



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS



**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**MANEJO DE ENMIENDAS EN CEPA-ZANJA EN UN SISTEMA
AGROFORESTAL DE DURAZNO ASOCIADO CON LEGUMINOSAS**

TESIS

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

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

PRESENTA:



JOSÉ INOCENCIO GUERRERO SALINAS

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
FACULTAD DE SERVICIOS ESCOLARES
CENTRO DE ESTUDIOS PROFESIONALES

Chapingo, Texcoco, Estado de México, junio de 2015

**MANEJO DE ENMIENDAS EN CEPA-ZANJA EN UN SISTEMA
AGROFORESTAL DE DURAZNO ASOCIADO CON LEGUMINOSAS**

**Tesis realizada por José Inocencio Guerrero Salinas 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. Ranferi Maldonado Torres

ASESOR:



Dra. María Edna Álvarez Sánchez

ASESOR:



Dr. David Cristóbal Acevedo

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.

Al Dr. Ranferi Maldonado Torres, por la dirección del presente trabajo de investigación.

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.

A la Dra. Carmen Ybarra, por la asesoría y apoyo con material bibliográfico para el análisis estadístico.

A Erika Herrera por su incansable ayuda para el análisis químico de las muestras de suelo.

A Javier Cervantes por su apoyo en la toma de datos de cada lluvia.

A los señores Abel, Maurino, Francisco, Arón, Gerónimo y Alfonso, por el apoyo en las labores de preparación, establecimiento y mantenimiento del experimento.

DATOS BIOGRAFICOS

José Inocencio Guerrero Salinas nació el 12 de julio de 1959 en San Luis de la Paz, Guanajuato, en 1978 terminó sus estudios como Técnico Frutícola. En 1986 egresó de la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Desde 1986 y hasta la fecha, se desempeña como profesor-investigador de esa institución.

Como parte del personal académico de la UACH, ha desarrollado actividades de asesoría técnica y capacitación a productores, sobre diversos temas de apicultura y fruticultura. Ha impartido 41 ponencias y talleres con diferencias instancias en el ámbito local y nacional, y ha sido responsable de 30 cursos formales impartidos en los departamentos de Agroecología y Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Ha publicado como Coautor en las Memorias: Foro la Problemática Agropecuaria y Forestal de la Región de Tetela de Ocampo, Puebla en 1994. Primer Encuentro Estatal de Ciencia y Tecnología del Sector Agropecuario y Forestal de Tlaxcala en 1994; Evaluación del Servicio Universitario de la UACH en 1995; Curso-taller Capacitación para la producción de durazno y ciruelo, en Concepción Hidalgo, municipio de Alzayanca Tlaxcala en 1996.

Es autor de los Videos: Durazno Oro de Tlaxcala, cultivo alternativo para el municipio de Alzayanca, Tlax. En 1996; La Producción de manzana y durazno en el Estado de Chihuahua. VHS, Chapingo, Méx., en 1996; Cría Inducida de Abejas Reinas. VHS, Chapingo, Méx., en 1996; y Coautor del libro: Estimación de rendimientos en el Sector Agropecuario. Editado por UACH-CIESTAAM. En 2013.

MANEJO DE ENMIENDAS EN CEPA-ZANJA EN UN SISTEMA AGROFORESTAL DE DURAZNO ASOCIADO CON LEGUMINOSAS.

AMENDED MANAGEMENT IN PIT-TRENCH IN AN AGROFORESTRY SYSTEM OF PEACH ASSOCIATED WITH LEGUMINOUS.

José Inocencio Guerrero Salinas¹ y Ranferi Maldonado Torres²

RESUMEN

Como una alternativa a la fruticultura convencional de temporal, se estableció un sistema agroforestal de durazno (*Prunus persica* L. Batsch) asociado con leguminosas arbóreas, en el estado de Tlaxcala, México. Se evaluaron los cambios ocurridos en un periodo de 12 meses, en algunas propiedades físicas y químicas del suelo. Diez tratamientos fueron comparados: tres profundidades de cepa-zanja (0.5, 1.0 y 1.5 m) donde se colocaron capas de materiales para composteo *in situ*: arena de río, rastrojo de maíz (*Zea maíz*) molido, zacatón (*Epicampes* sp.) fresco, estiércol, carbón de encino (*Quercus* sp.), zeolita, roca fosfórica y tierra; en cada nivel de profundidad se aplicaron tres dosis de zeolita (2.5, 5.0 y 10.0 t ha⁻¹). El diseño experimental fue en bloques al azar con cinco repeticiones y arreglo en parcelas divididas; la parcela grande fue la profundidad de cepa y la chica, las dosis de zeolita. La humedad se midió mensualmente con TDR; el análisis químico se realizó a los 4, 8 y 12 meses de maduración de la composta en dos profundidades de muestreo (0-20 cm y 20-40 cm). El contenido de humedad fue 75% mayor con la profundidad de muestreo. Los tratamientos con composta, en los meses más secos (febrero y marzo), mostraron contenidos de humedad superiores al 200% que el testigo. Sin embargo, no hubo diferencias en las constantes de humedad ni en el crecimiento de los durazneros. En cuanto a la disponibilidad de nutrientes, el mejor tratamiento fue en cepa-zanja de 1.0 m de profundidad con 10 t ha⁻¹ de zeolita. Se concluye que aún en los meses más secos, el composteo *in situ*, enriquecido con zeolita, permite disponer de humedad y nutrientes para triplicar la densidad de plantación.

Palabras clave: Agroforestería, durazno, compost, zeolita, cepa-zanja.

ABSTRACT

As an alternative for seasonal conventional fruit-culture, an agroforestry system of peach (*Prunus persica* L. Batsch) associated with leguminous bushes, in a sandy loam soil was established in the state of Tlaxcala, Mexico. Some physical and chemical changes occurred in the soil properties, over a 12-month period were evaluated. Ten treatments were compared: three pit-trench depths (0.5, 1.0 and 1.5 m), where *in situ* composting materials (river sand, ground corn stubble, fresh grass (*Epicampes* sp.), manure, oak charcoal (*Quercus* sp.), zeolite, phosphate rock, and dirt) were placed in layers; three zeolite concentrations were applied in each depth (2.5, 5.0 and 10.0 t ha⁻¹), plus the control treatment without pit-trench nor compost nor zeolite. The experimental design was randomized complete block (RCBD) arranged in divided fields was used with five repetitions, where the big field was the pit-trench depth and the small was the zeolite concentrations. Moisture was measured monthly by TDR method; chemical analyses were carried out at 4, 8 and 12 months of compost maturation for two depth samplings (0-20 cm and 20-40 cm). Moisture content was 75% higher at 20-40cm deep than at 0-20cm. Moisture content in the driest months (February and March) was more than 200% higher than the control treatment. Nevertheless, there were no significant differences in the moisture constants and peach-tree growth. In refferes to nutrient availability, the best treatment was in 1.0 m pit-trench depth, with 10 t ha⁻¹ of zeolite content. It is concluded that, in the driest months, *in situ* composting with zeolite allows for a greater availability of moisture and nutrient enough to triple plant density as compared to conventional systems.

Keywords: agroforestry, peach, zeolite, in-site compost, pit-trench.

¹ Tesista ²Director

INDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DATOS BIOGRAFICOS	iii
RESUMEN	iv
INDICE	v
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2.-REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Importancia del agua en el suelo	4
2. 2. Factores que afectan la capacidad de retención de humedad del suelo.....	5
2.2.1. Porosidad	5
2.2.2. Factores que afectan la porosidad	5
2.3. Estrategias para incrementar la capacidad de retención de agua .	5
2.3.1. Labranza de conservación	6

2.3.2. Aplicación de materia orgánica	6
2.4. Aspectos generales de la nutrición de árboles frutales.....	7
2.4.1. Forma de absorción de los elementos minerales	7
2.4.2. Fuentes de abastecimiento de nutrimentos para los árboles frutales.	7
2.4.3. Requerimientos y fuentes de nutrimentos para la fertilización de árboles de duraznero	8
2.5. Prácticas para mejorar la disponibilidad de nutrimentos en el suelo	9
2.5.1.-Elección de especies y variedades	9
2.5.2. Uso de mejoradores del suelo.....	9
2.5.3. Uso de zeolita para mejorar la disponibilidad de nutrimentos	10
3. LITERATURA CITADA.....	10
4. ARTÍCULO CIENTÍFICO	13
Enmiendas en cepa-zanja en un sistema agroforestal de duraznero (<i>Prunus pérsica</i> L. Batsch.) asociado con leguminosas.	13
4.1. Introducción	14
3.2. Materiales y Métodos.....	16

4.2.1. Factores de Estudio y Diseño Experimental.....	16
4.2.2. Excavación de cepas-zanjas y preparación de composta in situ.	17
4.2.3. Plantación de los durazneros y las especies leguminosas....	18
4.2.4. Registro y análisis de variables	19
4.3. Resultados y Discusión	22
4.3.1. Registro de lluvias	22
4.3.2. Contenido de humedad volumétrica.....	23
4.3.3. Resultados de la determinación de las variables físicas	28
4.3.4. Resultados de la disponibilidad de nutrimentos	29
4.4. Crecimiento de los árboles	38
4.5. Conclusiones	40
4.6. Literatura citada	40

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de tratamientos para evaluar retención de humedad y disponibilidad de nutrimentos.....	17
Cuadro 2. Determinaciones químicas realizadas a cada tratamiento	20
Cuadro 3. Eventos de lluvia ocurridos del mes de diciembre de 2013 al mes de diciembre de 2014.....	22
Cuadro 4. Valores de F para las variables de contenido de humedad de los meses noviembre a agosto, a la profundidad de 0-20 cm.....	24
Cuadro 5. Valores de F para las variables de contenido de humedad de los meses noviembre a agosto, a la profundidad de 20-40 cm.	25
Cuadro 6. Comparación de medias para contenido de humedad volumétrica (%) de los tratamientos a dos profundidades del suelo en los meses de noviembre de 2013 a marzo de 2014.....	26
Cuadro 7. Comparación de medias para contenido de humedad volumétrica (%) a dos profundidades en los meses de abril a agosto de 2014	26
Cuadro 8. Medias del contenido de humedad del suelo durante los meses de noviembre de 2013 a agosto de 2014, en diferentes profundidades de muestreo.	27
Cuadro 9. Medias de algunas variables físicas del suelo en respuesta a diferentes dosis de zeolita	28

