad, mejorando también la estructura del suelo, que, a su vez, facilita la infiltración del agua y, finalmente, la productividad. Por otra parte la materia orgánica, estimula el crecimiento de raíces y aumenta la diversidad de microorganismos en el suelo. La pérdida de materia orgánica es una amenaza a la fertilidad del suelo a largo plazo (Lavelle y Spain, 2002).

La pérdida de materia orgánica es un proceso que provoca la degradación física de los suelos, la cual se refleja en problemas asociados con la estructura, por ejemplo, la disminución de la porosidad y mayor compactación. El aporte de enmiendas orgánicas ayuda a conservar y fomentar la estructura. Debido a que la materia orgánica es considerada como un agente activo que facilita la agregación a través de mecanismos físicos y químicos (Sanchez *et al.*, 2005).

#### **4.7 Compostaje**

Una vía para aportar materia orgánica al suelo es el compostaje, el cual se puede definir como la biodegradación controlada de la materia orgánica, previa a su integración al suelo, el producto final de este proceso es conocido como composta. Entendiendo por biodegradación un proceso dirigido y controlado de mineralización y prehumificación de la

materia orgánica. A través de un conjunto de técnicas que permiten el manejo de las variables del proceso; y que tienen como objetivo la obtención de un abono de características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas predeterminadas, conocido como composta (Sztern y Pravia, 1996).

El compostaje es una técnica que permite la descomposición controlada de residuos orgánicos, por lo que al finalizar el proceso de compostaje los residuos se pueden usar sin riesgo para el cultivo y suelo. El compostaje se define como un proceso de oxidación biológica de los residuos bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación (Santamaría *et al.* 2002).

Sztern y Pravia (1996) menciona que hay varias etapas por las que pasa el proceso de compostaje, destacando las siguientes: etapa mesotérmica, esta etapa se desarrolla en un rango de temperatura entre los 10 a 40°C, se llevan a cabo procesos de nitrificación y oxidación, con la participación de hongos que son los que inician esta etapa, durante este periodo la relación humedad aireación es de suma importancia. Cuando la actividad metabólica incrementa también lo hace la temperatura como resultado de está, dando paso a la siguiente etapa. La etapa termogénica desarrollada en un rango de temperatura que va de los 40 a los 75°C, en esta etapa se eliminan todos los organismos mesófilos patógenos como hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables. Se produce un volumen importante de CO<sub>2</sub>, alcanzando concentraciones letales para las larvas de insectos. Con la reducción del oxígeno en esta etapa, se da el paso a la siguiente etapa. Etapa mesotérmica, con el agotamiento de los nutrientes y la desaparición de los organismos termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la temperatura está por debajo de los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que usan como

alimento los materiales más resistentes a biodegradación; tales como la celulosa y lignina. A esta etapa se le conoce como etapa de maduración, dado que el material se presenta estable biológicamente y con esto se da por finalizado el proceso.

Algunos factores que afectan al proceso de compostaje son, la relación carbono nitrógeno (C/N), una óptima relación de C/N es de 25 unidades de carbono por una de nitrógeno. El tamaño de partícula de los materiales deber ser de un diámetro medio de 20 mm para propiciar un incremento significativo de la biodisponibilidad y del tiempo de compostaje. La humedad idónea para una biodegradación con franco predominio de la respiración aeróbica, se sitúa en el orden del 15 al 35 % (del 40 al 60 %, se puede mantener una buena aireación). El pH debe ser cercano al neutro (6.5 a 7.5) ligeramente ácido o ligeramente alcalino para asegurar el desarrollo de la gran mayoría de los organismos (Szeterm y Pravia, 1996).

Loja y Pinos (1996) mencionan que no solo se realizan compostas sobre la superficie del suelo, sino que también se aprovechan las zanjas u hoyos que existan en el mismo. Estos autores plantean diferentes formas de compostaje; el de camas profundas: que consiste en cavar una zanja se llena con materiales vegetales y animales, se cubre la zanja, se humedece completamente y se trasplanta o siembran semillas, debe estar listo entre 1 y 2 meses; la composta en fosas: esta se realiza bajo tierra, se mezcla material vegetal y animal con tierra, cal o ceniza, a los 30 días se remueve el material hacia otra fosa quedando así invertida y disponible la materia orgánica.

Una variante del sistema de composta en zanjas es el empleado por Guerrero (2011), consiste en la apertura de zanjas con dimensiones de 0.5x0.5 m de profundidad, el largo

está determinado por las condiciones del terreno, en donde se colocan materiales como: residuos de cosecha, estiércol, ceniza, carbón molido (cisco), zeolita, roca fosfórica y tierra, en capas sucesivas hasta llenar la zanja. El material depositado es mojado para favorecer la mineralización de la materia orgánica. Cuando el proceso de mineralización se ha estabilizado, se siembran especies vegetales que aprovecharán el aporte de materia orgánica presente en la zanja.

#### **4.8 Mineralización**

Definimos mineralización como la degradación completa de un compuesto a sus constituyentes minerales, en donde el carbono orgánico es oxidado hasta  $\text{CO}_2$ . Dado que la descomposición de un sustrato orgánico por medio del proceso de respiración aeróbica tiene como productos principales a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , la evolución de  $\text{CO}_2$  puede utilizarse como un indicador bastante preciso de la actividad respiratoria de comunidades en agua y suelo (Litterick *et al.* 2004). Mediante el proceso de mineralización son liberados al suelo compuestos como el nitrógeno y el fósforo. Lo mismo ocurre con el calcio que presenta una liberación lenta. Mientras que el potasio se libera más rápidamente, al igual que el magnesio. En la mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo, se observa que al cabo de 30 días todo el amonio inicial existente en los sistemas es transformado en nitratos. Se observó una relación inversa entre la humedad del suelo y la mineralización. Sin embargo, el efecto de la humedad se puede reducir dependiendo del tipo de vegetación.

#### **4.9 Zeolita**

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados cristalinos (arcillas) con estructura tridimensional, caracterizados por la habilidad de retener y liberar agua e intercambiar

iones sin modificar su estructura atómica. Intercambia cationes como  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{k}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ , así como diversos compuestos de fosfato, amonio y componentes de la materia orgánica. Posee una estructura tridimensional rígida (similar a un panal de abejas) formada por una red de túneles interconectados creando una amplia área superficial para realizar el intercambio catiónico y la absorción de humedad. Esta última puede entrar y salir de la estructura tridimensional sin variar la estructura de la arcilla (Chica *et al.* 2006).

Las zeolitas naturales en contraparte a las zeolitas sintéticas, están constituidas principalmente de dos tipos de porosidad: i) primaria, atribuida a la presencia de micro poros y ii) secundaria, debida a los meso poros. La porosidad secundaria que normalmente acompaña a las zeolitas naturales permite que en ella se realicen fenómenos muy importantes. Como la adsorción de moléculas relativamente grandes, que juegan un papel importante en procesos específicos como la difusión y catálisis heterogénea (Tsitsihvili *et al.*, 1992).

Las zeolitas naturales se han utilizado en la Agricultura desde los años 60 en países como Japón y Estados Unidos y a través de numerosos ensayos de campo se ha demostrado que incorporadas como aditivos en la fertilización pueden disminuir las pérdidas de nitrógeno en hasta un 60%, sobre todo en suelos altamente permeables, debido a su alta capacidad de intercambio catiónico que les permite retener amonio, potasio y otros iones liberándolos lentamente en el suelo, reduciendo así el uso de fertilizantes y constituyendo una alternativa efectiva, fácil de emplear e inocua para el medio ambiente (Bajaña *et al.* 2004).

La retención de nutrientes en el suelo depende de la retención de cargas negativas por unidad de superficie que posee la fracción coloidal del suelo denominada capacidad de intercambio catiónico (CIC). A mayor CIC mayor retención, mayor disponibilidad de iones para las plantas y menor lixiviación de estos. La creación de una malla molecular capaz de incrementar la CIC y con ello generar una mayor retención de iones en el suelo, creando una reserva de elementos aprovechables para el óptimo desarrollo de las plantas, puede crearse con el uso de zeolitas que modifican favorablemente las propiedades químicas, sin alterar propiedades físicas del suelo (Chica *et al.* 2006).

#### **4. 10 Roca fosfórica**

El uso de roca fosfórica como fertilizante fosfatado es una alternativa válida, sin embargo tiene la limitación de su lenta solubilidad en el suelo, por lo que es poco eficiente para los cultivos de ciclo corto. La roca fosfórica es más apropiada para cultivos de ciclo largo como frutales y algunos pastos (Sequera, 2003).

La forma más eficiente de mejorar la roca fosfórica es mediante la acidulación, proceso en el que usan ácidos, prefiriendo el ácido sulfúrico por su bajo costo. La aplicación de S elemental al suelo en contacto con la roca fosfórica ha mostrado tener capacidad de solubilización de roca fosfórica, incrementando la disponibilidad de P y la absorción por las plantas (Sequera, 2003).

Sequera (2003) y González *et al.* (2000) señalan que la roca fosfórica al entrar en contacto con un suelo ácido (pH menor o igual a 6) se solubiliza liberando P. Por consiguiente mientras más grande el contacto de la partícula de roca fosfórica con el suelo mayor será la solubilización. López *et al.* (1990) encontró que el incremento de la

respuesta, de materia seca de maíz, fue mayor a medida que se disminuyó el tamaño de partícula de roca fosfórica. Mientras que con la adición de 568.2 kg ha<sup>-1</sup> de roca fosfórica en combinación con hongos micorrízicos arbusculares se incrementó la altura de algunos frutales como naranjo agrio (González *et al.* 2000).

#### **4. 11Carbón**

El C orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental. En condiciones naturales, el C orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Swift, 2001). Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo (55 Pg C año<sup>-1</sup> a nivel global) es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable (0.4 Pg C año<sup>-1</sup>) (FAO, 2001). El carbón es una fuente de potasio y otros minerales (Jeavons, 1991)

#### **4. 12 Estiércol**

El termino estiércol es usado para describir de forma general la mezcla de heces, orines y desperdicios en una producción agropecuaria. La composición físico-química del estiércol varía de una producción agropecuaria a otra, dependiendo entre otros factores del tipo de ganado, de la dieta, y de las condiciones bajo las cuales se produce el estiércol (Szetern y Pravia, 1996).

El uso de estiércol como fertilizante es una de las prácticas más antiguas utilizadas en la agricultura por el hombre. Su aplicación al suelo determina un aumento de la fertilidad, como también la mejoría de las propiedades físicas. Si bien el uso del estiércol es indiscutiblemente beneficioso, existen grandes dificultades para predecir su efecto en cada situación debido a la gran variabilidad de materiales que abarca y las diferencias creadas por el manejo previo. La aplicación de estiércol en dosis excesivas puede provocar contaminación ambiental, ya sea por pérdidas gaseosas de N (procesos de desnitrificación y volatilización de amoníaco) como por la posibilidad de pérdidas por lixiviación de  $\text{NO}_3$  (Pino *et al.* 2008).

Los estiércoles son residuos orgánicos que presentan valores altos de carbón total y nitrógeno total por lo que se consideran muy apropiados para el compostaje. Capistrán *et al.* (2001) señala que el empleo de estiércoles como enmiendas orgánicas no es posible sin que antes haya un proceso de estabilización, ya que estos residuos, cuando se encuentran frescos inician un proceso de descomposición que incluye una fermentación aeróbica que hace que se incremente la temperatura, lo cual puede afectar a plantas u organismos del suelo.

#### **4. 13 Propiedades físicas del suelo**

##### **4.13. 1 Textura**

La NOM-021 define textura como la proporción relativa por tamaño de partícula de arena, limo y arcilla. Las cuales al combinarse generan las clases texturales. La textura es una propiedad física relacionada con la proporción de partículas de diferentes tamaños existentes en el suelo, la cual influye de forma tal que suelos arenosos y arcillosos

contrastan en cantidad y tipo de porosidad. En los suelos arenosos, el espacio poroso va de 35 a 50 %, predominando los macroporos, en este tipo de suelos hay un rápido movimiento de aire y agua (Scott, 2000; Warrick, 2000).