Cuadro 10. Concentración de MO, macronutrientes y pH en los materiales usados para la composta.	29
Cuadro 11. Concentración de micronutrientes y CIC en los materiales usados para la composta.	30
Cuadro 12. Valores de F para las variables Mo, N-i, P, K, Ca, Mg y S.	31
Cuadro 13. Valores de F para las variables pH, CE, Fe, Mn, Zn, Cu, B y CIC.	32
Cuadro 14. Comparación de medias para los resultados de pH y CE y la concentración nutrimental promedio de macronutrientes por tratamiento.	33
Cuadro 15. Comparación de medias de la concentración nutrimental promedio de Mo, S, micronutrientes y CIC por tratamiento.	33
Cuadro 16. Comparación de medias de la concentración nutrimental promedio de todos los tratamientos por fecha de muestreo (prueba Tukey).	38
Cuadro 17. Comparación de medias del diámetro de la raíz, diámetro del tallo y altura de los árboles.	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Excavación y llenado de cepas-zanjas.	18
Figura 2. Establecimiento de la plantación	19
Figura 3. Lámina de lluvia mensual y concentración de humedad volumétrica a dos profundidades del suelo.	28
Figura 4. Concentración de MO, nitrógeno inorgánico y pH a diferentes profundidades de cepa-zanja y dosis de zeolita.	34
Figura 5. Concentración de fósforo a distintas fechas y profundidades de muestreo.....	35
Figura 6. Valores de CE y concentración de K y Ca en tres fechas de muestreo.	37
Figura 7. Crecimiento de los durazneros a un año de crecimiento.	39

1. INTRODUCCIÓN

El deterioro acelerado de los recursos que sustentan la producción de alimentos y la contaminación ambiental que ha resultado en el calentamiento global, obligan a diseñar y evaluar sistemas de producción que, a diferencia de los agroecosistemas con enfoque convencional productivista, garanticen mayor viabilidad ecológica, eficiencia energética y equidad social (Ambrecht *et al.*, 2009).

La agroforestería es una alternativa para mitigar los efectos del cambio climático, al incluir especies leñosas arbóreas que realizan captura de carbono, pero también porque contribuyen a la recuperación y mantenimiento de la fertilidad del suelo con el reciclaje de nutrientes, fijación de nitrógeno atmosférico, infiltración del agua de lluvia y conservación de la humedad. El establecimiento de cultivo en callejones permite además de una mayor viabilidad económica, la resistencia y estabilidad ecológica propia de los sistemas agroforestales.

Para las zonas templadas y semiáridas de México, existen dos modelos de agroforestería bajo el concepto de cultivo en callejones: el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales MIAF y el sistema Huerto Vivero, en ambos casos el elemento arbóreo lo constituyen árboles de durazno, y los cultivos anuales son maíz y frijol que se siembran entre los callejones que forman las líneas de frutales (Cortés *et al.*, 2005).

El sistema de Huerto Vivero se basa principalmente en el composteo *in situ*, que 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 está listo para la siembra de plántulas. En el sistema Huerto Vivero se contempla la plantación a alta densidad en las cepas-zanjas donde previamente se colocaron los materiales para composteo *in situ* (Guerrero, 2011).

Casas (2012), evaluó varios parámetros físicos y químicos del composteo *in situ* del sistema huerto-vivero en una localidad del municipio de Alzayanca, Tlaxcala; las cepas-zanjas se excavaron a 50 cm de profundidad y se sustituyeron los fertilizantes por roca fosfórica y carbón de leña, como fuentes de fósforo y potasio respectivamente; comparó también el composteo con y sin volteo de los materiales. Midió por un periodo de 6 meses, el comportamiento del contenido de humedad, fertilidad del suelo y la sobrevivencia de las plantas al final de ese periodo. Los resultados mostraron que hubo incremento en el contenido de varios nutrimentos en los tratamientos con composta; pero los niveles de cobre y potasio estuvieron por debajo de lo normal y el nitrógeno mostró pérdidas por lixiviación. Los resultados en contenido de humedad y crecimiento de los árboles no fueron mejores que el testigo, lo cual sugiere que es necesario continuar con la caracterización del sistema.

Para el problema de lixiviación del nitrógeno u otros nutrimentos, el uso de zeolitas ha dado buenos resultados mejorando además la capacidad de retención de humedad (Polat *et al.*, 2004); pero como alternativa ecológica para mejorar la disponibilidad de nitrógeno, la asociación de los árboles frutales con leguminosas arbóreas es un tema que no ha sido suficientemente estudiado.

La asociación de especies arbóreas leguminosas puede contribuir a la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas: las especies arbóreas ayudan a reducir problemas de fertilidad en los suelos; incorporando hojarasca para un eficiente reciclaje de nutrimentos. Del mismo modo, las leguminosas arbustivas pueden establecer simbiosis con bacterias y hongos, que mejoran la disponibilidad de elementos limitantes para su crecimiento; sin embargo, es importante señalar que existen vacíos de investigación sobre este tema en la

literatura, específicamente con especies arbóreas forrajeras, puesto que la mayoría de trabajos se han realizado para especies arbóreas maderables en plantaciones forestales (Petit *et al.*, 2009).

Erythrina spp, *Leucaena leucocephala* y *Eysenhardtia polystachya*, son tres de varias especies que de acuerdo con Guevara *et al.* (2008) tienen potencial como arbustos de uso múltiple para el altiplano mexicano, por ser de uso medicinal, alimenticio y forrajero; además por su capacidad para la fijación de nitrógeno son útiles para mejorar la fertilidad de suelos degradados como los que predominan en el municipio de Alzayanca, Tlaxcala.

En esta microrregión de Tlaxcala, de altitud promedio de 2600 m y con menos de 500 mm de lluvia, la producción de durazno se realiza en zonas de temporal, con suelos arenosos de baja fertilidad y alta infiltración, con alta incidencia de heladas, granizadas y sequías (Hernández *et al.*, 2001). Estos problemas sumados a los efectos de más de dos décadas de monocultivo, justifican la búsqueda de opciones que ofrezcan una mayor sostenibilidad para las más de 1000 hectáreas de durazno que actualmente se ubican en esa zona y para que se haga una mejor planeación de los nuevos huertos.

Con el fin de abordar los problemas mencionados, en el año 2013, se iniciaron trabajos de investigación cuyo objetivo general fue: mejorar la capacidad de retención de humedad y la concentración de nutrimentos disponibles en un sistema agroforestal de durazno asociado con palo dulce y guaje, fertilizados con composta y zeolita como una alternativa agroecológica para la producción de durazno en el municipio de Alzayanca, Tlaxcala.

Los objetivos específicos fueron: (1) Evaluar los cambios en la retención de humedad y nutrimentos disponibles en el modelo de composteo *in situ* realizado a tres profundidades de cepa-zanja (0.5, 1.0 y 1.5 m.) en combinación con tres dosis de zeolita (2.5, 5 y 10 t ha⁻¹), para valorar sus ventajas con respecto al sistema de plantación tradicional en la zona (testigo); y (2) analizar el crecimiento vegetativo de los árboles de duraznero en asociación con palo dulce y guaje, para identificar algunas interacciones frutal-leguminosa.

La hipótesis fue:

La profundidad a la que se realiza el composteo *in situ* y la aplicación de zeolita influyen en el crecimiento vegetativo del duraznero, debido a una mayor concentración de humedad y nutrimentos disponibles en el suelo.

2.-REVISIÓN DE LITERATURA

Los estudios que se han realizado sobre los conceptos de condición y dinámica del agua en los suelos, se han enfocado principalmente hacia las necesidades de las zonas con cultivos de riego, dejando de atender las demandas de las zonas que dependen de la lluvia para la producción de alimentos, en este sentido, se realiza una breve revisión de los aportes que ha hecho la ciencia agronómica para responder a las preguntas de ¿Cómo mejorar la retención de humedad y la disponibilidad de nutrimentos para las plantas? ¿Cuáles prácticas favorecen una mayor concentración de nutrimentos en el suelo?

Con base en estas preguntas este capítulo hace referencia a la importancia del agua en el suelo, los factores que la favorecen así como las practicas recomendadas para incrementar su disponibilidad; además también se revisa sobre la importancia de los nutrimentos esenciales para frutales en general, para el duraznero en particular y las alternativas agroecológicas de abastecimiento.

2.1. Importancia del agua en el suelo

Aun en las condiciones más áridas el suelo tiene siempre algún nivel de humedad ya que su inexistencia haría imposible la vida de cualquier especie, sin embargo, las constantes de contenido de humedad varían de acuerdo -además del clima- de las características físicas y químicas del suelo.

De los parámetros de humedad el más importante desde el punto de vista agrícola, es el contenido de agua aprovechable que resulta de la diferencia entre el punto de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, y que además, está determinada por la capacidad de retención de cada tipo de suelo en particular.

2. 2. Factores que afectan la capacidad de retención de humedad del suelo

2.2.1. Porosidad

Este concepto implica el conocimiento de las relaciones entre las diferentes propiedades físicas y químicas del suelo, las cuales hacen posible junto con las prácticas de cultivo y los procesos biológicos naturales, la formación de agregados de diferentes tamaños que a su vez conforman tamaños distintos de espacios de aire a lo cual se le llama microporo si son menores de 0.05 mm de diámetro o macroporos si son mayores de 0.05 mm (Shaxson y Barber, 2005). Los microporos son importantes porque a mayor porcentaje de estos, hay mayor retención de humedad pero también son necesarios los macroporos porque permiten el drenaje del agua y la entrada de oxígeno para los procesos aeróbicos.

2.2.2. Factores que afectan la porosidad

Además de las propiedades físicas y químicas del suelo los procesos biológicos son muy importantes en la formación de agregados: Ateca *et al.* (2007) encontraron que los suelos de un bosque nativo tienen mayor porosidad que los que están expuestos a monocultivo. Alaoui and Goetz (2008), investigaron sobre los procesos de infiltración en suelos de pradera y suelos con cultivo de cebada y encontraron que la velocidad media de infiltración varía porque la densidad de macroporos es diferente en ambos sistemas; y esta diferencia se debe tanto a procesos biológicos como a procesos mecánicos, entre los primeros destaca la interacción entre el contenido de materia orgánica y el crecimiento de las plantas u otros organismos vivos y en el segundo las prácticas de laboreo que tienen que ver con la compactación a diferentes profundidades del perfil.