La compactación del suelo causa disminución en la macroporosidad y con ello afecta su capacidad de infiltración, lo cual dificulta la entrada y el flujo de agua al interior del suelo, ocasionando un mayor escurrimiento superficial, erosión y una menor capacidad de almacenamiento de agua en el perfil del suelo, también restringe la aireación del suelo, limitando al sistema radical de las plantas, lo cual tiene especial importancia en áreas agrícolas de temporal (Leiva, 1998).

#### **4. 13. 2 Densidad real**

La densidad se define como la relación entre la masa del suelo y el volumen. Comúnmente expresada en gramos por centímetro cúbico. La densidad de un suelo se ve afectada por la cantidad de materia orgánica, el grado de compactación, la presencia y grado de actividad animal, presencia de raíces entre otros factores (NOM-021). La densidad real ( $D_r$ ) relaciona el peso de las partículas sólidas de un suelo con el volumen ocupado por ellas sin tomar en cuenta la porosidad, por lo cual presenta valores relativamente constantes. La  $D_r$  es una propiedad del suelo muy estable (Warrick, 2002; Medina *et al.*, 2006).

#### **4. 13. 3 Densidad aparente**

La densidad aparente se calcula incluyendo el espacio poroso mientras que la densidad real se elimina este factor La densidad aparente ( $D_a$ ) es dependiente de la

porosidad, y por ello, adquiere valores muy variables aún en un mismo tipo de suelo, y es muy afectada por las actividades de manejo y la cantidad de MO (Warrick, 2002).

Una excesiva densidad aparente afecta el desarrollo de las plantas por que inhibe la penetración de las raíces y su desarrollo. En suelos de textura gruesa este efecto se presenta cuando la  $D_a$  alcanza un valor de  $1.6 \text{ g cm}^{-3}$  (León-Artera, 2003).

#### **4. 13. 4 Conductividad hidráulica**

Conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ) es una medida de la habilidad que tiene un medio poroso para transmitir agua. Es una propiedad muy variable depende de la estructura del suelo, textura y de las características del sistema poroso (diámetro y tortuosidad).

Los valores bajos de  $K_s$  podrían ser debidos a una baja porosidad, pocos poros grandes y una pobre interconectividad entre ellos, así como a la presencia de una elevada cantidad de arcillas expandibles. Valores altos de  $K_s$ , generalmente, se presentan en suelos de textura gruesa, a pesar de su baja porosidad. Un valor de  $K_s$  para un suelo arenoso francoso es de  $2.59 \text{ cm h}^{-1}$ , este valor representa una  $K_s$  moderadamente baja (Flores *et al.*, 2010).

#### **4. 13. 5 Capacidad de campo**

El término capacidad de campo (CC) se refiere al contenido de humedad que un suelo saturado puede retener dentro de sus poros bajo la acción de drenado que origina la fuerza de gravedad, normalmente es aceptado que las CC es equivalente a la humedad que un suelo saturado retiene al aplicársele una fuerza de succión de 33 kPa. El contenido de MO afecta directamente y positivamente la CC, al igual que el contenido de arcilla, de

manera tal que a mayor cantidad de MO y arcilla se incrementa el valor de la CC (Palacios-Vélez, 2002).

#### **4. 13. 6 Punto de marchitez permanente**

Punto de marchitez permanente (PMP). Es el porcentaje de humedad retenida a una tensión aproximada de 15 atm en la cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia y la planta se marchita permanentemente. El PMP depende de la especie vegetal, de la cantidad de agua utilizada por los cultivos, profundidad de raíces, de la capacidad de retención del suelo, etc. En términos de tipo de agua el PMP representa al agua no disponible, es decir, agua que se encuentra fuertemente retenida por diferentes fuerzas y que a las plantas se les dificulta su aprovechamiento (NOM-021). Una mayor cantidad de MO reduce el valor del PMP (Palacios-Vélez, 2002)

#### **4. 13. 7 Humedad aprovechable**

Agua disponible o humedad aprovechable (HA). Es el agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo, retenida a una fuerza de  $1/3$  de atm, y el punto de marchitamiento permanente, humedad retenida a una fuerza de 15 atm (NOM-021).

#### **4. 13. 8 Velocidad de infiltración**

La velocidad de infiltración (VI) indica la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo, hecho que resulta dependiente de la permanencia del contacto suelo-agua, del contenido inicial de humedad del suelo, de su conductividad hidráulica y de las características de la superficie del suelo. En suelos secos, la VI es relativamente alta, pero

disminuye con el tiempo de humedecimiento hasta llegar a un valor casi constante, que se denomina infiltración básica, y que es muy cercano al valor de la conductividad hidráulica saturada del suelo (Palacios-Vélez, 2002).

#### **4. 13. 9 TDR y Contenido de humedad en el suelo**

La reflectometría de dominio temporal (TDR) es una técnica electromagnética indirecta, rápida, no destructiva y precisa para estimar el contenido de humedad del suelo (Walker et al., 2004). El fundamento de este método es que la constante dieléctrica del agua es muy alta (80) en comparación con la del suelo completamente seco (2-4) y del aire (1). Esta disparidad de la constante dieléctrica hace que los métodos basados en dicha constante sean poco sensibles a los componentes del suelo. La constante dieléctrica depende de la frecuencia del campo eléctrico que se aplique. Para el caso del TDR, el valor de la constante dieléctrica aparente ( $K_a$ ) no se determina para todas las frecuencias, sino que se determina sólo para el rango más sensible de frecuencias, que para suelos húmedos se ubican entre 50 y 10 GHz (Roth *et al.*, 1990).

Para predecir el contenido volumétrico de humedad del suelo ( $\theta$ ) con un equipo TDR, se requiere de una función que relacione la constante dieléctrica aparente ( $K_a$ ) con  $\theta$ . Para medir el contenido de agua de la capa superior del suelo con el TDR, se introducen en el suelo dos varillas metálicas paralelas que actúan como líneas de transmisión de las ondas electromagnéticas que se envían desde el reflectómetro. El volumen de suelo muestreado por el par de varillas es aproximadamente cilíndrico, su radio es la separación que existe entre las dos varillas. La longitud de éstas es la profundidad muestreada. La velocidad de

propagación de las ondas electromagnéticas se determina con base en el tiempo de tránsito desde el extremo de las varillas hasta el reflectómetro (Roth *et al.*, 1990).

#### **4. 14 Propiedades químicas del suelo**

El suelo es un medio natural que proporciona a las plantas el sostén físico, además del agua y los elementos nutrientes para su desarrollo. Con frecuencia estos nutrientes se encuentran en cantidades insuficientes para satisfacer los requerimientos de los cultivos, o bien están en proporción desbalanceada, lo cual evita que se tengan los rendimientos máximos potenciales. En ocasiones también ocurre que un elemento nutriente se encuentre presente en el suelo, pero en una forma tal que no es aprovechable; es decir que no es susceptible de ser absorbido por las raíces de las plantas (Núñez, 2009).

##### **4. 14. 1 Nitrógeno**

El nitrógeno (N) es un elemento indispensable para la vida, forma parte de las principales biomoléculas de todos los seres vivos. Es también uno de los elementos más abundantes de la Tierra, pues en su forma gaseosa (N<sub>2</sub>) constituye 78 % de la atmósfera. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico. El nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire. Dentro del suelo es aprovechado por las plantas, animales y microorganismos que lo incorporan a sus tejidos. Cuando dichos organismos se mueren, el nitrógeno reingresa al suelo completando el ciclo (Fernández *et al.*, 2006).

Normalmente del 97 al 99 % del N total del suelo se encuentra en formas orgánicas muy complejas; por ello la MO al mineralizarse libera nutrientes entre ellos N, responsable de la alta correlación comúnmente encontrada entre el contenido de MO y su fertilidad. En los suelos normalmente el contenido de nitrógeno varía de 0.05 a 2% en sus diferentes formas (Núñez, 2009).

#### **4. 14. 2 Fosforo**

El fósforo (P) es un macronutriente esencial para las plantas y los microorganismos, junto con el nitrógeno y el potasio (Muñoz *et al.*, 2000), el P se encuentra en el suelo en forma orgánica e inorgánica. El fósforo inorgánico del suelo se encuentra en tres formas; a) como constituyente de minerales fosfatados, b) adsorbido en la fracción mineral u orgánica del suelo y c) en solución (Núñez, 2009).

El fósforo elemental no se encuentra en estado libre en la naturaleza porque se oxida muy fácilmente; sin embargo, son muy comunes los compuestos orgánicos y principalmente minerales que contienen fósforo. En términos generales, el fósforo del suelo se clasifica en fósforo orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos que forme. La forma orgánica se encuentra en el humus y la materia orgánica, y sus niveles en el suelo pueden variar desde 0 hasta 0.2%. La fracción inorgánica está constituida por compuestos de hierro, aluminio, calcio y flúor, entre otros, y normalmente son más abundantes que los compuestos orgánicos. Solo una pequeña parte del P aparece en solución en suelo ( $< 0.01-1 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Muñoz *et al.*, 2000).

La disposición de P se ve afectada por el pH, el tipo de arcilla (mientras más cristalino el material arcilloso, menor es su capacidad de fijación de fósforo), la MO y el

grado de saturación de fosforo. Los abonos orgánicos aumentan la aprovechabilidad del P; por los siguientes efectos: a) liberación de CO<sub>2</sub> que ayuda a la descomposición de minerales fosfatados del suelo, b) síntesis de complejos fosfohúmicos aprovechables, c) intercambio de radicales orgánicos por fosfatos (Núñez, 2009).

#### **4. 14. 3 Potasio**

El potasio (K) es el séptimo elemento más abundante de la tierra. Se le encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre. La capa arable de los suelos agrícolas contiene 4 a 60 t ha<sup>-1</sup> de K, pero en su mayor parte está en forma de minerales insolubles (Núñez, 2009). La mayor parte del K disponible para las plantas es de origen inorgánico, ya que se forma a través del intemperismo de las rocas, por esto, en suelos orgánicos es posible encontrar el contenido más bajo de K (< 0.03%).

En el suelo, el K se clasifica en cuatro categorías: a) presente en la solución del suelo, b) intercambiable, c) difícilmente intercambiable y d) formando parte de los minerales del suelo. La disponibilidad de nutrientes del suelo para las plantas depende, principalmente, de la cantidad y naturaleza en la solución del suelo y de su asociación con los nutrientes adsorbidos o contenidos en la fase sólida del mismo (Comerford, 1999; Cox *et al.*, 1999). A medida que el cultivo remueve el K de la solución del suelo, el K intercambiable se libera y repone el K de la solución del suelo. De esta forma, por medio de los procesos de intercambio catiónico, el K está continuamente disponible para el crecimiento de las plantas; esto ocurre sólo si el suelo contiene suficiente K (Wild, 1989). La adsorción de K en las superficies de intercambio y su disponibilidad dependen de las características físico-químicas del suelo.

#### **4. 14. 4 Magnesio**

El magnesio (Mg) es un micronutriente, se estima que el Mg constituye 1.93 % de la corteza terrestre, formando parte de minerales primarios y secundarios como biotita, dolomita, clorita entre otros, que al intemperizarse liberan  $Mg^{2+}$  a la solución del suelo, en donde puede ser luego lixiviado, absorbido por las plantas superiores o microorganismos. Las deficiencias de Mg son comunes en suelos arenosos de regiones lluviosas. La absorción de Mg por parte de las plantas se ve estimulada por los nitratos, en cambio algunos otros iones antagonizan con su absorción o agravan la deficiencia de Mg en las plantas. Tal es el caso del amonio, fósforo, potasio, calcio, hidrógeno y sulfatos (Núñez, 2009).

#### **4. 14. 5 Calcio**

El calcio (Ca) en el suelo se encuentra presente en muchos minerales comunes como calcita, dolomita, apatita y feldspatos cálcicos que al intemperizarse liberan calcio, el cual puede sufrir los siguientes procesos, lixiviación, absorción por las plantas o absorción por los complejos de intercambio. El calcio es absorbido por la planta en forma de ion  $Ca^{2+}$  (Núñez, 2009). El calcio es un elemento estructural en la planta ya que constituye la lamina media, las paredes y membranas de la célula y, además, participa en la división y extensión celulares, influye en la compartimentalización de la célula, modula la acción de hormonas y señales, estabiliza la pared y membrana, y contribuye al equilibrio iónico de la célula (Marschner, 1986).

#### **4. 14. 6 Azufre**

La aplicación de azufre elemental (S), sulfatos o ácido sulfúrico en suelos agrícolas es una práctica común que se realiza con diferentes propósitos tales como la recuperación de suelos sódicos o el incremento en la disponibilidad de fósforo o micronutrientes en las plantas. Las cantidades de S tomadas por las plantas son aproximadamente el 75 % de las de fósforo (Núñez, 2009).

#### **4. 14. 7 Cobre**

El cobre (Cu) desempeña funciones catalíticas, siendo parte de varias enzimas importantes como la polifenol oxidasa y la ácido ascórbico oxidasa. Está presente en la plastocianina de los cloroplastos, es componente del sistema transportador de electrones de la fotosíntesis y puede estar involucrado en la reducción de nitritos (Bidwell, 1979). La concentración de cobre total en los suelos varía de 2 a 200 ppm y la mayor parte se encuentra atrapado en la materia orgánica. Una pequeña fracción se encuentra como  $\text{Cu}^{2+}$  intercambiable.

Las deficiencias de cobre son comunes en los suelos orgánicos debido a la formación de complejos muy estables del metal con la materia orgánica. La disponibilidad de estos complejos es mayor mientras mayor es el contenido de nitrógeno y/o azufre en la materia orgánica. La disponibilidad de hierro decrece a medida que se eleva el pH del suelo. Su solubilidad es mayor en pH ácidos y sus deficiencias son comunes en suelos alcalinos. Un comportamiento semejante presentan los otros micronutrientes clasificados como metales pesados (Mn, Cu, Zn) (Núñez, 2009).

#### **4. 14. 8 Hierro**

El hierro (F) está presente en la biosfera en dos estados de oxidación,  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Fe}^{+3}$ , los cuales son termodinámicamente estables bajo condiciones anóxicas y óxicas, respectivamente. El  $\text{Fe}^{+3}$  se encuentra en una amplia variedad de formas químicas, como minerales altamente cristalinos: magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), geotita ( $\text{FeOOH}$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), o ferrihidrita [ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ] y minerales con poca o ninguna estructura cristalina: oxihidróxidos amorfos (Hacher *et al.*, 2001).

El Fe en el suelo se encuentra en forma de minerales primarios y secundarios, absorbidos bajo el complejo de intercambio, en compuestos orgánicos y en la solución de suelo. Las formas aprovechables por las plantas son las hidrosolubles ( $\text{Fe}^{+2}$ ) y las quelatadas. La concentración usual de  $\text{Fe}^{+2}$  en la solución del suelo no abastece los requerimientos vegetales; se complementa con hierro presente en quelatos orgánicos naturales, los cuales son transportables por difusión o flujo de masas. La disponibilidad de hierro decrece a medida que se eleva el pH del suelo. Su solubilidad es mayor en pH ácidos y sus deficiencias son comunes en suelos alcalinos. Un comportamiento semejante presentan los otros micronutrientes clasificados como metales pesados (Mn, Cu, Zn) (Núñez, 2009).

#### **4. 14. 9 Manganeso**

El manganeso (Mn) tiene funciones de activación de numerosas enzimas relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos y reacciones de fosforilación. En Mn es absorbido por las plantas en forma de  $\text{Mn}^{2+}$  en combinación molecular con ciertos complejos orgánicos y directamente a través de las hojas; es común mente aplicado

foliarmente para corregir deficiencias. El contenido total de Mn en los suelos varía de 200 a 300 ppm en forma de cationes intercambiables, combinaciones orgánicas y óxidos. La forma divalente  $Mn^{2+}$  es común en pH inferiores a 6.5 y se encuentra en solución o absorbida al complejo de intercambio. La forma trivalente  $Mn^{3+}$  se encuentra como óxido ( $Mn_2O_3$ ) muy activo, por lo que se le considera aprovechable. La disponibilidad de manganeso decrece a medida que se eleva el pH del suelo. Su solubilidad es mayor en pH ácidos y sus deficiencias son comunes en suelos alcalinos (Tisdale *et al.*, 1970; Núñez, 2009).

#### **4. 14. 10 pH**

El pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). La lectura de pH se refiere a la concentración de iones hidrógeno activos ( $H^+$ ) que se da en la interfase líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. El valor de pH es el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno, que se expresa por números positivos del 0 al 14. Tres son las condiciones posibles del pH en el suelo: la acidez, la neutralidad y la alcalinidad (Núñez, 2009).

#### **4. 14. 11 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica, que generalmente se expresa en mmhos/cm o en mSiemens/m; la NOM-021-RECNAT-2000 establece dS/m a 25°C. Es una propiedad de las soluciones que se encuentra muy relacionada con el tipo y valencia de los iones presentes,

su concentración total y relativa, su movilidad, la temperatura del líquido y su contenido de sólidos disueltos. La determinación de la conductividad eléctrica es por lo tanto una forma indirecta de medir la salinidad del agua o extractos de suelo.

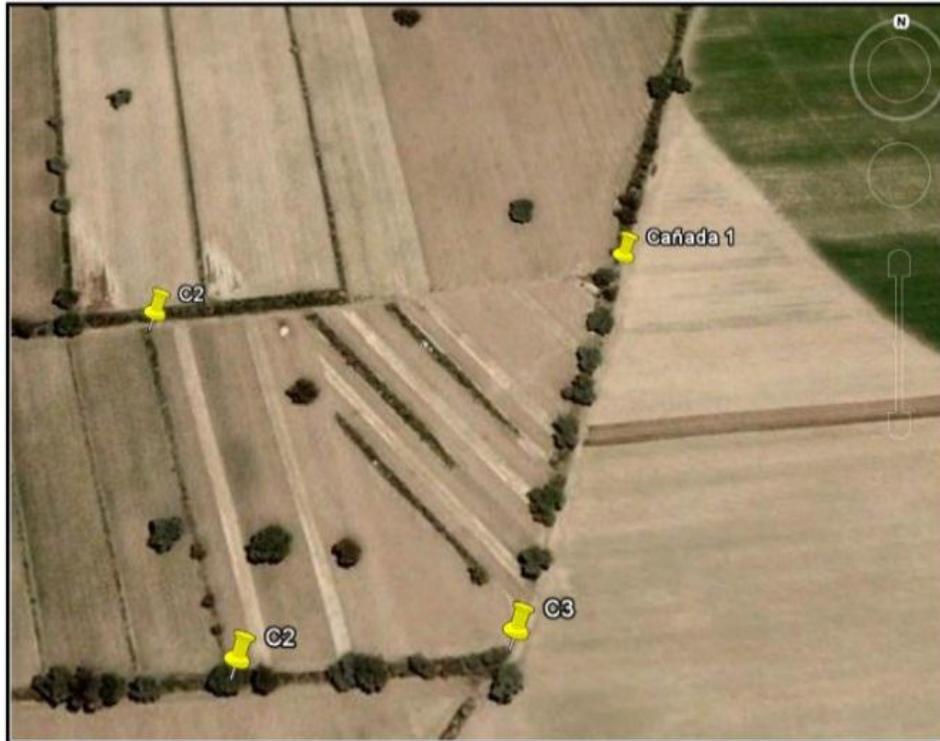
## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se inició en 2010 en una parcela ubicada en la comunidad de San José Pilancón, Municipio de Alzayanca, Tlaxcala, a 2600 m, situada entre los 19° 25' 23" latitud Norte y 97° 49' 7" longitud Oeste; con una precipitación que oscila entre los 400 a 500 mm y presencia de suelos arenosos. El clima del municipio es semiseco, con régimen de lluvias en los meses de julio a septiembre.

Localizado al oriente del estado de Tlaxcala, el municipio de Alzayanca colinda al norte y al oriente con el estado de Puebla, al sur con los municipios de Huamantla y Cuapiaxtla, al poniente con los municipios de Huamantla y Terrenate (Hernández *et al.*, 2001).

San José Pilancón está situado en el Municipio de Alzayanca, tiene 219 habitantes, y predomina la actividad agrícola. Se pueden encontrar diversos cultivos entre los que destacan maíz y frijol, en la zona también se presentan plantaciones de durazno (SAGARPA, 2008).

La parcela (La Cañada) en la cual se realizaron las actividades de este proyecto (Figura 2) tiene como característica ser un predio que lleva cinco años de manejo agroecológico. A la cual se le han hecho prácticas de rotación de cultivos, estableciendo franjas para el cultivo de maíz, frijol y trigo. Se ha incorporado al suelo abonos verdes, las especies usadas han sido evo y veza de invierno; también restos de cosechas anteriores. Se han establecido líneas de frutales con variedades como durazno y manzana, dejando también áreas con vegetación natural y bordos en lo que se favorece la presencia de jarilla (*Senecio salignus Dc.*), como cortina rompe vientos y para control de escorrentías.



**Figura 2.** Vista aérea de la parcela donde se desarrolló la investigación. La Cañada, San José Pilancón, Tlaxcala.

Las actividades para la realización del trabajo de investigación se dividieron en dos fases, la primera realizada durante el año 2010 donde se trazaron y rellenaron las cepas-zanja siguiendo el sistema de Huerto Vivero, con algunas modificaciones. Se tomaron muestras de suelos y de cada uno de los materiales usados en el llenado de las cepas-zanja.

La segunda fase de la investigación se realizó en el año 2011, iniciando con la plantación de árboles de durazno en los tratamientos, toma de muestras de suelo para el análisis químico y físico en laboratorio. En campo se monitoreó la humedad con TDR, y registro el incremento en altura y supervivencia de los árboles, finalizando con la prueba de velocidad de infiltración.

## 5. 1 PRIMERA FASE

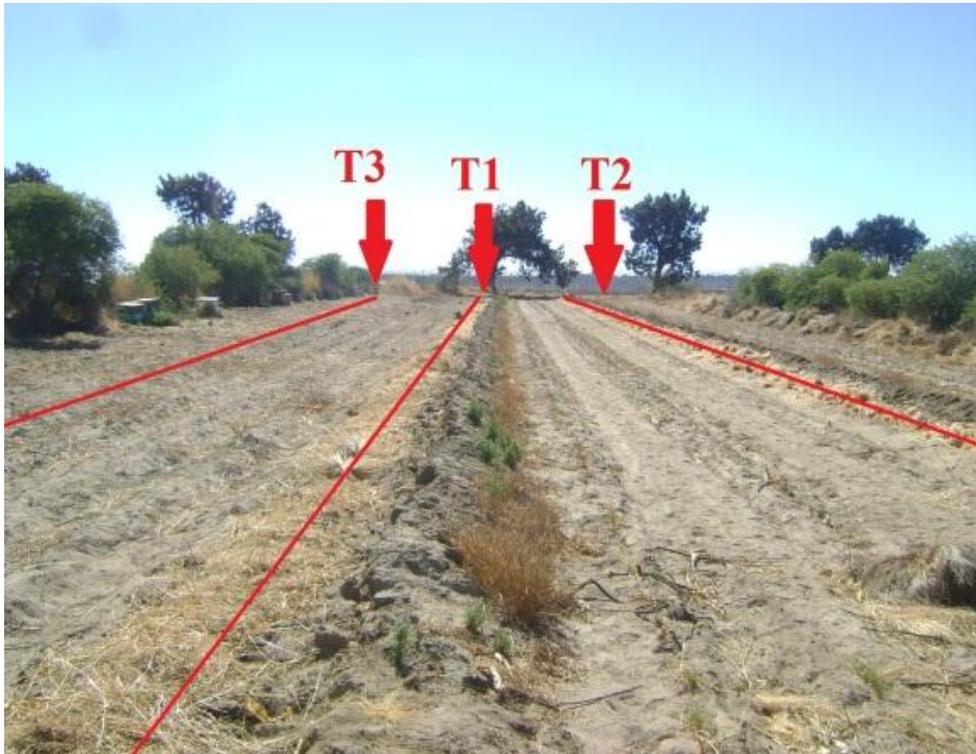
### 5.1.1 Ubicación de los tratamientos en la parcela

Para el establecimiento de las cepas-zanja se seleccionó un área de 250 m<sup>2</sup> dentro de la parcela denominada La cañada. El área seleccionada se ubica es una franja del terreno de aproximadamente 25 m de ancho por 100 m de largo, limitada en los extremos este y oeste por un bordo cubierto de Jarilla (*Senecio salignus Dc.*) que tiene la función de ser un cortina rompe vientos y reducir la escorrentía.