2.3. Estrategias para incrementar la capacidad de retención de agua

Con base en los datos anteriores, las prácticas que propician el desarrollo de un balance entre micro y macroporos estarán afectando positivamente la capacidad de retención de humedad. Entre estas prácticas se pueden mencionar las siguientes:

2.3.1. Labranza de conservación

Esta práctica se refiere al laboreo que contempla dejar por lo menos el 40% de los residuos de la cosecha anterior en el terreno; sin embargo este dato varía de acuerdo a las condiciones específicas de cada localidad. Ibañez *et al.* (2000) y Gutiérrez *et al.* (2006), analizaron el efecto de cubiertas con estiércol y pasto tanto en el contenido de humedad del suelo como en el desarrollo de raíces de manzano y durazno; y encontraron que con el uso de estiércol y pasto como coberturas se logró mantener contenidos de humedad por arriba del punto de marchitez permanente en condiciones de temporal .

2.3.2. Aplicación de materia orgánica

En los sistemas de agricultura tradicional, esta ha sido una de las prácticas que permiten mantener una producción estable a través del tiempo; hasta la fecha, varios estudios han comprobado la importancia de la materia orgánica en la producción de compuestos que actúan como cementantes de las partículas para conformar los agregados que determinan la estructura y como consecuencia el espacio poroso que permite la penetración y retención del agua en el suelo (Constanza *et al.*, 2006; Gili, *et al.*, 2007; Alaoui y Goetz, 2008).

Salcedo *et al.* (2007) encontraron una alta correlación entre el contenido de materia orgánica y el contenido de humedad aprovechable en el suelo. Como una de las propiedades más importantes de la materia orgánica, Shaxson y Barber (2005) mencionan que puede absorber agua hasta por 20 veces su peso.

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 nutrimentos en el suelo, la cual está determinada por la fertilidad del suelo y la fertilización que se aplique (Santiago *et al.*, 2008).

2.4. Aspectos generales de la nutrición de árboles frutales

La nutrición de los árboles frutales, comprende un conjunto de procesos que les permiten absorber, transportar y metabolizar los elementos y moléculas químicas indispensables para su desarrollo.

De los más de 70 elementos químicos que se han encontrado en los tejidos de las plantas, desde 1882 y hasta 1987 se descubrió la esencialidad de 17 de ellos; es decir, se comprobó que en ausencia de alguno la planta no logra completar su ciclo biológico, los síntomas se corrigen con el suministro de tal elemento, se conocen sus funciones en la nutrición y se sabe que tienen una acción directa e insustituible (Núñez, 2007).

2.4.1. Forma de absorción de los elementos minerales

De los 14 elementos esenciales que los árboles obtienen del suelo, seis son considerados como macronutrientes con base en la mayor cantidad relativa que de ellos extraen las plantas y son el nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), los otros ocho cuya extracción del suelo es mínima y por ello se les denomina micronutrientes son: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y níquel (Ni).

La mayoría de estos nutrientes es absorbida en forma de cationes y mientras que el P, S, B, Cl y Mo se absorben únicamente como aniones, el N puede absorberse como anión (NO_3^-) y catión (NH_4^+) (Tisdale y Nelson, 1970).

2.4.2. Fuentes de abastecimiento de nutrientes para los árboles frutales.

A excepción del Carbono (C), el Hidrógeno (H) y el Oxígeno (O), los nutrientes esenciales se obtienen de forma natural del suelo. Los niveles mínimos de contenidos que resultan de los análisis químicos, se han definido en normas específicas (NOM-021) y en manuales de interpretación de resultados (Castellanos, *et al.* 2000); sin embargo, la disponibilidad para las plantas depende de varios factores como son la humedad, el pH, la temperatura del suelo, la

aireación, la materia orgánica, la actividad de los microorganismos del suelo y las interacciones iónicas. (Valdez *et al.*, 1988).

El desarrollo y fructificación de los árboles depende no solo de la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, sino también de los requerimientos específicos de cada especie; por ejemplo, Rosas *et al.* (2008) investigaron la relación entre el contenido nutrimental de diferentes suelos y los atributos de calidad del café y encontraron que la variación de la disponibilidad baja o alta de uno o varios nutrimentos afecta significativamente tanto el rendimiento como la calidad del café.

2.4.3. Requerimientos y fuentes de nutrimentos para la fertilización de árboles de duraznero

Los factores que influyen en la disponibilidad de nutrimentos hacen que el análisis químico del suelo sea insuficiente para determinar el tipo y magnitud de los fertilizantes que deben de ser utilizados en un huerto de duraznos; sin embargo, de acuerdo a la extracción que se realiza con cada cosecha se han estimado los requerimientos nutrimentales para el duraznero. Según Fideghelli (1987), para que un huerto produzca 30 t ha⁻¹ los árboles requieren de 120 a 130 kg de N, de 25 a 30 kg de P₂O₅ y de 120 a 140 kg de K₂O, además una lámina de agua que varía de 250 a 400 mm de lluvia, sin contar las pérdidas por drenaje y evaporación.

Las necesidades de nitrógeno deben cubrirse con fertilizaciones distribuidas de febrero a junio, durante las etapas de floración y cuajado de frutos, pero en el caso del fósforo y potasio, estos deben aplicarse en el otoño del año anterior para permitir su descenso hasta el horizonte con mayor densidad de raíces.

Debido a que el P y el K son poco móviles en el suelo, se deben aplicar en el abonado de fondo a dosis de 100 a 300 g de superfosfato mineral, 200 a 500 g de sulfato de potasio y de 500 a 1000 g. de estiércol en el fondo de la cepa de cada uno de los árboles (Fideghelli, 1987).

2.5. Prácticas para mejorar la disponibilidad de nutrimentos en el suelo

2.5.1.-Elección de especies y variedades

Tres de los factores más importantes que afectan la disponibilidad de nutrimentos para los árboles son la textura del suelo, la concentración de humedad y el pH de la solución del suelo; no obstante, las distintas especies de árboles frutales han evolucionado genéticamente para desarrollarse en diferentes condiciones edáficas y aunque los mejores son los suelos francos, profundos y de pH cercano a la neutralidad, las especies de clima templado como el durazno crecen bien en texturas areno-francosas y de acuerdo al portainjerto pueden explorar capas más profundas, soportando niveles ligeramente alcalinos de pH. Giorgi *et al.* (2005) encontraron que la variedad de durazno “Suncrest” tuvo comportamiento vegetativo y productivo muy diferente al crecer sobre distintos tipos de portainjerto.

2.5.2. Uso de mejoradores del suelo.

Los suelos de textura arenosa, pueden mejorar su capacidad de retención de agua, su capacidad de intercambio catiónico y su concentración nutrimental con la aplicación de materia orgánica. El pH se puede regular con aplicaciones de carbonato de calcio si es ácido o bien con azufre elemental cuando el suelo es alcalino. El uso de abonos orgánicos para mejorar la disponibilidad de nutrimentos, tiene múltiples ventajas; pero adolece de la variabilidad en la concentración de nutrimentos de acuerdo a la especie animal y vegetal utilizada en su preparación, pueden fijar algunos elementos como el zinc o provocar acumulación tóxica de sodio como en el caso del uso de pollinasa; un problema adicional es cómo hacer llegar el abono orgánico a la zona de exploración de las raíces de los árboles.

Calderón (1987) afirma que la producción de durazno puede mejorarse en un 80% si antes de la plantación se establece un cultivo de trébol, el cual cuando llega a su mayor desarrollo vegetativo, se incorpora como abono verde a una profundidad de 50 a 60 cm).

Otra forma de promover el desarrollo de las raíces a mayor profundidad y proveer de nutrimentos a estratos del suelo de 0 a 100 cm, es mediante el sistema de

composteo *in situ* propuesto por Guerrero (2011), esta forma de abonado de fondo fue evaluada por Casas (2012), quien encontró que el composteo *in situ* puede mejorar significativamente la capacidad de retención de humedad y las propiedades químicas de los suelos arenosos.

2.5.3. Uso de zeolita para mejorar la disponibilidad de nutrimentos

La zeolita es un aluminosilicato cristalino hidratado de estructura tridimensional que tiene la facultad de almacenar agua con capacidad de intercambio catiónico sin modificar su estructura. Su capacidad de intercambio catiónico que varía de dos a cuatro miliequivalentes por gramo (dos veces la CIC de la bentonita), y su alta afinidad por el amonio, permiten reducir la lixiviación de nitrógeno e incrementar la producción agrícola en suelos arenosos (Mumpton, 1999).

Torii (1978) citado por Polat *et al.* (2004), reportó que la aplicación de cuatro a ocho toneladas de zeolita por acre, incrementó el rendimiento de manzana de 13 a 38%. Gholamhoseini *et al.* (2013) al comparar diferentes dosis de nitrógeno utilizando fertilizante químico mezclado con estiércol de vaca y zeolita para cubrir los requerimientos del girasol, encontraron que al agregar el 21% de zeolita se redujo la lixiviación de ese nutrimento de un 27 a 36% bajo condiciones de riego.

3. LITERATURA CITADA

- Alaoui, A. y B. Goetz. 2008. Dye tracer and infiltration experiments to investigate macropore flow. Department of Geography, University of Bern. Switzerland. *Geoderma* 144: 279-286.
- Ambrecht, I., H. Cetrangolo, T. Gonzales e I. Perfecto. 2009. Evaluación internacional del conocimiento, ciencia y tecnología en el desarrollo agrícola (IAASTD). América Latina y el Caribe. Editorial Island Press. USA. 106 p.
- Ateca, M. R., A. M. Aoki y R. Sereno 2007 movimiento del agua en el perfil de un haplustol bajo condiciones de bosque nativo y monocultivo de soja. *Terra Latinoamericana* 25(3):269-278.

- Calderón A., E. 1987. Fruticultura general, el esfuerzo del hombre. 3ª Edición LIMUSA, México. 739 p.
- Casas R. N., 2012. Caracterización del sistema de composteo in situ para el establecimiento de durazno (*Prunus persica*) en un sistema agroforestal de huerto vivero. Tesis Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACH, Chapingo, México.
- Constanza D., M., J. Giovanni A. y L. Amparo R. 2006. Efecto de materiales orgánicos e inorgánicos sobre las fracciones de un oxisol de los llanos orientales colombianos. *Agronomía Colombiana* 24(2):326-333.
- Cortés, J. I., R. Mendoza, E. Hernández, E. Aceves, A. Turrent y N. Estrella. 2004. Manual para técnicos: el sistema agrícola 'Milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)' en terrenos planos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Fideghelli C. 1987. El melocotonero. Mundi-Prensa. Madrid, España. 243 p.
- Gholamhoseini M., A. Ghalavand, A. Khodaei-Joghan, Dolatabadian, H. Zakikhani y E. Farmanbar. 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil & Tillage Research* 12 (6): 193–202.
- Gili P., C. Arvani, E. Maero, E. Sánchez y M. Sagarday. (2007). Cambios Biológicos de suelo asociados al manejo de la obertura vegetal en un huerto orgánico de manzana. *Revista Latinoamericana* 25 (3): 279-286.
- Giorgi M., F. Capocasa, J. Scalzo, G. Murri, M. Battino y B. Mezzetti. 2005. The rootstock effects on plant adaptability, production, fruit quality and nutrition in the peach (Cv. "Suncrest"). *Scientia Horticulturae* 107:36-42.
- 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.
- Guevara, E. A., S. González E., Suzán-A. H., B. Malda G., Martínez y D. M., Gómez S. M., Hernández S. L., Pantoja-H. Y., y V. Olvera D. 2008. Distribución potencial de algunas leguminosas arbustivas en el Altiplano Central de México. *Agrociencia* 42 (6): 703-716.
- Gutiérrez R., N., L. Tijerina Ch., A. E. Becerril R., A. Castillo M., C. López C. y C. B. Peña V. 2006. Régimen de humedad, portainjerto, manejo de suelo y Producción forzada en el desarrollo radical de duraznero *Terra Latinoamericana* 24(1): 37-46.
- 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.

- Ibáñez M., A., E. Becerril R., A. Castillo M., R. A. Parra Q. y C. López C. 2000. Efecto de Cubiertas, Riego y Fertilización foliar en el desarrollo radical de manzana. *Revista Terra* 18(3): 37-46.
- Mumpton, F.A., 1999. La roca mágica: uses of natural zeolite in agriculture and industry. *Proc. of the Natl. Acad. Sci. USA*. 96: 3463-4347.
- Núñez E., R. 2007. El suelo como medio natural en la nutrición de los cultivos. En *Nutrición de Cultivos*. Alcantar G., G. y L. I. Trejo. Tellez. (Coords.) Mundi-Prensa, Colegio de Postgraduados. pp 94-157.
- Petit, A. J., F. Casanova L. F., y F. J. Solorio S. 2009. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos. *Agricultura Técnica en México* 35: 113-122.
- Polat, E., M. Karaca, H. Demir, and N. Onus A. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Fruit and Ornamental Plant Research*. 12:183-189.
- Rosas A. J., E. Escamilla P. y O. Ruiz R. 2008. Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana* 26(4) 375-384.
- Salcedo P. E., A. Galvis-S., M. Hernández T., R. Rodríguez M., F. Zamora N., R. Bugarín M. y R. Carrillo G. 2007. La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo. *Terra Latinoamericana* 25(4): 419-425
- Santiago M. E., F. Cortes J. I., F. Turren A., R. Hernández E. y 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): 159-166.
- Shaxson, F y R. Barber. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. *FAO Roma, Italia*. pp. 13-24.
- Valdez, C. R. D., Ma. H. Pérez B. y J. L. Chan C., 1988. Nutrición del duraznero. In: *El durazno*. Chan C., J. L. (ed.). Spauaz Universidad Autónoma de Zacatecas. pp. 161-189

4. ARTÍCULO CIENTÍFICO

ENMIENDAS EN CEPA-ZANJA EN UN SISTEMA AGROFORESTAL DE DURAZNO (*Prunus persica* L. BATSCH.) ASOCIADO CON LEGUMINOSAS.

Resumen

Como una alternativa a la fruticultura convencional de temporal, se estableció un sistema agroforestal de durazno (*Prunus persica* L. Batsch) asociado con leguminosas arbóreas, en el estado de Tlaxcala, México. Se evaluaron los cambios ocurridos en un periodo de 12 meses, en algunas propiedades físicas y químicas del suelo. Diez tratamientos fueron comparados: tres profundidades de cepa-zanja (0.5, 1.0 y 1.5 m) donde se colocaron capas de materiales para composteo *in situ*: arena de río, rastrojo de maíz (*Zea maíz*) molido, zacatón (*Epicampes* sp.) fresco, estiércol, carbón de encino (*Quercus* sp.), zeolita, roca fosfórica y tierra; en cada nivel de profundidad se aplicaron tres dosis de zeolita (2.5, 5.0 y 10.0 t ha⁻¹). El diseño experimental fue en bloques al azar con cinco repeticiones y arreglo en parcelas divididas; la parcela grande fue la profundidad de cepa y la chica, las dosis de zeolita. La humedad se midió mensualmente con TDR; el análisis químico se realizó a los 4, 8 y 12 meses de maduración de la composta en dos profundidades de muestreo (0-20 cm y 20-40 cm). El contenido de humedad fue 75% mayor con la profundidad de muestreo. Los tratamientos con composta, en los meses más secos (febrero y marzo), mostraron contenidos de humedad superiores al 200% que el testigo. Sin embargo, no hubo diferencias en las constantes de humedad ni en el crecimiento de los durazneros. En cuanto a la disponibilidad de nutrientes, el mejor tratamiento fue en cepa-zanja de un metro de profundidad con 10 t ha⁻¹ de zeolita. Se concluye que aún en los meses más secos, el composteo *in situ*, enriquecido con zeolita, permite disponer de humedad y nutrientes para triplicar la densidad de plantación.

Palabras clave: Agroforestería, durazno, compost, zeolita, cepa-zanja.

Abstract

As an alternative for seasonal conventional fruit-culture, an agroforestry system of peach (*Prunus persica* L. Batsch) associated with leguminous bushes, in a sandy loam soil was established in the state of Tlaxcala, Mexico. Some physical and chemical changes occurred in the soil properties, over a 12-month period were evaluated. Ten treatments were compared: three pit-trench depths (0.5, 1.0 and 1.5 m), where in situ composting materials (river sand, ground corn stubble, fresh grass (*Epicampes* sp.), manure, oak charcoal (*Quercus* sp.), zeolite, phosphate rock, and dirt) were placed in layers; three zeolite concentrations were applied in each depth (2.5, 5.0 and 10.0 t ha⁻¹), plus the control treatment without pit-trench nor compost nor zeolite. The experimental design was randomized complete block (RCBD) arranged in divided fields was used with five repetitions, where the big field was the pit-trench depth and the small was the zeolite concentrations. Moisture was measured monthly by TDR method; chemical analyses were carried out at 4, 8 and 12 months of compost maturation for two depth samplings (0-20 cm and 20-40 cm). Moisture content was 75% higher at 20-40cm deep than at 0-20cm. Moisture content in the driest months (February and March) was more than 200% higher than the control treatment. Nevertheless, there were no significant differences in the moisture constants and peach-tree growth. In reffers to the chemical variables, the best treatment was in 1.0 m pit-trench depth, with 10 t ha⁻¹ of zeolite content. It is concluded that, in the driest months, in situ composting with zeolite allows for a greater availability of moisture and nutrient enough to triple plant density as compared to conventional systems.

Keywords: agroforestry, peach, zeolite, in-site compost, pit-trench.

4.1. Introducción

A nivel mundial la agricultura que depende de la humedad que aportan las lluvias, es la que ocupa la mayor superficie cultivada; en el caso de las zonas áridas y semiáridas, la baja precipitación se convierte en la principal fuente de agua para el crecimiento y producción de los cultivos.

El cultivo de árboles frutales demanda una mayor cantidad de humedad y por lo tanto se recomienda destinar los mejores suelos y garantizar la disponibilidad de agua para riego; no obstante, de acuerdo a las estadísticas del año 2013, el 76% de la superficie cosechada de durazno en la república mexicana se ubicó en condiciones de seco. Para ese mismo año, los ingresos por hectárea de duraznero fueron tres veces mayores que los obtenidos por el maíz, a pesar de que el rendimiento apenas rebasó las tres toneladas por hectárea, lo cual es equivalente a un promedio de 6 seis kilogramos por árbol (SIAP, 2013).

De acuerdo con Pérez, (1995), la productividad de los árboles de durazno está en función del volumen de agua disponible en el suelo; para un volumen de suelo que contenga 250 litros de agua disponible para cada árbol se estima una producción de 22 kg de fruta por planta, pero para que ese volumen se mantenga constante y abastezca la evapotranspiración diaria, se requiere una lámina mínima útil de 250 mm anuales (Fideghelli, 1987).

El duraznero como todas las especies leñosas y perennes, tiene la capacidad de explorar capas profundas de suelo que son inaccesibles para los cultivos anuales; por esta razón, en las zonas de clima templado se ha utilizado esta especie en el establecimiento de sistemas agroforestales bajo la modalidad de cultivo en callejones con buenos resultados (Cortés *et al.*, 2004); sin embargo, estudios para evaluar las prácticas que permitan aumentar la capacidad de retención de humedad en el suelo son escasas.

Se ha demostrado que la capacidad de retención de humedad del suelo, está altamente correlacionada con el contenido de materia orgánica (Salcedo *et al.*, 2007) lo cual se explica por la producción de compuestos que actúan como cementantes entre las partículas para formar agregados y mejorar el espacio

poroso, la mayor porosidad también permite incrementar la infiltración del agua de lluvia y por lo tanto la disponibilidad de ésta para las raíces de los árboles (Ateca *et al.*, 2007).

El barbecho profundo con maquinaria y la apertura de cepas individuales de más de 80 cm de profundidad, también permite mayor infiltración y con la adición de materia orgánica y zeolitas es posible aumentar la retención del agua y hacer más eficiente la aplicación de fertilizantes reduciendo la percolación hacia estratos inaccesibles para las raíces (Gholamhoseini *et al.*, 2013).