En el área seleccionada se trazaron a lo largo tres líneas equidistantes a 6 m, en dos de estas líneas se excavó una zanja de 0.5 x 0.5 x 90 m (ancho x profundidad x largo), dejando la tercer línea sin zanja. En cada una de las líneas trazadas se ubicó un tratamiento (Figura 3). La ubicación de los tratamientos fue sorteada. Los tratamientos evaluados fueron tres (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Descripción de tratamientos.

Tratamiento	Descripción
T1	Cepa-zanja con mezcla de materiales
T2	Cepa-zanja sin mezcla de materiales
T3	Zanjas individuales a 50 cm



**Figura 3.** Ubicación de los tratamientos en campo.

### **5. 1. 2 Preparación de los tratamientos**

Para la preparación del tratamiento T1 y T2 se rellenó la cepa-zanja realizando una modificación al sistema Huerto Vivero, consistente en eliminar la capa de grava que se coloca al fondo de la zanja, dado que estos suelos presentan buen drenaje. También se eliminó la adición de superfosfato de calcio triple mezclado con cloruro de potasio.

Los materiales empleado para el llenado de las cepa-zanja fueron: estiércol de borrego, paja de trigo empleada como sustrato en la producción de zetas, carbón vegetal (tierra de carbón o cisco), roca fosfórica molida, Zeolita y tierra de la misma zanja.

La cepa-zanja se llenó colocando capas alternadas de 10 cm de estiércol, 10 cm de paja, 2 cm de carbón, una espolvoreada de roca fosfórica y zeolita y 10 cm de tierra de la

misma zanja; esta secuencia se repitió hasta llenar la cepa-zanja (Figura 4). El llenado de las cepas-zanja se comenzó en marzo del año 2010 y terminando en octubre del mismo año. Para el llenado de cada cepa-zanja se emplearon 860 kg de estiércol, 280kg de paja, 200 kg de Zeolita y 200 kg de roca fosfórica, 200 kg de carbón.



**Figura 4.** Preparación de zanjas con base en el sistema Huerto Vivero

Las cepas-zanja una vez llenas fueron regadas uniformemente con 20 000 litros de agua, dividida en dos aplicaciones, una en octubre de 2010 y otra en enero de 2011, esto para favorecer la mineralización de la materia orgánica, más el agua de lluvia, la cual no fue cuantificada. A la cepa-zanja designada para el T1 se le realizó una mezcla de los materiales de forma manual usando un una biello.

### 5. 1. 3 Toma de muestras de los materiales de relleno de la cepa-zanja

De cada uno de los materiales empleados en el llenado de las cepas-zanja se tomó una muestra, también se tomaron muestra de suelo de cada uno de los tratamientos para su análisis físico y químico, las propiedades evaluadas de cada materia se muestran en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Determinaciones físicas y químicas determinadas a cada uno de los materiales empleados en el llenado de las cepas-zanja.

Muestra	Propiedades físicas	Propiedades químicas
Suelo	Textura, Densidad real Densidad Conductividad CC, PMP, HA Porosidad total Macro Micro porosidad	N, P, Mg, Ca, K, S, Cu, Fe, Mn, pH, MO, CE
Zeolita		CIC, Zn, Ca, Mg
Roca fosfórica		CIC, P, Ca, Mg, Zn
Carbón		N, P, K, Ca, Mg, Fe Cu, Zn, Mn, B
Estiércol		pH, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B, CIC
Paja		pH, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B, CIC

## 5. 2 SEGUNDA FASE

### 5. 2. 1 Plantación de árboles de durazno

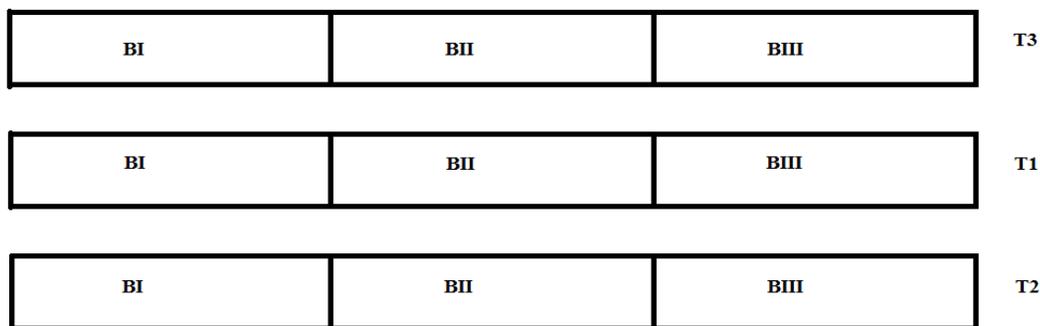
El establecimiento de las plantas de durazno se realizó el 16 abril de 2011. En cada uno de los tratamientos se sembraron 150 árboles de durazno, a una distancia de 0.5 m. Los árboles de durazno que se emplearon en el establecimiento de la plantación fueron adquiridos en un vivero de la comunidad Concepción Hidalgo, Alzayanca, Tlaxcala. Los árboles fueron seleccionados por edad y altura, logrando lotes de plantas lo más homogéneas posibles. Se colocaran dos variedades, durazno amarillo y durazno prisco de forma alternada en cada tratamiento (Figura 5).



**Figura 5.** Plantacion de durazno en cada uno de los tratamientos.

### 5. 2. 2 Diseño experimental

Cada uno de los tratamientos fue dividido en 3 bloques de 50 árboles cada uno, logrando con esto tener 3 repeticiones por tratamiento (Figura 6).



**Figura 6.** Diseño experimental, tres tratamiento con tres bloques cada uno

Una vez establecidas las plantas de durazno en cada uno de los tratamientos (T1, T2 y T3) se realizaron tres muestreos de suelo con intervalos de dos meses cada uno. Se tomó una muestra por bloque. A estas muestras se les realizaron determinaciones físicas y químicas con la finalidad de detectar alguna diferencia entre tratamientos (Cuadro 3 y 4). Las determinaciones químicas de fertilidad de suelo se realizaron en el laboratorio de química de suelos, la determinaciones físicas se realizaron en el laboratorio de física de suelos, los dos del Departamento de Suelos en la Universidad Autónoma Chapingo.

Con los resultados obtenidos del análisis físico y químico se realizó un análisis estadístico individual por fecha de muestreo y otro análisis agrupando las tres fechas de muestreo. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA como un DBCA y una prueba de medias de Tukey usando el programa SAS versión 9 para Windows.

**Cuadro 3.** Determinaciones físicas realizadas a cada tratamiento.

Determinación	Símbolo	Método
Densidad real	Dr	Matraz aforado
Densidad aparente	Da	Probeta
Macro porosidad	Macro	Indirecto (relación secundaria)
Micro porosidad	Micro	Indirecto (relación secundaria)
Capacidad de campo	CC	Olla de presión
Punto de marchitez permanente	PMP	Membrana de presión
Humedad aprovechable	HA	CC - PMP
Conductividad hidráulica	K <sub>s</sub>	Permeámetro de carga constante

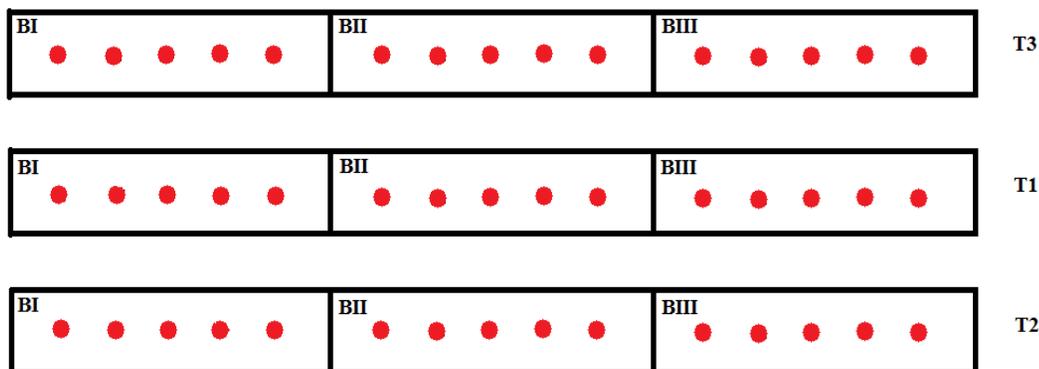
**Cuadro 4.** Determinaciones químicas realizadas a cada tratamiento

Determinación	Método	Determinación	Método
N	KCl 2N	Mn	DTPA
P	Olsen	pH	Agua 1:2
Mg	Acetato de amonio	MO	Walkely y Black
Ca	Acetato de amonio	CE	1:5
K	Acetato de amonio		
S	Acetato de amonio		
Cu	DTPA		
Fe	DTPA		

### 5. 3 Determinaciones realizadas en campo

#### 5. 3. 1 Contenido de humedad en el suelo

Para la determinación del contenido de humedad se empleó un TDR (Spectrum), la toma de las lecturas se realizaron al interior de los bloques de cada tratamiento. Las determinaciones se hicieron en los árboles número 9, 10, 19, 20, 29,30, 39, 40, 49 y 50 de cada bloque. Obteniendo a si un total de 10 lecturas por bloque. Esto con el propósito de tener referenciado espacial y temporalmente los datos (Figura 7), el registro de la humedad se realizó cada 15 días por un periodo de 6 meses. Iniciando en abril y finalizando en octubre del 2011.



**Figura 7.** Puntos de muestreo para determinar humedad con TDR en los tratamientos.

El registro de la humedad mediante el TDR se hizo a dos profundidades 11.93 y 20.06 cm, ambas tomadas en el mismo punto de muestreo y en las misma fecha. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA como un DBCA y una prueba de medias de Tukey usando el programa SAS versión 9 para Windows.

### 5. 3. 2 Velocidad de infiltración

Para la determinación de la velocidad de infiltración en cada tratamiento se usó el infiltrómetro de doble cilindro, esta determinación se realizó a los 6 meses de establecidos los árboles de durazno en los tratamientos. Realizando una determinación en cada bloque. Con los datos obtenidos se construyó una gráfica de velocidad de infiltración, contra tiempo usando la ecuación de Kostiakov.

$$I = at^b$$

I = velocidad de infiltración en cm/hora

t = tiempo en minutos

a = constante que representan las características del suelo

b = parámetro que indica la forma en que I se reduce con el tiempo

Una vez obtenidas las gráficas de velocidad de infiltración para cada tratamiento, se tomaron los valores de velocidad de infiltración hasta el minuto 10, se promediaron, para obtener un solo valor de la velocidad de infiltración por bloque en cada tratamiento. Con el valor de las medias por bloque se realizó un ANOVA como un DBCA y una prueba de medias de Tukey usando el programa SAS versión 9 para Windows.

### 5. 3. 3 Infiltración acumulada

Con los valores de a y b de la ecuación de velocidad de infiltración, se calculó la infiltración acumulada, para cada uno de los tratamientos por medio de la siguiente ecuación.

$$i = \frac{a}{60(b+1)} t^{b+1}$$

Una vez obtenidas las gráficas de infiltración acumulada para cada tratamiento, se tomó el valor de la infiltración acumulada de cada grafica al minuto 10. Con este valor se realizó un ANOVA como un DBCA y una prueba de medias de Tukey usando el programa SAS versión 9 para Windows.