Los suelos de textura arenosa, pueden mejorar su capacidad de retención de agua, su capacidad de intercambio catiónico y su concentración nutrimental con la aplicación de materia orgánica (Calderón, 1987; Nuñez, 2007).

Otra forma para mejorar la capacidad de retención de humedad y la disponibilidad de nutrimentos en el suelo la constituye el sistema de huerto vivero propuesto por Guerrero (2011). Este sistema se basa principalmente en el composteo *in situ*, que 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 está listo para la siembra de plántulas. En el sistema Huerto vivero se contempla la plantación a alta densidad en las cepas-zanjas donde previamente se colocaron los materiales para composteo *in situ*.

El modelo de composteo *in situ* previo a la plantación, propuesto por Guerrero (2011), permite además de la captación del agua de lluvia, la incorporación de materia orgánica a capas de suelo más profundas; no obstante, aún se requiere avanzar en su caracterización para que sea posible recomendarlo para las más

de 25 mil hectáreas de durazno que se cosechan en las zonas de temporal del país (SIAP 2013).

En este estudio, se contempló como objetivo evaluar el efecto de la profundidad de cepa y tres dosis de zeolita en la evolución del contenido de humedad, la disponibilidad de nutrimentos y el crecimiento de árboles jóvenes de duraznero.

3.2. Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en el predio “La Cañada” que se localiza en la comunidad de San José Pilancón del municipio de Alzayanca en el estado de Tlaxcala, a 2600 m, entre los 19° 25' 23" latitud Norte y 97° 49' 7" longitud Oeste.

En el sitio del experimento, el terreno se había ocupado con cultivos anuales; se sembraba maíz alternando este cultivo con cebada y trigo de acuerdo a la cantidad de lluvia y a la incidencia de heladas tardías; con régimen de humedad de temporal y uso de fertilizante químico y herbicidas; pero a partir del año 2005 se han incorporado prácticas de producción sostenibles entre las cuales sobresalen la construcción de bordos a nivel y el establecimiento de barreras vivas para detener la erosión; además de la rotación de cultivos, el uso de compostas y abonos verdes para el manejo de la fertilidad del suelo.

4.2.1. Factores de Estudio y Diseño Experimental

Los factores de estudio fueron: a) La profundidad de la cepa-zanja a 0.5, 1.0 y 1.5 m, más el testigo sin cepa-zanja y sin composta y b) la dosis de zeolita cuyos niveles fueron 2.5, 5.0 y 10.0 t ha⁻¹ además un testigo sin cepa-zanja ni composta ni zeolita. La combinación de estos factores dio un total de 10 tratamientos que se describen en el Cuadro 1. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con cinco repeticiones, donde la parcela grande fue la profundidad de cepa-zanja y la parcela chica las dosis de zeolita.

El experimento se ubicó al oriente del predio; cada bloque tuvo una longitud de 120 m, dentro de los cuales se aleatorizaron los 3 niveles de profundidad y el testigo. La parcela grande fue de 30 x 0.60 m, dentro de cada una se aleatorizaron los

niveles de zeolita que corresponde a la parcela chica, las líneas de los bloques se trazaron cada 6 m, dando un área total de 3,600 m².

Cuadro.1 Descripción de tratamientos para evaluar retención de humedad y disponibilidad de nutrimentos.

Número	Tratamiento	
	Profundidad de cepa (m)	Dosis de zeolita (kg/ha ⁻¹)
1	0.5	2.5
2	0.5	5.0
3	0.5	10.0
4	1.0	2.5
5	1.0	5.0
6	1.0	10.0
7	1.5	2.5
8	1.5	5.0
9	1.5	10.0
10	0.0	0.0

4.2.2. Excavación de cepas-zanjas y preparación de composta in situ.

En febrero de 2013, se inició la excavación de cepas-zanjas con el uso de una retroexcavadora; previa aleatorización y marcado de las parcelas grandes, es decir, los cuatro niveles de profundidad de cepa, se asignó una longitud de 30 m y el ancho de la pala mecánica (60 cm) para cada nivel de ese factor.

La preparación de la composta consistió en acomodar de forma alternada capas de 5 cm de arena de río, 5 cm de rastrojo de maíz picado y 5 cm de zacatón en verde; en seguida, se distribuyeron alternadamente y por cada metro lineal de la cepa, 10 kg de estiércol, 100 g de roca fosfórica, 500 g de carbón de leña en polvo y 150, 300 y 600 g de zeolita, que equivalen a las dosis de 2.5, 5.0 y 10.0 t ha⁻¹, los cuales se distribuyeron al azar en parcelas de 10 m de longitud en cada una de las diferentes profundidades de cepa-zanja, la siguiente fue una capa de 10 cm de suelo de la misma parcela, repitiendo la secuencia hasta llenar completamente la cepa-zanja.

Al final del llenado de las cepas-zanjas, se cubrió con una capa adicional de arena de 5 cm de grueso para permitir mayor infiltración de agua y disminuir la germinación de arvenses. El 28 de agosto se aplicó una lámina de 45 mm de agua para humedecer la composta y acelerar la descomposición de los materiales orgánicos (Figura 1).



Figura 1. Excavación y llenado de cepas-zanjas.

4.2.3. Plantación de los durazneros y las especies leguminosas

La plantación se realizó del 18 al 20 de octubre de 2013, se utilizaron plantas de duraznero de la variedad “Escarcha” injertadas sobre patrones de semillas de durazno criollo del tipo “prisco blanco”. La variedad “Escarcha” fue generada por INIFAP y por más de 10 años se ha cultivado en la zona de Altzayanca mostrando buena adaptación.

Los árboles del duraznero se compraron en un vivero comercial de la región; al momento de la plantación, los árboles tenían de 4 a 6 meses de desarrollo después de haber sido injertados, con alturas de planta que fueron de 20 a 40 cm. Las plantas se distribuyeron asignando en cada bloque las que mostraron el mismo vigor. Como se muestra en la Figura 2, a la fecha de la plantación los materiales preparados en la cepa-zanja se habían asentado casi 15 cm abajo del nivel del suelo como resultado de los procesos de descomposición de los materiales orgánicos depositados para el proceso de composteo, por lo cual, en el caso de

las parcelas-testigo se hicieron cepas individuales igualando el nivel de profundidad que presentaron las cepas con composta.

Las especies leguminosas palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*) y guaje (*Leucaena leucocephala*), se plantaron en forma intercalada entre los árboles de durazno a distancia de 90 cm entre plantas. Las leguminosas no sobrevivieron al invierno de 2013 y se hizo una replantación el 20 de abril de 2014 con plantas desarrolladas en invernadero.



Figura 2. Establecimiento de la plantación

4.2.4. Registro y análisis de variables

Humedad volumétrica

A un mes de la plantación, se inició la medición del contenido de humedad volumétrica. La periodicidad para la toma de estos datos fue mensual y el instrumento utilizado fue un reflectómetro de dominio temporal (TDR), el cual permite cuantificar la humedad del suelo de manera rápida no destructiva y económica (Marek y Skierucha., 1989), las mediciones se llevaron a cabo a dos profundidades: de 0 a 20 y de 20 a 40 cm, siempre en el mismo sitio y a 10 cm del tronco de los árboles.

Variables químicas

Se tomaron muestras compuestas de suelo a dos profundidades: 0-20 y 20-40 cm. Cada muestra compuesta estuvo integrada por cinco submuestra por cada unidad

experimental mismas que se mezclaron perfectamente para homogeneizar la materia orgánica aún en proceso de degradación y eliminar las piedras mayores de 2 cm. De cada submuestra, se tomaron aproximadamente 200 gramos que se mezclaron para integrar la muestra compuesta. Previo al análisis, las muestras se secaron por 15 días a la sombra y se tamizaron en una malla del número 10, que es equivalente a una malla con abertura de cuadros de 2 mm.

Se realizaron tres fechas de muestreo, la primera a los dos meses de la plantación, la segunda a los seis y la tercera a los diez meses. Las determinaciones se realizaron en los laboratorios de física y de química de suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, utilizando las técnicas establecidas en la norma oficial NOM 021 (Cuadro 2) y los manuales de prácticas utilizados en dichos laboratorios.

Cuadro 2. Determinaciones químicas realizadas a cada tratamiento

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

Variables físicas

A un año de haber llenado las zanjas con los materiales para su composteo *in situ*, y a 10 meses de haber establecido la plantación, se tomaron muestras compuestas de las unidades experimentales donde se aplicaron los tratamientos con diferentes niveles de zeolita. Para evaluar el efecto de las diferentes dosis de zeolita en las características físicas del suelo, se realizaron las determinaciones de textura por el método del hidrómetro de boyoucos, densidad aparente por el método de la probeta y las constantes de humedad (CC, PMP y

HA) por el método de la olla y membrana de presión de acuerdo a lo establecido por la NOM-021. Los datos obtenidos se analizaron bajo el modelo de bloques completos al azar utilizando el paquete computacional SAS para Windows versión 9.0.

Durante el período de diciembre de 2013 a diciembre de 2014 se registró la lámina de agua de lluvia por evento. Se instaló un pluviómetro rústico con capacidad de cuatro litros y un diámetro de captación de 17 cm. Después de cada lluvia se midió el agua colectada utilizando una probeta de un litro graduada a cada mm. El cálculo de la lámina de lluvia se realizó aplicando la fórmula siguiente:

Lámina = mL de agua colectados/ área de captación (cm²).

Crecimiento de los árboles

En el mes de septiembre de 2014, al iniciar la caída de hojas se registró la altura de los árboles; esta variable se midió desde la unión del injerto hasta la yema apical del tallo o líder central. El diámetro del tronco, se evaluó a los cinco centímetros arriba de la unión del injerto con el fin de evitar medir el engrosamiento que algunos árboles presentan como resultado de la incompatibilidad entre la variedad y el portainjerto. Para contabilizar diferencias en el desarrollo de la raíz, se midió su diámetro al nivel del suelo. Estos datos se analizaron bajo el modelo experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, considerando la profundidad de cepas-zanja como parcela grande y a las dosis de zeolita como parcela chica, los análisis de varianza se realizaron utilizando el programa SAS para Windows versión 9.0.

4.3. Resultados y Discusión

4.3.1. Registro de lluvias

En el Cuadro 3, se presentan los valores de las láminas de lluvia diaria y acumulada por mes, durante el periodo de diciembre de 2013 a diciembre de 2014.