#### **5. 3. 4 Incremento de altura en árboles de durazno**

Para registrar el incremento en altura de los árboles de durazno, se midió en campo la altura inicial de los árboles (30 de abril de 2011) después de establecidos en los tratamientos, una segunda medición de los árboles se realizó a los 6 meses (7 de noviembre de 2011). El incremento en altura se obtuvo por diferencia. Con los datos obtenidos se realizó un ANOVA como un DBCA y una prueba de medias de Tukey usando el programa SAS versión 9 para Windows.

#### **5. 3. 5 Porcentaje de supervivencia de árboles de durazno**

El porcentaje de supervivencia de árboles de durazno se estimó por diferencia entre el número inicial de árboles (150 árboles) y el número de árboles muertos a los 6 meses de establecida la plantación en los tratamientos. Con los datos obtenidos se realizó un ANOVA como un DBCA y una prueba de medias de Tukey usando el programa SAS versión 9 para Windows.

## 6 RESULTADO Y DISCUSIÓN

### 6. 1 Resultados de la caracterización física y química del suelo y los materiales usados para la preparación de tratamientos.

#### 6. 1. 1 Caracterización física

Los resultados obtenidos de las determinaciones físicas de los suelos tomados de las zanjas donde posteriormente se ubicaron los tratamientos, se muestran en el Cuadro 5, las muestras fueron tomadas en el año 2010. El número de suelo corresponde al número de tratamiento que posteriormente fue establecido.

**Cuadro 5.** Características físicas de los suelos tomados de la zanja donde se ubicó cada tratamiento, en el año 2010.

Muestra	Textura	Dr (g cm <sup>-3</sup> )	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Porosidad Total %	Macro porosidad %	Micro Porosidad %
Suelo 1	Arena Francosa	2.67	1.44	46.06	34.7	11.36
Suelo 2	Arena Francosa	2.56	1.51	41.01	26.38	14.63
Suelo 3	Arena Francosa	2.62	1.48	43.51	30.5	13
	CC %	PMP %	HA %	Ks cm h <sup>-1</sup>		
Suelo 1	7.89	4.62	3.27	8.62		
Suelo 2	9.69	4.99	4.7	7.77		
Suelo 3	8.79	4.8	3.98	8.44		

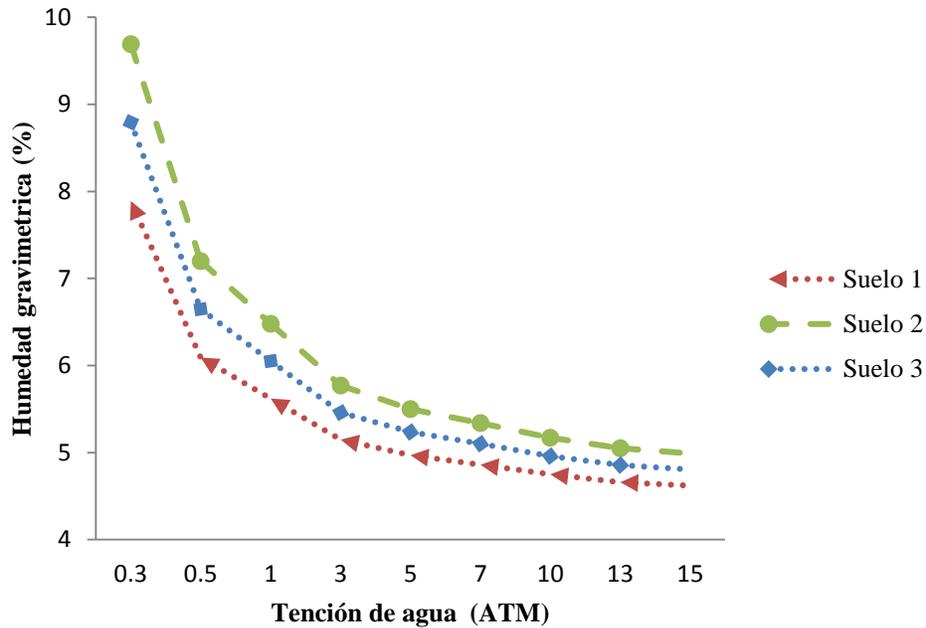
Las determinaciones físicas de caracterización realizadas a los suelos en donde se ubicó cada tratamiento muestran que se trata de un suelo con textura arena francosa, donde la presencia de arena es dominante. Los valores de Da encontrados en las muestras se

encuentran alrededor de un valor de  $1.5 \text{ g cm}^{-3}$  acorde a lo reportado por Flores *et al.* (2010) para un suelo similar, quien reporta valores de en un rango de  $1.4$  a  $1.6 \text{ g cm}^{-3}$ .

Los valores de  $D_r$  y  $D_a$ , sugieren que se trata de un suelo no muy compacto, aunque el grado de compactación real no fue determinado. Mientras que la macroporosidad representa un 70 a 75 % de la porosidad total lo que sugiere una velocidad de movimiento del agua alta, y una baja capacidad de retención dado que los valores de microporosidad representan un 25 a 30 % de la porosidad total. Estos valores acordes con los reportados por Scott (2000) quien refiere que en suelos arenosos, el espacio poroso va de 35 a 50 %, predominando los macroporos, en este tipo de suelos hay un rápido movimiento de aire y agua. Los valores encontrados de  $D_a$ , porosidad total, macroporosidad, microporosidad muestran congruencia con los valores encontrados de CC, PMP, HA y  $K_s$ .

En el Cuadro 5 se muestra que la CC presenta valores inferiores a los reportados por Flores *et al.* (2010) los cuales van en un rango de 10 a 20 % para un suelo similar. Mientras que los valores calculados para el PMP se encuentran dentro de los rangos reportados que van de 2 a 6 %. La humedad aprovechable encontrada se encuentra en el intervalo comprendido entre 3.27 a 4.7 %. En la Figura 8, se puede observar los valores de humedad aprovechable a diferentes tenciones, de las tres muestras de suelo.

## Curvas de Retención de Humedad



**Figura 8.** Curvas de retención de humedad del suelo en los sitios donde se ubicaron los tratamientos T1, T2 y T3.

La conductividad hidráulica tuvo valores entre  $7.77$  y  $8.62 \text{ cm h}^{-1}$ , que se encuentran dentro de los reportados por Flores *et al.* (2010) con valores en un rango de  $6-8 \text{ cm h}^{-1}$  se tiene una conductividad hidráulica moderadamente rápida, además de que estos valores obtenidos son acordes a la textura y porosidad de las muestras.

Las determinaciones físicas de caracterización realizadas a los suelos antes del establecimiento de los tratamientos muestran que se trata de suelos con textura arena francosa, con una  $D_a$  promedio de  $1.48 \text{ g cm}^{-3}$ , lo que indica que se trata de un suelo no compactado al tener una baja densidad aparente, y macro porosidad media de  $30.53\%$  que está relacionada con el valor de  $D_a$ . Se trata de suelos con una baja capacidad de retención

de humedad dado que la media de la humedad aprovechable para estos suelos es de 3.98 %.

Por lo que se puede concluir que son suelos con problemas de retención de humedad

### 6. 1. 2 Caracterización química

Los resultados obtenidos de las determinaciones químicas de los materiales usados en la preparación de las cepas-zanjas (Cuadro 6), revelan que el estiércol usado tuvo un pH extremadamente alcalino con un valor de 9.34 ligeramente arriba de lo reportado en la literatura, la paja presentó un pH de 5.8 correspondiente a un valor moderadamente ácido. La roca fosfórica presentó un valor bajo de P total 14.25 %, en comparación a los reportados que son de 25 y hasta 28 % de P (Fernández *et al.* 2004; Morillo *et al.*, 2007).

**Cuadro 6.** Características químicas de los materiales usados en el relleno de la cepa-zanja.

Muestra	PH	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	CIC Cmolkg <sup>-1</sup>	Fe %	Cu mgkg <sup>-1</sup>	Zn mgkg <sup>-1</sup>	Mn mgkg <sup>-1</sup>	B mgkg <sup>-1</sup>
Zeolita	ND*	ND	ND	ND	3381	165	24.6	ND	ND	3.2	ND	ND
Roca fosfórica	ND	ND	14.25	ND	5184	132	22.4	ND	ND	2.05	ND	ND
Carbón	ND	0.83	0.12	0.85	3.1	0.22	ND	0.81	27.15	31.8	418.8	123.6
Estiércol	9.34	1.22	0.26	1.18	0.66	0.18	37.6	0.38	64.15	80.6	223.7	113.1
Paja	5.8	0.51	0.04	0.33	1.08	0.13	22.5	0.072	11.88	23	147.5	77.5

\*ND = no determinado

## **6. 2 Resultados del análisis de varianza para el efecto de los tratamientos sobre las variables químicas**

### **6. 2. 1 Análisis por fecha de muestreo**

Los resultados del ANOVA por fecha de muestreo de la determinación del efecto de los tratamientos sobre las variables químicas N, P, Mg, Ca, K, S, Cu, Fe, Mn, pH, MO y CE se muestran en el Cuadro 7. El análisis de los datos recabados en las tres fechas de muestreos identificados como fecha 1, 2 y 3 corresponden al 14 de mayo, 23 de julio y 17 de septiembre del 2011, respectivamente. Las variables con un valor menor o igual a 0.05 muestran que existió efecto de los tratamientos sobre las mismas.

Se puede apreciar que para la fecha 1 solo mostraron diferencias estadísticas significativas las variables pH, CE, N, Mg, Ca, K, S y Fe. Mientras que en la fecha 2 las variables pH, CE, P, Mg, Ca, K y Fe tuvieron diferencias significativas. Para las fecha 3 las variables MO, pH, CE, P, Ca y Fe fueron las únicas que mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

En el Cuadro 7 se muestran los valores medios de las variables químicas para cada uno de los tratamientos por fecha de muestreo. Se observa que los niveles de MO se mantuvieron iguales en todos los tratamientos tanto en la fecha 1 y 2, mostrando solo diferencia estadística entre tratamientos para la fecha 3 en donde los tratamientos T1 y T2 difieren del T3 que presentó un valor bajo de MO.

Para las fechas 1 y 2 se presenta diferencias estadísticas en todos los tratamientos con respecto a la variable pH. En la fecha 3 el pH para los tratamientos T1 Y T2 fue

ligeramente alcalino, mientras que el T3 mostro un valor ligeramente acido, en todas las fechas analizadas. Núñez (2009) menciona que con valores de pH alcalinos o neutros, la descomposición de la MO se realiza, predominantemente por bacterias y actinomicetos, lo que implica una menor eficiencia en la generación de humus, comparada con la actividad que los hongos en un medio acido.

Los valore de N para el análisis de la fecha 1 muestran diferencias estadísticas en todos los tratamientos, para los análisis de la misma variable en fechas posteriores 2 y 3, los valores de N se igualaron en todos los tratamientos sin mostrar diferencias estadísticas significativas para ambas fechas. Encontrando que los valores medios de N en todos los tratamiento y fechas son superiores al valor normal reportado por Castellanos *et al.* (2000).

Los valores medios de P para todos los tratamientos y fechas se encuentran fuera del rango normal reportado por Castellanos *et al.* (2000). Los tratamientos uno y dos en las tres fechas evaluadas tienen un valor muy alto de P. Para el tratamiento tres los valores de P son bajo en la fecha uno y moderadamente bajo en la fecha dos y tres.

En la fecha 1 para la variable K el tratamiento T2 fue significativamente diferente a T1 y T3. Para las fechas 2 y 3 los valores de K no presentaron diferencias significativas entre tratamientos en ambas fechas.

Como era de esperarse, la MO presentó valores más altos en los tratamientos T1 y T2 que los valores registrados en el T3, esto para las tres fechas de muestreo, debido al aporte de paja y estiércol. Sin dudar que la única diferencia entre T1 y T2 es el mezclado, no se encontraron diferencias estadísticas significativas. El tratamiento T1 duplico el contenido de MO, mientras que el tratamiento T2 triplico el contenido de MO, ambos

respecto del tratamiento T3, que en promedio, presentó un contenido bajo. Los tratamientos uno y dos en todas las fechas, mostraron valores superiores al normal considerados ricos en MO (Castellanos *et al.*, 2000).