Cuadro 3. Eventos de lluvia ocurridos del mes de diciembre de 2013 al mes de diciembre de 2014

Días del mes	Lamina de lluvia en mm por día y mes (mm)										Total
	Dic de 2013	Mar de 2014	Abr de 2014	May de 2014	Junio de 2014	Julio de 2014	Ago de 2014	Sept de 2014	Oct de 2014	Dic de 2014	
1	----	----	----	5.5	----	----	----	----	----	----	5.5
2	----	----	----	----	----	17.3	----	24.3	----	----	41.6
3	----	----	----	14.6	----	----	----	----	----	----	14.6
5	----	----	----	----	----	----	23.5	----	----	----	23.5
6	----	----	----	----	11.5	14.6	20.8	----	----	----	46.9
7	----	----	----	----	----	15.5	----	----	----	----	15.5
8	----	----	----	----	27.0	----	2.2	----	----	----	29.2
9	----	----	----	----	11.1	11.1	----	8.8	----	----	31.0
10	----	----	----	13.3	14.6	----	----	----	----	----	27.9
11	----	----	----	----	44.2	----	----	----	----	----	44.2
14	----	----	13.3	----	----	----	----	----	----	----	13.3
16	----	----	----	----	----	19.9	----	----	----	----	19.9
17	----	----	----	----	----	9.3	----	----	----	----	9.3
19	----	----	0.4	----	----	----	----	26.5	28.8	----	55.7
20	----	----	----	----	----	----	----	61.9	----	----	61.9
21	----	----	----	15.0	----	----	----	----	----	----	15.0
22	----	----	12.4	----	----	----	----	----	----	----	12.4
23	----	----	17.5	----	----	----	----	----	----	----	17.5
24	----	----	4.4	18.1	13.3	8.4	----	----	----	44.2	88.5
25	----	----	----	8.8	7.5	----	----	----	----	----	16.4
26	----	----	----	----	5.8	----	----	----	----	----	5.8
27	----	----	----	17.7	----	----	----	----	----	----	17.7
28	39.8	----	10.0	----	----	----	----	----	----	----	49.8
29	----	----	----	----	31.0	----	----	----	----	----	31.0
30	----	----	----	----	23.9	----	----	----	----	----	23.9
31	----	15.5	----	----	----	----	----	----	----	----	15.5
Total	39.8	15.5	57.9	93.1	189.8	96.0	46.5	121.7	28.8	44.2	733.3

Los datos muestran que la lámina de precipitación pluvial total anual en el área de estudio fue un 46% más alta que la precipitación media reportada para esa zona, según Oswald y Hernández (2005), estas lluvias atípicas pueden ser atribuidas al calentamiento global y al cambio climático.

En los meses de enero, febrero y noviembre no se presentaron lluvias, sin embargo, la lámina promedio mensual que fue de 56.4 mm, cubrió las necesidades hídricas de los árboles de duraznero, esto debido a que los meses sin lluvia coincidieron con la etapa de reposo invernal (febrero y marzo) y con el final de la fase de crecimiento vegetativo (noviembre), durante las cuales las plantas disminuyen significativamente su transpiración y la demanda de agua.

La mayor cantidad de lluvia ocurrió en los meses de junio con una lámina de 190 milímetros y septiembre con poco más de 120. La intensidad de lluvia en esos meses provocó una saturación temporal del suelo que se reflejó en el amarillamiento leve de las hojas de los árboles; no obstante, la cualidad del suelo de textura areno-francosa que permite un buen drenaje, evitó la muerte de árboles por exceso de humedad.

4.3.2. Contenido de humedad volumétrica

Resultados del análisis de varianza para contenido de humedad

En el Cuadro 4 se presenta la significancia que resultó del análisis de varianza para contenido de humedad en la profundidad de suelo de 0-20 cm; los datos indican que solo hubo efecto significativo para los factores de bloque (Bloq), profundidad de cepa-zanja (Profco) y la interacción entre ambos. Con base en esta prueba se puede afirmar que para los meses de febrero y agosto se presentaron diferencias entre los bloques; solo en el mes de julio hubo diferencias entre las profundidades de cepa-zanja; y el efecto de la interacción de ambos fue importante en los meses de marzo, junio y agosto.

La no significancia de las dosis de zeolita (parcela chica) y su interacción con las profundidades de cepa-zanja (parcela grande), permite deducir que el tipo y las dosis de zeolita utilizadas en este experimento no influyeron en la retención de humedad para la profundidad de suelo de 0-20 cm.

Cuadro 4. Valores de F para las variables de contenido de humedad de los meses noviembre a agosto, a la profundidad de 0-20 cm.

Factor	Valores de F									
	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago
Bloque	2.08 ^{NS}	1.58 ^{NS}	3.06 ^{NS}	5.89 ^{**}	0.64 ^{NS}	1.25 ^{NS}	0.96 ^{NS}	5.75 ^{NS}	2.16 ^{NS}	6.27 ^{**}
Profco^z	0.26 ^{NS}	2.20 ^{NS}	5.09 [*]	1.67 ^{NS}	0.15 ^{NS}	0.19 ^{NS}	0.05 ^{NS}	2.29 ^{NS}	4.08 [*]	3.84 ^{NS}
Bloq*Profco	0.63 ^{NS}	1.86 ^{NS}	0.81 ^{NS}	0.90 ^{NS}	2.62 [*]	1.57 ^{NS}	0.75 ^{NS}	2.30 [*]	1.97 ^{NS}	3.32 ^{**}
Doze^y	0.20 ^{NS}	2.23 ^{NS}	1.55 ^{NS}	1.97 ^{NS}	2.42 ^{NS}	0.49 ^{NS}	1.20 ^{NS}	2.86 ^{NS}	0.61 ^{NS}	0.26 ^{NS}
Profco*Doze	1.62 ^{NS}	2.39 ^{NS}	0.76 ^{NS}	0.39 ^{NS}	0.94 ^{NS}	0.23 ^{NS}	1.35 ^{NS}	0.5 ^{NS}	0.88 ^{NS}	1.23 ^{NS}
Media (%)	20.64	19.912	20.386	14.772	15.466	24.56	19.88	18.90	17.58	11.40
CV	40.99	28.42	22.97	32.46	15.94	19.15	18.65	8.28	9.61	10.88
R²	0.48	0.69	0.60	0.73	0.76	0.71	0.67	0.82	0.76	0.88

*P≤0.05; **P≤0.01; NS: no significativa

Z parcela grande y el factor profundidades de cepa-zanja.

Y parcela chica y el factor dosis de zeolita.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados del análisis de varianza para contenido de humedad en la profundidad de suelo de 20-40 cm; los datos indican que solo hubo significancia para los factores de profundidad de cepa-zanja (Profco) en el mes de marzo; para dosis de zeolita (Doze) en el mes de agosto; y solo hubo interacción entre los factores de bloque (Bloq) y profundidad de cepa-zanja (Profco), esto permite deducir que a mayor profundidad de composteo existen menores diferencias entre los factores evaluados y las que existen se deben a la interacción de los factores de bloque y profundidad de cepa-zanja. También se puede inferir que, al menos una de las dosis de zeolita, manifiesta

efecto en la retención de humedad cuando existe una menor cantidad de lluvia, combinada con una mayor extracción de humedad por las plantas.

Cuadro 5. Valores de F para las variables de contenido de humedad de los meses noviembre a agosto, a la profundidad de 20-40 cm.

Factor	Valores de F									
	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago
Bloque	1.13 ^{NS}	2.31 ^{NS}	1.74 ^{NS}	0.26 ^{NS}	0.14 ^{NS}	0.47 ^{NS}	0.39 ^{NS}	0.12 ^{NS}	0.23 ^{NS}	1.05 ^{NS}
Profco^z	4.9*	0.69 ^{NS}	0.08 ^{NS}	1.21 ^{NS}	5.23*	2.03 ^{NS}	1.53 ^{NS}	1.57 ^{NS}	0.87 ^{NS}	0.45 ^{NS}
Bloq*Profco	1.34 ^{NS}	0.85 ^{NS}	1.12 ^{NS}	2.80*	1.58 ^{NS}	2.08 ^{NS}	4.36**	2.14 ^{NS}	3.66**	6.19**
Doze^y	0.37 ^{NS}	1.69 ^{NS}	1.11 ^{NS}	0.99 ^{NS}	1.02 ^{NS}	0.14 ^{NS}	0.04 ^{NS}	0.35 ^{NS}	0.16 ^{NS}	0.85*
Profco*Doze	0.32 ^{NS}	1.92 ^{NS}	1.22 ^{NS}	0.55 ^{NS}	0.35 ^{NS}	0.19 ^{NS}	1.92 ^{NS}	0.28 ^{NS}	0.38 ^{NS}	1.39 ^{NS}
Media^x	47.43	40.35	39.14	42.89	35.75	42.63	37.81	32.00	29.82	18.08
CV (%)	27.18	35.99	36.69	26.84	29.09	26.58	17.81	20.15	15.23	12.57
R²	0.73	0.57	0.55	0.77	0.73	0.75	0.87	0.67	0.76	0.85

*P≤0.05; **P≤0.01; NS: no significativa

Z parcela grande y el factor profundidades de cepa-zanja.

Y parcela chica y el factor dosis de zeolita.

X porciento de humedad volumétrica.

Resultados de comparación de medias para contenido de humedad volumétrica

Los resultados de humedad volumétrica que se presentan en los Cuadros 6 y 7, muestran que durante los primeros 5 meses no hubo diferencias significativas entre los niveles tanto del factor profundidad de cepa-zanja como de la dosis de zeolita; en cambio, a excepción de los meses de noviembre, febrero y agosto, se encontraron diferencias entre los tratamientos con composta y el testigo.

En el mes de febrero de 2014, el contenido de humedad en el testigo, bajó a niveles cercanos al punto de marchitez permanente (PMP), de tal manera que hubo necesidad de aplicar un riego de 48 mm de lámina, y se aplicó otro de igual volumen en el mes de abril porque aunque en promedio aun había margen sobre el PMP, algunas plantas de las parcelas sin composta, presentaron síntomas de marchitamiento.

Cuadro 6. Comparación de medias para contenido de humedad volumétrica (%) de los tratamientos a dos profundidades del suelo en los meses de noviembre de 2013 a marzo de 2014.