Los valores medios de S del tratamiento tres en las fechas uno y dos tienen un valor medio, mientras que para la fecha tres presenta un valor muy alto al igual que los valores medios de los tratamientos uno y dos en las tres fechas. El tratamiento dos en la fecha dos muestra un valor normal de Fe, para el resto de los tratamientos y fechas esta variable tiene valores arriba del normal. El comportamiento de la variable Mn en todos los tratamientos para la fecha uno está arriba del normal, encontrándose dentro del rango normal en las fechas dos y tres para todos los tratamientos. Los valores medios de Cu en todos los tratamientos y fechas son bajos. Los valores de referencia son los reportados por Castellanos *et al.* (2000).

Otro punto importante a resaltar, es que el valor medio de todas las variables estudiadas en esta investigación para los tratamientos T1 y T2, exceptuado Fe y Mn, fueron superiores a los valores medios del tratamiento T3, lo que sugiere que la cantidad de materia orgánica presente en un suelo determina la fertilidad (Carrión, 1996). Sin embargo durante el proceso de mineralización y liberación de nutrientes se presentaron eventos que retardaron e hicieron incompleta la descomposición de la MO, como son exceso de humedad, pH alcalino y probablemente pérdidas de N por lixiviación.

**Cuadro 7.** Comparación de medias para las variables químicas determinadas en cada tratamiento ordenadas por fecha de muestreo

Tratamiento	Variable											
	MO	pH	CE	Ni	P- olsen	Mg	Ca	K	S-SO4	Cu	Fe	Mn
	%		μS	Ppm	Ppm	Intercambiable				DTPA		
						me /100 g				ppm		
Fecha 1												
T1	2.963a*	7.11b	476ab	152.13a	54.33a	1.31ab	4.03ab	4.03ab	20.47ab	0.36a	12.95b	14.57a
T2	3.197a	8.32a	880a	108.27b	120a	2.43a	7.5a	6.03a	79.47a	0.6a	13.57a	14.48a
T 3	1.173a	6.25c	55b	63.13c	7a	0.70b	1.45b	1.67b	5.07b	0.39a	18.14a	12.59a
Fecha 2												
T1	2.436a	7.73b	228.6a	55.53a	65.73ab	1.53a	5.820a	1.85a	7.067a	0.470a	12.613ab	9.333a
T2	3.013a	8.12a	263.67a	47.6a	75.07a	1.83a	8.867a	2.496a	9.80a	0.506a	11.157b	9.403a
T3	1.966a	6.53c	61.50b	46.2a	13.13b	0.616b	1.597b	1.416a	5.033a	0.446a	17.307a	11.79a
Fecha 3												
T1	3.1533a	7.750a	232.53a	44.30a	68.30a	1.9067a	5.507ab	1.653a	14.833a	0.530a	13.773b	9.483a
T2	3.820a	7.86a	228.90a	60.20a	93.40a	1.280a	7.980a	1.670a	13.00a	0.606a	13.133a	10.04a
T3	1.540b	6.203b	90.10b	51.80a	13.83b	0.623a	1.513b	1.083a	12.10a	0.443a	19.763a	10.893a

\*Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ )

### 6. 2. 2 Efecto del tiempo sobre las variables químicas

Un segundo análisis estadístico fue realizado con los datos de las determinaciones químicas obtenidas, este análisis se realizó sin tomar en cuenta las fechas de muestreo, lo anterior con la finalidad de ver si se tenía efecto del tiempo sobre cada una de las variables probadas, para esto los resultados se agruparon por tratamiento (Cuadro 8). Bajo este análisis las variables N, P, K, S, Cu, Fe, MO, pH, CE, Mg, Ca, presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Siendo Mn la única variable que no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

**Cuadro 8.** Comparación de medias de las determinaciones químicas evaluadas en cada tratamiento promedio de las fechas de muestreo.

Tratamiento	Ni	P-olsen	S-SO4	Cu	Fe	Mn
	DTPA					
	mg kg <sup>-1</sup>					
T1	83.98a <sup>*</sup>	62.79a	14.12b	0.45ab	13.11b	11.12a
T2	72.02a	96.18a	34.08a	0.57a	12.62b	11.30a
T3	53.71b (0.001) <sup>&amp;</sup>	11.32b (0.0004)	7.4b (0.0059)	0.42b (0.0157)	18.40a (0.0001)	11.76a (0.5303)
	MO %	pH	CE µS	Mg	Ca	K
	me/100 g					
T1	2.85ab	7.53b	312.38a	1.582a	5.118b	2.51b
T2	3.34a	8.10a	457.63a	1.85a	8.115a	3.40a
T3	1.56b (0.0091)	6.32c (0.0001)	68.86b (0.0002)	0.647b (0.0004)	1.522c (0.0001)	1.39c (0.0001)

<sup>\*</sup> Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ )

<sup>&</sup> los valores entre paréntesis menores o iguales a 0.05 presentan diferencias estadísticas significativa

Los valores medios de la MO para los tratamientos T1 y T2 son superiores y al valor medio del T3 para la misma variable. Un comportamiento similar se registró en las variables N, P, cuyos valores medios en los tratamientos uno y dos también fueron

superiores a los del tratamiento tres. Dimas *et al.* (2001) reporta que el valor de la MO aumenta en el suelo después de la aplicación de abonos orgánicos, observando un aumento en las concentraciones de N, P, esto debido a que los abonos orgánicos liberan nutrientes durante su mineralización. Lo cual es congruente con los resultados encontrados.

El pH ligeramente alcalino de los tratamientos dos y tres, puede haber afectado la liberación de Mn dado que este elemento forma complejos muy estables con la MO, que lo hace no aprovechable, esta condición se acentúa cuando el pH es ligeramente alcalino factor que limita la disponibilidad de Mn. (Núñez, 2009). Castellanos *et al.* (2000) reporta un pH de 6.3 a 7.3 como el valor óptimo para el desarrollo del durazno. Solo el tratamiento tres presento un valor de pH óptimo, el tratamiento uno y dos presentaron un valor ligeramente alcalino y alcalino respectivamente, por arriba del valor normal reportado. Estos resultados sugieren la conveniencia de incorporar un poco de azufre para contrarrestar el efecto alcalino de la reacción de los materiales y proveer así, condiciones más favorables para el establecimiento de los árboles de durazno.

Castellanos *et al.* (2000) en un estudio de nutrición de durazno reporta que el valor normal estándar de MO en un suelo para el desarrollo óptimo de duraznos está en el rango de 1.8 a 2.3 %, en este trabajo solo el tratamiento uno está dentro del rango reportado como normal, mientras que el tratamiento dos está arriba de lo normal, sin saber si llega a un valor excesivo pues este no se reporta. El tratamiento tres está ligeramente abajo del valor normal reportado, lo que implica que el desarrollo de los árboles de durazno en este tratamiento se verán limitados en alguna etapa de su desarrollo.

Los valores medios de N encontrados son normales para el tratamiento tres y excesivos para los tratamientos uno y dos. El valor medio de P para el T3 está ligeramente por debajo del normal, y en los tratamientos T1 y T2 en exceso. Para todos los tratamientos el valor medio de K es muy bajo. El nivel de Fe es normal para el T2 y arriba del normal para T1 y T3. El valor medio de Mn para todos los tratamientos es normal. Para todos los tratamientos los valores medios de Cu son bajos. Los valores normales son los reportados por Castellanos *et al.* (2000) para el cultivo de durazno. El valor medio de S es medio para T3 y muy alto para T1 y T2 (NOM-021).

### **6. 3 Resultados del análisis de varianza para el efecto de los tratamientos sobre las variables físicas**

#### **6. 3. 1 Análisis por fecha de muestreo**

Los resultados del análisis estadístico aplicado a las variables física Da, Dr, porosidad total, macro y micro porosidad, CC, PMP, HA y Ks realizadas por fecha de muestreo, muestran que las Dr, macro porosidad, HA, Ks no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para ninguna de las fechas evaluadas.

La variable Da mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en todas las fechas analizadas, una razón para explicar este comportamiento se basa en el hecho de que la Da adquiere valores muy variables aun en un mismo tipo de suelo, y es muy afectada por las actividades de manejo y calidad de la MO (Warrick, 2002). Lo que muestra que esta variable si se vio afectada por los tratamientos. León-Artera (2003) reporta que una excesiva densidad aparente afecta el desarrollo de las plantas por que inhibe la penetración de las raíces y su desarrollo, este efecto para suelos de textura gruesa

se presenta cuando la Da alcanza un valor de  $1.6 \text{ g cm}^{-3}$ . Sin embargo el valor medio de la Da para todos los tratamientos no excede el valor reportado por León-Artera, lo que implica que el desarrollo radical de los árboles de durazno no se vera afectado.

En el Cuadro 9 se muestran los resultados de la comparación de medias para las variables físicas de los diferentes tratamientos, ordenadas por fechas de muestreo. Se puede observar que las variables CC y PMP presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, al menos en una de las fechas, sin embargo la HA no mostro diferencias significativas para ninguna de la fechas evaluadas.

**Cuadro 9.** Comparación de medias para las variables físicas en cada tratamiento ordenadas por fecha de muestreo

Tratamiento	Dr	Da	Porosidad Total	Macro porosidad	Micro Porosidad	CC	PMP	HA	Ks
	(g cm <sup>-3</sup> )				%				cm h <sup>-1</sup>
Fecha 1									
T1	2.613a*	1.47a	43.74b	27.65a	16.09a	10.95a	5.757a	5.19a	5.83 <sup>a</sup>
T2	2.63a	1.36b	48.28a	30.24a	18.03a	13.31a	9.057a	4.25a	9.31a
T3	2.623a	1.49a	42.93b	28a	14.93a	9.97a	4.4a	5.57a	10.17a
Fecha 2									
T1	2.623a	1.37b	47.16a	31.64a	16.13a	11.78a	6.27a	5.50a	10.67a
T2	2.623a	1.36b	48.16a	30.89a	17.26a	12.71a	7.28a	5.42a	1.06a
T3	2.61a	1.48a	43.30b	30.06a	13.24a	8.93a	4.75b	4.18a	1.31a
Fecha 3									
T1	2.62a	1.42ab	45.8a	28.61a	17.19b	12.09b	6.68ab	5.41a	16.76a
T2	2.62a	1.36b	48.07a	28.58a	20.74a	15.30a	8.66a	6.64a	8.65a
T3	2.65a	1.48a	44.02a	27.33a	15.44b	10.41b	4.74b	5.66a	14.99a

\*Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ )

### 6. 3. 2 Efecto del tiempo sobre las variables físicas

Los resultados del ANOVA para determinar la existencia de efectos de tratamientos sobre las variables físicas  $D_a$ ,  $D_r$ , porosidad total, macro y micro porosidad, CC, PMP, HA y  $K_s$ , sin tomar en cuanta las fechas de muestreo se muestra en el Cuadro 10. Se puede observar que las variables  $D_a$ , CC, PMP, porosidad total y micro porosidad presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. De estos resultados se puede inferir que los cambios efectuados durante el proceso de preparación de los tratamientos, como la adición de materia orgánica, son los responsables de las variaciones encontradas en esta investigación. Las variables  $D_r$ , HA,  $K_s$  y macro porosidad no presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

**Cuadro 10.** Comparación de medias de las determinaciones físicas evaluadas en cada tratamiento, promedio de las fechas de muestreo.

Tratamiento	Porosidad Total	Macro porosidad	Micro Porosidad	CC	PMP	HA
			%			
T1	45.77b*	29.3a	16.47b	11.6b	6.23b	5.37a
T2	48.17a	29.48a	18.68a	13.77a	8.33a	5.44a
T3	43.42c	28.88a	14.54b	9.77c	4.63c	5.14a
	(<.0001) <sup>&amp;</sup>	(0.7204)	(0.0008)	(0.0002)	(0.0001)	(0.7177)
	$D_r$	$D_a$		$K_s$		
	$g\ cm^{-3}$			$cm\ h^{-1}$		
T1	2.62a	1.42b		11.08a		
T2	2.62a	1.36c		8.82a		
T3	2.63a	1.48a		6.34a		
	(0.7275)	(<.0001)		(0.4754)		

\* Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ )

<sup>&</sup> los valores entre paréntesis menores o iguales a 0.05 presentan diferencias estadísticas significativa

#### 6. 4 Resultados del análisis de humedad

El análisis estadístico de los datos tomados con el TDR en doce fechas, muestran que hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para las dos profundidades analizadas (11.93 y 20.06 cm). Siendo el tratamiento dos el de mayor contenido de humedad, seguido por el tratamiento uno y finalmente el tratamiento tres con la menor cantidad de humedad en el suelo. Estas diferencias pueden observarse en el Cuadro 11.

**Cuadro 11.** Comparación de medias para el contenido de humedad ( $\theta$ ) en los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Contenido de humedad ( $\theta$ )	
	Profundidad	
	11. 93 cm	20.06 cm
T1	11.8874 b*	16.7044b
T2	14.3392a	20.0833a
T3	8.3792c	11.0831c

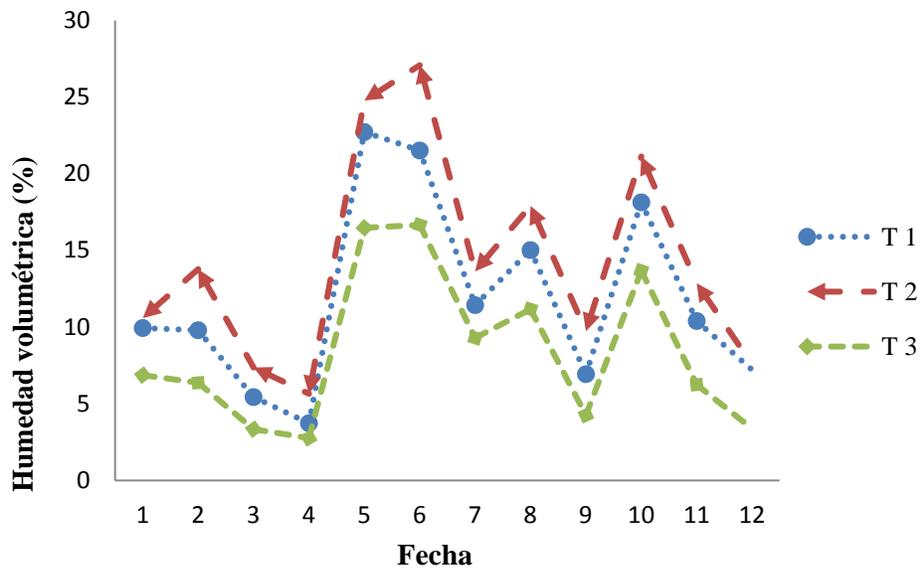
\*Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ )

Las diferencias en el contenido de humedad entre tratamientos, puede ser atribuida a la cantidad de materia orgánica adicionada a los tratamientos 1 y 2, siendo estos los que presentaron un mayor contenido de humedad, en la dos profundidades de muestreo. Estos resultados son similares a los encontrados por Castellanos (1982) y Dimas *et al.* (2001), quienes observaron que el contenido de humedad aumenta debido a prácticas de aplicación de abonos orgánicos, ya que disminuye la densidad aparente; se incrementa la porosidad y se modifica la estructura al mejorar la formación de agregados, todo ello influye en un aumento de la retención de humedad.

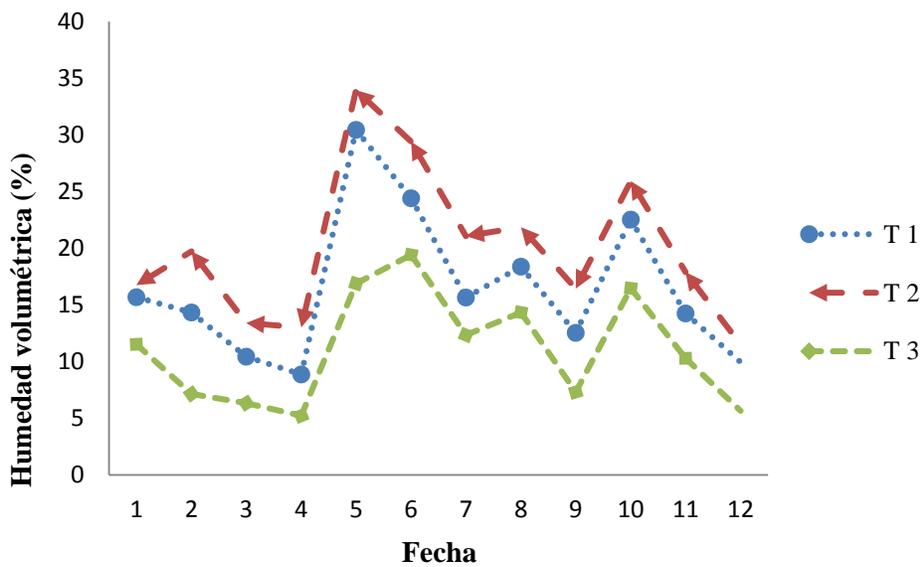
Entre el tratamiento 1 y 2 se encontraron diferencias significativas que se explican al efecto de volteo y no volteo de los tratamientos, donde el voltear, el materia con que se preparó la cepa-zanja para el tratamiento 1, repercutió en una menor cantidad de humedad. El tratamiento 3 presentó el menor contenido de humedad dado que es el tratamiento con el valor más bajo de materia orgánica. Hurang (2004) menciona que los aportes de materia orgánica al suelo incrementan el tamaño y la estabilidad de los agregados, fomentando una mayor actividad microbiana y favoreciendo la fertilidad física del suelo, a la vez, se modifica la hidrodinámica y la capacidad del suelo para almacenar agua disponible para los cultivos.

El comportamiento de los contenidos de humedad en función del tiempo para los T1, T2 y T3 se muestra en la Figura 9. En ésta, se puede observar que el comportamiento de la humedad para todos los tratamientos tiene un patrón similar, sin embargo es el T2 quien presenta el mayor contenido de humedad, para todas las fechas evaluadas, seguido del T1 y con el menor contenido de humedad se tiene al T3. Esto se presentó en las dos profundidades muestreadas y a lo largo de todas las fechas.

### Valores medios de $\theta$ a 11.93 cm



### Valores medios de $\theta$ a 20.06 cm



**Figura 9.** Valores medios de humedad volumétrica por tratamiento en dos profundidades.

## 6. 5 Resultados de la velocidad de infiltración e infiltración acumulada

Los resultados obtenidos del análisis estadístico para la velocidad de infiltración como de la infiltración acumulada muestran que no se tuvieron diferencias estadísticas significativas, como se puede ver en el Cuadro 12. Sin embargo en términos absolutos el tratamiento T2 tuvo la mayor velocidad de infiltración, seguido del T3, por último el T1.

Los resultados obtenidos son contrarios a lo esperado, se esperaba que la velocidad de infiltración fuera mayor en el T3, dado que en suelos de textura gruesa se favorece la infiltración Ortiz *et al.* (1988), mientras que en los tratamientos uno y dos se esperaba una menor velocidad de infiltración dados los aportes de materia orgánica aplicados a estos tratamientos. Sin embargo Ortiz *et al.* (1988), también señala que la presencia de altas proporciones de materia orgánica sin descomponer en el suelo propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo. Lo que explicaría los resultados encontrados en esta investigación, tanto para la velocidad de infiltración, como para la infiltración acumulada.

**Cuadro 12.** Comparación de medias para la velocidad de infiltración e infiltración acumulada en los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Velocidades de infiltración Acumuladas a los 10 (cm h <sup>-1</sup> )	Infiltración Acumulada (cm h <sup>-1</sup> )
T1	1146.7a*	20.520a
T2	1571.8a	27.547a
T3	1489.7a	24.883a

\*Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ )

Los resultados del análisis estadístico para la infiltración acumulada no muestran diferencias estadísticas significativas entre tratamientos pero en términos absolutos el

tratamiento dos mostró una mayor infiltración acumulada, seguido del tratamiento uno, estos dos tratamientos superaron al tratamiento tres. Esto puede explicarse dado que a mayores contenidos de M.O. hay una mayor estabilidad de los agregados que favorecen a la presencia de macroporos y con esto a una mayor velocidad de infiltración y mayor capacidad de retención de humedad.

La velocidad de infiltración está relacionada con la conductividad hidráulica de los suelos, el valor de la velocidad de infiltración básica ( $K_b$ ) debe ser cercano al valor de la conductividad hidráulica. En el Cuadro 13, se muestran los valores medios por tratamiento de  $K_b$  y  $K_s$ . Se observa que los valores medios de  $K_b$  son superiores a los valores de  $K_s$ , esta diferencia puede ser atribuida a la dificultad de estimar este parámetro y bajo condiciones seguras y confiables, los métodos de estimación se alejan de predecir fielmente su medida a punto que cada metodología presenta sus propias limitaciones (Coello, 2007).

**Cuadro 13.** Comparación de los valores medios de infiltración básica y conductividad hidráulica por tratamiento.

Variable	T1	T2	T3
$K_b$ (cm h <sup>-1</sup> )	30.53	26.9	33.16
$K_s$ (cm h <sup>-1</sup> )	11.08	8.82	6.34

## 6. 6 Resultados del Incremento de altura y supervivencia de árboles

El análisis del incremento de altura se realizó tomando una lectura inicial el día 30 de abril y una lectura final el día 7 de noviembre del 2011. A los datos obtenidos se promediaron para realizar el análisis estadístico (Cuadro 14). El tratamiento tres mostró un incremento significativo en la altura de árboles de durazno, seguido del tratamiento uno,

mientras que el menor incremento se registró en el tratamiento dos, el cual fue significativamente diferente del tratamiento tres y uno.

El tratamiento tres mostro ser el tratamiento con mayor incremento en altura, sin embargo este incremento no se puede asociar directamente al efecto de tratamiento, ya que la ubicación que tuvo el tratamiento tres se vio favorecida por la presencia de una cortina rompe vientos de jarilla (*Senecio salignus Dc.*), que probablemente ejerció una influencia positiva sobre los árboles de durazno ubicado en este tratamiento, al proporcionarles protección contra vientos, heladas y sombra en algún momento del día, así como regulador de la temperatura (micro clima) y protegiendo de la escorrentía. Tanto el tratamiento T1 Y T2 no contaron con esta condición de protección por lo que no se puede inferir alguna influencia de los tratamientos sobre el incremento en altura encontrados.

**Cuadro 14.** Comparación de medias para el incremento en altura y supervivencia de árboles de durazno.

Tratamiento	Incremento de altura de árboles (cm)	Árboles vivos (árbol)
T1	38.560 ab*	36.667ab
T2	26.20b	25.00b
T3	56.977a	41.333a

\*Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ )

El análisis estadístico revela que el tratamiento tres, con una diferencia estadística significativa, presento el mayor número de árboles vivos, después el tratamiento uno y finalmente con el menor número de árboles vivos el tratamiento dos (Cuadro 15).

El tratamiento con mayor porcentaje de supervivencia de árboles fue T3, seguido de T1 y con un menor porcentaje el T2. Se esperaba que los tratamientos uno y dos, presentaran los menores índices de mortalidad de árboles, esto debido a la aportación de MO y la mayor retención de humedad en estos tratamientos. Sin embargo, los resultados encontrados para el porcentaje de supervivencia de árboles no se pueden atribuir al efecto de los tratamientos, si no, a una serie de eventos climatológicos que afectaron en forma negativa el número de árboles en los tratamientos T1 y T2 (Cuadro 15).