Trat. ^z	Nov 0-20	Nov 20-40	Dic 0-20	Dic 20-40	Ene 0-20	Ene 20-40	Feb 0-20	Feb 20-40	Mar 0-20	Mar 20-40
1	16.4 a	51.8 a	15.2 a	46.5 a	16.4 a	46.5 a	14.9 a	46.0 a	17.1 a	39.2 a
2	22.9 a	51.7 a	14.3 a	27.4 a	22.9 a	26.9 a	15.1 a	48.4 a	15.1 a	44.3 a
3	22.8 a	54.3 a	21.2 a	44.0 a	22.9 a	42.7 a	19.1 a	49.1 a	14.4 a	45.8 a
4	28.6 a	56.5 a	17.8 a	40.1 a	28.6 a	41.4 a	18.3 a	48.6 a	18.4 a	40.6 a
5	18.2 a	59.5 a	20.3 a	46.4 a	18.2 a	43.3 a	14.1 a	43.8 a	15.5 a	38.1 a
6	19.2 a	56.2 a	21.7 a	32.2 a	19.2 a	34.3 a	17.8 a	57.9 a	15.1 a	47.2 a
7	20.5 a	37.2 a	28.2 a	51.0 a	20.5 a	42.2 a	14.2 a	38.8 a	15.9 a	27.0 a
8	18.7 a	38.3 a	17.8 a	34.5 a	18.7 a	36.6 a	12.5 a	39.5 a	16.3 a	30.5 a
9	21.6 a	46.9 a	22.4 a	47.9 a	21.6 a	44.1 a	15.1 a	40.8 a	16.2 a	30.0 a
10	20.7 a	21.3 b	20.0 a	33.1 a	17.2 a	33.3 a	6.2 b	15.7 b	10.0 b	14.3 b

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Cuadro 7. Comparación de medias para contenido de humedad volumétrica (%) a dos profundidades en los meses de abril a agosto de 2014

Trat. ^z	Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto	
	0-20 cm	20.40 cm	0-20 cm	20.40 cm	0-20 cm	20.40 cm	0-20 cm	20.40 cm	0-20 cm	20.40 cm
1	27.1 a	49.7 a	19.3 a	45.2 a	18.9 a	35.3 a	16.0 a	32.1 a	10.0 a	17.6 a
2	23.4 a	51.6 a	23.9 a	49.0 a	18.4	38.4 a	17.4 a	33.0 a	11.4 a	18.8 a
3	24.8 a	46.8 a	18.6 a	41.2 a	17.6 a	33.0 a	16.2 a	31.5 a	10.0 a	16.6 a
4	26.3 a	51.5 a	21.7 a	41.2 a	19.8 a	33.4 a	18.5 a	29.8 a	11.5 a	20.6 a
5	25.2 a	47.8 a	19.7 a	35.7 a	18.5 a	34.3 a	17.9 a	32.8 a	11.2 a	18.9 a
6	25.3 a	46.6 a	21.0 a	43.4 a	18.6 a	33.9 a	18.5 a	32.1 a	11.5 a	18.9 a
7	26.3 a	38.3 a	21.1 a	33.9 a	20.6 a	30.0 a	19.4 a	28.5 a	13.1 a	18.7 a
8	26.0 a	37.8 a	22.0 a	36.9 a	20.8 a	29.6 a	19.4 a	27.2 a	12.5 a	16.3 a
9	27.0 a	39.6 a	19.8 a	37.7 a	19.0 a	29.4 a	18.0 a	29.1 a	12.6 a	18.5 a
10	14.2 b	16.7 b	11.7 b	13.9 b	16.8 b	22.5 b	14.4 b	21.9 b	10.2 a	15.9 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Z = Trat.1): 0.5 m de profundidad de cepa-zanja (profco) y 2.5 t ha⁻¹ de zeolita (doze); Trat. 2): 0.5 m de profco y 5.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 3): 0.5 m de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat.4): 1.0 m de profco y 2.5 t ha⁻¹ de doze. Trat. 5): 1.0 de profco y 5.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 6): 1.0 de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 7): 1.5 de profco y 2.5 t ha⁻¹ de doze. Trat. 8): 1.5 de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 9): 1.5 de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 10): 0.0 de profco y 0.0 t ha⁻¹ de doze.

Para todos los tratamientos el contenido de humedad siempre fue hasta un 75% mayor en la capa de suelo de 20 a 40 cm comparada con la de 0- 20 cm (Cuadro 8); esto ocurre debido a que la textura areno-francosa que presenta el suelo, contiene una alta proporción de macroporos que permiten una buena infiltración del agua; mientras que, la baja proporción de microporos limita el ascenso capilar y en consecuencia la evaporación desde los estratos inferiores

Cuadro 8. Medias del contenido de humedad del suelo durante los meses de noviembre de 2013 a agosto de 2014, en diferentes profundidades de muestreo.

Prof.	Meses									
	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
0-20 cm	20.6 a	19.9 a	20.4 a	14.8 a	15.5 a	24.6 a	19.9 a	18.9 a	17.6 a	11.4 a
20-40cm	47.4 b	40.3 b	39.1 b	42.9 b	35.7 a	42.6 b	37.8 b	32.0 b	29.8 b	18.1 b

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Alaoui y Goetz (2008) al estudiar suelos de pradera y de cultivos encontraron que después de cada evento de lluvia o riego, la humedad se perdía más rápidamente en los primeros 15 cm del suelo, atribuyéndolo al incremento de la temperatura superficial más que a la porosidad.

Por lo tanto, la menor temperatura, la menor velocidad de evaporación y la mayor concentración de materia orgánica, explican el mayor contenido de humedad en el estrato de 20-40 cm del suelo en los tratamientos con composta y zeolita.

Como se muestra en la Figura 3, el incremento de la cantidad de lluvia no correspondió con el contenido de humedad del suelo; esto se explica por la mayor demanda de las plantas que a partir del mes de abril iniciaron su etapa de desarrollo vegetativo intenso; porque a partir de la última semana del mes de julio inicia el periodo de canícula que se caracteriza por el aumento de la temperatura y la disminución de las lluvias.

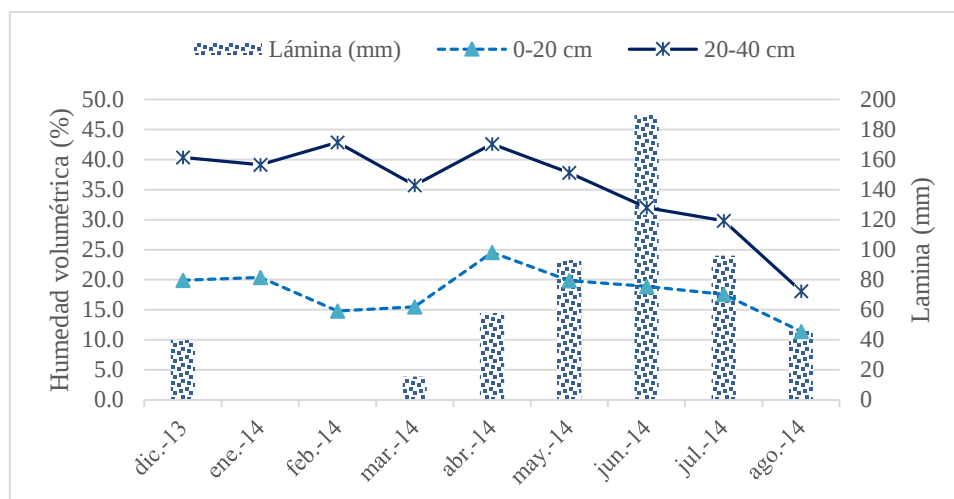


Figura 3. Lámina de lluvia mensual y concentración de humedad volumétrica a dos profundidades del suelo.

4.3.3. Resultados de la determinación de las variables físicas

Como se muestra en el Cuadro 9, la textura, densidad aparente y las constantes de humedad (CC, PMP y HA) no fueron estadísticamente diferentes como respuesta a las profundidades de cepa-zanja y dosis de zeolita; la textura corresponde a la categoría de arena francosa, la densidad concuerda con el tipo de textura y la ausencia de diferencias entre los niveles de zeolita de acuerdo con Mumpton (1999), puede ser debido a que el tipo de zeolita utilizada fue de baja capacidad de retención de humedad.

Cuadro 9. Medias de algunas variables físicas del suelo en respuesta a diferentes dosis de zeolita

Dosis de Zeolita (ton ha ⁻¹)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Dap (g cm ⁻³)	CC (%)	PMP (%)	HA (%)
0	10.41 a	9.1 a	80.5 a	1.5 a	9.9 a	5.4 a	4.5 a
2.5	9.8 a	10.7 a	79.5 a	1.5 a	11.3 a	6.4 a	4.9 a
5	10.3a	9.6 a	80.1 a	1.4 a	15.5 a	6.2 a	9.3 a
10	10.5 a	9.8 a	79.7 a	1.4 a	11.2 a	6.9 a	4.3 a
DMS	0.86	2.50	2.73	0.06	6.48	1.56	6.49
CV	4.49	13.59	1.82	2.49	29.59	13.39	63.57

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

4.3.4. Resultados de la disponibilidad de nutrimentos

Concentración nutrimental de los materiales usados en la composta

En los Cuadros 10 y 11 se muestran los resultados de los análisis químicos de los materiales usados para el compostaje y destaca el bajo contenido de P de la roca fosfórica en comparación con lo reportado por Casas (2012).

El contenido de potasio dio un valor mucho mayor que lo reportado en el citado trabajo, lo cual puede ser debido a que la paja de maíz que se usó en esta investigación, fue de mejor calidad.

De acuerdo a los valores de pH del estiércol y la arena de río, estos materiales se clasifican como alcalinos para el caso del estiércol debido el proceso de mineralización aun incompleto (Mirabelli, 2008) y ligeramente alcalina en el caso de la arena, debido a su contenido de partículas derivadas de rocas calcáreas.

Cuadro 10. Concentración de MO, macronutrimentos y pH en los materiales usados para la composta.