Entre los factores climatológicos que afectaron el porcentaje de supervivencia de árboles de durazno en los tratamientos T1 y T2, se encuentran dos precipitaciones que causaron inundación en las zanjas y una acumulación de material de arrastre, que tapó a varios de los árboles, siendo la zanja del tratamiento dos la más afectada, provocando la muerte de varios árboles. Otro fenómeno que disminuyó el porcentaje de árboles vivos, fueron las heladas que se presentaron en junio del 2011, las cuales no afectaron al tratamiento tres, dado que este se ubicó a lado de una cortina rompe vientos de jarilla (*Senecio salignus Dc.*), la cual probablemente protegió contra viento y heladas, proporcionando un micro clima. Condición que no tuvieron los tratamientos uno y dos, por lo que resultaron más afectados.

**Cuadro 15.** Porcentaje de supervivencia de árboles de durazno por tratamiento

Árboles	Tratamiento		
	T1	T2	T3
vivos	68	50	82.7
muertos	32	50	17.3

## 7 CONCLUSIONES

El sistema Huerto Vivero incrementó los niveles de MO y de algunos macro y micro nutrientes (N, P, Mg, Ca, K, S, Cu), mejorando la retención de humedad e incrementando la fertilidad del suelo. Para este sistema, parece ser más conveniente colocar los materiales sin mezclar en la cepa-zanja, para proveer mejores condiciones físicas y químicas para el establecimiento de durazno.

En promedio, el sistema Huerto Vivero incrementa los valores de las variables químicas (MO, CE, N, P, Mg, Ca, K, S, Cu) comparado con el sistema convencional. Propiedades físicas como la Da, CC y PMP también se ven favorecidas con la tecnología propuesta lo que indica mejores condiciones para el desarrollo radical de los árboles de durazno.

En el tratamiento convencional, los árboles presentaron el mayor incremento en altura y mayor porcentaje de supervivencia de árboles, este tratamiento se vio favorecido por la presencia de una cortina rompe vientos de jarilla (*Senecio salignus* Dc).

## **8 RECOMENDACIONES**

Dado que el periodo de muestreo para este trabajo fue de solo seis meses y en el periodo de lluvias, se recomienda que se realice un seguimiento del contenido de humedad en el periodo de sequía.

Dado que las variables físicas de un suelo no se modifican en periodos cortos de tiempo, se recomienda muestrear estas variables por un periodo más largo de tiempo para determinar si existe un cambio que pueda ser asociado al efecto de los tratamientos.

El análisis biológico del sistema Huerto Vivero no se realizó por lo que se recomienda hacerlo para tener la caracterización del sistema Huerto Vivero completa.

## 9 LITERATURA CITADA

- Aguilera S, M. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Valdivia, Chile. Boletín 14:77-85.
- Bajaña L, D., M Quilambaqui., C. Ayala. 2004. Uso de las zeolitas naturales bloque tecnológico experimental de las zeolitas (BTEZ) de la espol del cultivo del maíz (Zea maíz L.). Tesis profesional. Universidad Agraria de Ecuador. 128 p.
- Bidwell R, G. S. 1979. Fisiología vegetal. A.G.T. Editor.
- Carrión, M. 1996. La agricultura urbana y el desarrollo rural sostenible. Agricultura del hogar. Seminario Taller Regional. FIDA/ CIARA. p. 58 –72.
- Castellanos R, J. Z. 1982. La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Tlaxcala, Coahuila, México. Seminarios técnicos 7(8):32
- Castellanos J, Z., Uvalle-Bueno J, X., Aguilar-Santelises A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2a edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Guanajuato, México.
- Capistrán F, E. Aranda. JC Romero. 2001. Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. Instituto de Ecología de Xalapa, Veracruz. México. 150 p.
- Chica T, F J., B Londoño L M., H Álvarez M I. 2006. La zeolita en la mitigación ambiental. Colombia, Lasallista 3(001):30-34
- Coello C, B., De Bièvre, Pacheco E., Cisneros P. 2007. Análisis de métodos de estimación de la conductividad hidráulica saturada en suelos degradados. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Comerford, N. 1999. Mecanismos de captación de nutrimentos en ecosistemas forestales: de cómo interpretar la fertilidad en el contexto de la conservación de recursos genéticos. en: Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 127-135 pp.
- Cox, A.E., B.C. Joern, S.M. Brouder y D. Gao. 1999. Plant available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 902-911.
- Dimas L, J., Díaz E, A., Martínez R, E., Valdez C, R. D. 2001 Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo en maíz. Universidad Autónoma Chapingo. Terra Latinoamericana 19(004): 293-299.

- FAO. 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports Rome 96:58.
- Fernández L, L C., Rojas A, N G., Roldán C, T G., Ramírez I, M E., Zegarra M, H G., Uribe H, R., Reyes A, R J., Hernández F, D., Arce O, J M. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelo aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México. 35-40 pp.
- Fernández M, S., Meza A, C. 2004. Efecto residual de la roca fosfórica de riecito modificada por calcinación o acidulación sobre plantas de maíz en suelos con niveles variables de calcio. Universidad Centro-Occidente Lisandro Alvarado, Barquisimeto-Cabudare, Venezuela. Bioagro 16(002): 93-98.
- Flores D, L., Alcalá M, J. R. 2010. Manual de procedimientos analíticos, laboratorio de física de suelos. Departamento de edafología, Instituto de Geología, Universidad Autónoma de México. 56 p.
- González C., C Ferrera R. 2000. Roca fosfórica y glomus en el crecimiento de naranjo agrio. Universidad Autónoma Chapingo. Terra Latinoamericana 18(004):361-367.
- Guerrero S, J I. 2011. Manejo Agroecológico del duraznero (*Prunus pérsica* L. Batsch) Fundamentos y Experiencias. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. México. 142 p.
- Gutiérrez B. 2003. La Agroforestería como alternativa productiva económica, social y ambiental para el país. En Memorias de la conferencia Internacional de Bosques, Colombia: País de bosques y vida. Meter Saille/Mara Ángela Torres, editores.
- Hacher L. E., Kosson, D. S., Young, L. Y., Cowan, R. M. 2001. Measurement of Iron (III) bioavailability in pure iron oxide minerals and soils using anthraquinone-2,6-disulfonate oxidation. Environ Sci Technol. 35:4886-4893.
- Hernández S, J. G Hilario. R., J. de Dios y S. Marciano M. 2001. Seguimiento y evaluación de la operación Proyecto Sol del Estado de Tlaxcala. SAGARPA, Gobierno del Estado, Fundación Produce y Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Tlaxcala, Tlax.
- Huang, P. M. 2004. Soil mineral – organic matter – microorganism interactions: fundamentals and impacts. Adv. Agron. 82:391-472
- INEGI. 2007. Censo agrícola, ganadero y forestal. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=17177&s=est>
- Jaevons J. 1991. Cultivo biointensivo de alimentos, mas alimentos en menos espacio. Ecology action. Estados Unidos. 35 pp.

- Krull E, S., J Skjemstad O., J Baldock A. 2004. Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Grains Research & Development Corporation report Proyect No CSO 00029.
- Lavelle P. and A Spain V. 2002. Soil ecology. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam.
- Leiva F, R. 1998. Sostenibilidad de sistemas agrícolas. Agronomía Colombiana. Vol. XV(2) 181-193 pp.
- León-Arteta, R. 2003. Manual edafológico de campo. Textos universitarios, Universidad Veracruzana. México. 205 p.
- Litterick A, M., Harrier L. 2004. The Role of Uncomposted Materials, Composts, Manures, and Compost Extracts in Reducing Pest and Disease Incidence and Severity in Sustainable Temperate Agricultural and Horticultural Crop Production—A Review. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 23(6):453-479
- Loja G. y V. Pinos. 1996. Manual de Prácticas Agroecológicas de los Andes Ecuatorianos. CAREPROMUSTA. Quito. Ecuador.49-52 pp.
- López A., Chacón L., Paz M., 1990. Efecto residual a nivel de invernadero de tres rocas fosfóricas del Estado Táchira usando maíz como cultivo indicador. XI congreso Venezolano de la ciencia del suelo. 24-25 pp.
- Magdaleno M, L., García M., Valdéz-Hernández E., J. de la Cruz I. 2005. Evaluación del Sistema Agroforestal “Arboles en Terrenos de Cultivo” en Vicente Guerrero, Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28 (3):203-212.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres. 7-73, 285-299 pp.
- Medina M, J., Volke H, V.H., González R, J., Galvis S, A., Santiago C, M. J., Cortés F, J.I. 2006. Camios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en Luvisoles del Estado de Campeche. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México. *Revista Universidad y Ciencia* 22(002): 175-189.
- Morillo A., Sequeda O., Ramirez R. 2007. Roca fosfórica acidulada como fuente de fósforo en un suelo ácido con o sin encalado. Universidad Centro-Occidente Lisandro Alvarado, Barquisimeto-Cabudare, Venezuela. *Bioagro* 19(003): 161-168.
- Muñoz S, G., Rodríguez A, J. 2000. Establecimiento de un huerto de durazno. SAGARPA.
- Muñoz I. D. J., Mendoza C. A., López G. F., Soler A. A., Hernández M. M. M. 2000 Manual de análisis de suelo. Edafología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM, México.

- NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial, 31 de diciembre de 2002.
- Núñez E, R. 2009. El suelo como medio natural en la nutrición de los cultivos, en Nutrición de Cultivos. Colegio de Posgraduados, México. 93-157 pp.
- Palacios-Vélez E. 2002. ¿Por qué , cuándo, cuánto y cómo regar? Para lograr mejores cosechas. Trillas, México. 214 p.
- Pérez J, J., Huerta I. 2002. Agroforestería y Ética Ambiental en la Gerencia de Sistemas de Producción. Revista Venezolana de Gerencia 7(017):64-74.
- Pino A., Repetto C., Mori C., Perdomo C. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. Universidad Autónoma Chapingo. Terra Latinoamericana 26(1):43-52
- Ortiz V.B. y Ortiz S. C.A.1988. Edafología. Chapingo, México. 372 p.
- Roth, K., Schulin, R., Fluhler, H., y Attinger, W. 1990. Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach. Water Resour. Res. 26: 2267-2273.
- SAGARPA (Secretaría de Ganadería, Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2008. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.<http://www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=1043&tipo=1>
- Saldaña G, H. 1994. Oro de Tlaxcala cultivo de un duraznero con futuro. Tlaxcallan. Tlaxcala. 135p.
- Sánchez H, R., CH Ordaz V., B Sergio G., M Hidalgo C I., L Palma D. 2005. Cambios en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricompostos de cachaza y estiércol. Interciencia. Caracas, Venezuela 30(012):775-779.
- Santamaría R, S., C Ferrera R. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* en diferentes residuos orgánicos. Terra 20:303-310.
- Santiago M, E., F Cortes J I., F Turren A., R Hernnandez E., C Jaen D. 2008. Calidad del fruto del durazno en el sistema milpa intercalada con árboles frutales en laderas. Agricultura técnica en México 34(002):
- Scott H, D. 2000. Soil physics. Agricultural, and environmental applications. Iowa State University Press. USA. 421pp.

- Sequera O., Ramírez R. 2003. Fosforo, Calcio y Azufre disponibles en la roca fosfórica acidulada con ácido sulfúrico y tiosulfato de anomio. *Interciencia*, Venezuela 28(010):604-610.
- Swift R, S. 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.* 166:858-871.
- Szetern, MGA. D. y Pravia, A. M. 1996. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud (OPS). 69p.
- Tisdale S, L., Nelson W, L. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Montenar y Simon, S.A. Bercelona, España. 358 p.
- Tsitsihvili G, V., Andronikashvili T, G., Kirov G, N., Filizova L, D. 1992. Natural Zeolites. Ellis Horwood, Nueva York. 101-204 pp.
- Wild, A. 1989. Potasio, sodio, calcio, magnesio, azufre y silicio. en: Wild, A. (ed.). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 783-818 pp.
- Walker, J. P., Willgoose, G. R., y Kalma J. D. 2004. In situ measurement of soil moisture: a comparison of techniques. *J. Hydrol.* 293: 85-99.
- Warrick A, W. 2002. *Soil physics companion*. CRC PRESS. Washington D.C., USA. 389p.