Material	MO (%)	pH	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Arena de Río	0.27	8.5	0	0	0	0	0
Zacatón	ND	ND	1.2	0.1	1.8	0.2	0.1
Paja de maíz	ND	ND	1.2	0.1	2.6	0.2	0.2
Carbón	ND	ND	0.2	0	1.3	3.8	0.2
Zeolita	ND	ND	0	0.2	0	2.7	0
Estiércol	2.76	9.8	1.0	0.2	1.3	0.5	0.2
Roca fosfórica	ND	ND	1.2	9.7	0	0.5	0
Suelo	0.4	6.3	0	0	0	0.2	0

ND: no determinado.

Cuadro 11. Concentración de micronutrientos y CIC en los materiales usados para la composta.

Material	Fe (mgkg- 1)	Mn (mgkg- 1)	Zn (mgkg- 1)	Cu (mgkg- 1)	B (mgkg- 1)	CIC (meq/100g)
Arena de Río	1.95	0.52	0.88	0.06	0.05	4
Zacatón	119.1	17.5	16.6	3.5	5.42	ND
Paja de maíz	544.8	24	3	1.2	6.02	ND
Carbón	1954	176	156	20	0	ND
Zeolita	109.2	0	0	0	ND	90.0
Estiércol	6075.4	118.3	22.4	9.9	0	15.75
Roca fosfórica	357.6	13.8	7.6	3.2	ND	ND
Suelo	44.6	9.64	0.44	0.82	1.29	5.54

ND: no determinado.

Resultados del análisis de varianza para las variables químicas

En el Cuadro 12 se muestran los valores de F que resultaron del análisis de varianza realizado para MO, N-i, P, K, Ca, Mg y S. Con los datos correspondientes a las tres fechas de muestreo, se realizó el análisis de varianza bajo el modelo de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela grande fue la fecha de muestreo y la parcela chica el tratamiento asignado a cada unidad experimental, la mayoría de los factores tuvieron diferencias estadísticas lo cual indica que el pH, la CE, la CIC y los microelementos tienen valores estadísticamente diferentes para al menos alguno de los tratamientos. Los valores de r^2 indican una representatividad aceptable del modelo y los altos coeficientes de variación dan cuenta de la alta heterogeneidad que de acuerdo con Martínez (1994) es normal cuando se trabaja con especies perenes.

Cuadro 12. Valores de F para las variables Mo, N-i, P, K, Ca, Mg y S.

Factor	variables						
	MO	N-i	P	K	Ca	Mg	S
Femu ^z	17.07**	21.94**	21.12**	1.05 ^{NS}	33.85**	25.90**	26.32**
Profmu ^y	87.82**	40.79**	87.78**	158.93**	75.63**	119.90**	72.55**
Femu*Profmu	1.95 ^{NS}	6.52**	01.30 ^{NS}	0.94 ^{NS}	0.33 ^{NS}	2.01 ^{NS}	0.74 ^{NS}
Bloq ^x	7.59**	0.59 ^{NS}	19.09**	7.89**	6.27**	12.62**	6.49**
Femu*Bloq	9.63**	5.67**	7.18**	4.91**	3.89**	15.69**	4.92**
Profmu*Bloq	4.26**	2.37 ^{NS}	3.60**	2.95*	0.58 ^{NS}	0.37 ^{NS}	2.34 ^{NS}
Tratw ^w	16.17**	9.16**	16.79**	13.34**	5.29**	8.86**	10.67**
Femu*Trat	1.06 ^{NS}	1.43 ^{NS}	0.90 ^{NS}	1.23 ^{NS}	1.01 ^{NS}	0.96 ^{NS}	1.52 ^{NS}
Profmu*trat	5.02**	1.32 ^{NS}	4.52**	4.69**	1.65 ^{NS}	1.50 ^{NS}	2.15 ^{NS}
Trat*Bloq	1.76**	1.05 ^{NS}	4.04**	2.29**	2.34**	1.58*	3.68**
Media	1.57	33.92	67.74	597.78	684.56	139.09	8.47
CV	32.67	43.34	49.85	36.23	33.81	38.19	56.92
R ²	0.72	0.60	0.75	0.71	0.64	0.72	0.70

*P≤0.05; **P≤0.01; NS: no significativa

Z: fecha de muestreo.

Y: profundidad de muestreo.

X: bloque

W: tratamiento.

En el Cuadro 13 se muestran los valores de F que resultaron del análisis de varianza realizado para pH, CE, Fe, Mn, Zn, Cu, B y CIC. Con los datos correspondientes a las tres fechas de muestreo, se realizó el análisis de varianza bajo el modelo de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela grande fue la fecha de muestreo y la parcela chica el tratamiento asignado a cada unidad experimental, la mayoría de los factores tuvieron diferencias estadísticas lo cual indica que el pH, la CE, la CIC y los microelementos tienen valores estadísticamente diferentes para al menos alguno de los tratamientos.

Cuadro 13. Valores de F para las variables pH, CE, Fe, Mn, Zn, Cu, B y CIC.

Factor	variables							
	pH	CE	Fe	Mn	Zn	Cu	B	CIC
Femu ^Z	22.87**	283.05**	455.97**	85.30**	4.31*	3.09*	24.36**	20.95**
Profmu ^Y	435.27**	269.7**	25.32**	22.72**	11.93**	1.40 ^{NS}	9.08**	17.95**
Femu*Profmu	11.44**	28.19**	11.78**	18.06**	0.59 ^{NS}	4.15*	0.68 ^{NS}	0.56 ^{NS}
Bloq ^X	55.15**	4.37**	4.34**	10.47**	12.07**	8.19**	2.31 ^{NS}	4.35**
Femu*Bloq	0.59 ^{NS}	1.59 ^{NS}	23.70**	39.12**	7.62**	1.18 ^{NS}	2.58*	2.29*
Profmu*Bloq	4.99**	4.58**	2.16 ^{NS}	5.74**	4.50**	1.12 ^{NS}	0.63 ^{NS}	1.65 ^{NS}
Trat ^W	65.23**	32.80**	6.60**	5.32**	5.14**	3.63**	2.25*	3.35**
Femu*Trat	1.12 ^{NS}	4.09**	1.72*	1.15 ^{NS}	0.59 ^{NS}	0.92 ^{NS}	0.55 ^{NS}	0.63 ^{NS}
Profmu*trat	5.53**	5.72**	3.83**	2.68**	0.39 ^{NS}	1.22 ^{NS}	0.92 ^{NS}	0.84 ^{NS}
Trat*Bloq	7.23**	4.87**	2.74**	2.50**	1.67*	2.08**	1.26 ^{NS}	1.58*
Media	7.86	297.12	8.34	5.85	1.39	0.40	1.14	6.47
CV	3.63	30.45	35.97	29.76	58.39	76.61	75.86	34.06
R ²	0.89	0.88	0.87	0.79	0.57	0.49	0.46	0.59

*P≤0.05; **P≤0.01; NS: no significativa

Z: fecha de muestreo.

Y: profundidad de muestreo.

X: bloque.

W: tratamiento.

Concentración de nutrimentos por tratamiento

Como se muestra en los Cuadros 14 y 15, la concentración promedio de nutrimentos fue significativamente mayor en los tratamientos con composta y zeolita, comparados con el testigo y aunque a excepción del P, entre los niveles evaluados no hubo diferencias estadísticas, a continuación se mencionan los que fueron numéricamente mayores que el testigo:

El contenido de materia orgánica en el testigo fue 200% menor que en el tratamiento 6, el cual corresponde a un metro de profundidad de cepa-zanja y la dosis de 10 toneladas de zeolita por hectárea. Esta diferencia era esperada porque el terreno es arenoso y como se mostró en el Cuadro 10, el suelo del predio es muy pobre en materia orgánica.

Cuadro 14. Comparación de medias para los resultados de pH y CE y la concentración nutrimental promedio de macronutrientes por tratamiento.

Trat ²	pH	CE ($\mu\text{S cm}$)	N-i (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	Ca (mg kg^{-1})	Mg (mg kg^{-1})
1	8.0 ab	334.4 a	36.8 a	95.3 a	585.6 a	686.0 a	146.7 a
2	8.0 ab	336.6 a	37.9 a	72.9 ab	687.4 a	652.3 ab	126.8 a
3	8.1 a	385.6 a	39.2 a	96.9 a	687.9 a	719.5 a	154.8 a
4	8.1 a	341.2 a	35.1 a	62.2 b	675.0 a	675.7 a	132.1 a
5	8.0 ab	322.0 a	36.1 a	62.1 b	633.3 a	646.0 ab	132.8 a
6	8.1 a	375.0 a	40.8 a	83.8 ba	685.9 a	711.2 a	145.3 a
7	7.9 ab	275.8 a	29.9 ab	63.8 b	656.1 a	802.7 a	166.3 a
8	7.8 b	273.0 a	38.5 a	63.7 b	581.5 a	763.1 a	158.5 a
9	7.8 b	275.0 a	32.2 ab	70.3 ba	577.6 a	743.2 a	161.4 a
10	6.7 c	52.9 b	12.7 b	6.5 c	207.5 b	446.0 b	66.3 b
DMS	0.278	169.42	16.28	29.60	222.57	215.52	49.20

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Cuadro 15. Comparación de medias de la concentración nutrimental promedio de Mo, S, micronutrientes y CIC por tratamiento.

Trat ²	Variables químicas							
	MO (%)	S (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	B (mg kg^{-1})	CIC ($\text{meq}/100\text{g}$)
1	1.6 a	9.4 a	9.6 ab	6.1 abc	1.6 ab	0.5 ab	1.1 b	5.6 a
2	1.7 a	9.1 a	8.8 ab	6.3 ab	1.6 ab	0.6 a	1.3 ab	6.2 ab
3	1.8 a	13.1 a	9.0 ab	6.0 abc	1.7 ab	0.6 ab	1.7 a	6.3 ab
4	1.8 a	9.7 a	9.5 ab	6.2 ab	1.4 ab	0.3 ab	1.0 b	6.4 ab
5	1.6 a	7.3 a	9.0 ab	6.2 ab	1.3 ab	0.3 ab	1.0 b	6.1 ab
6	1.8 a	12.1 a	10.0 a	7.0 a	1.5 ab	0.4 ab	1.3 ab	6.4 ab
7	1.7 a	6.7 a	6.8 ab	5.2 bc	1.5 ab	0.5 ab	1.0 b	7.0 ab
8	1.6 a	6.3 a	6.5 ab	5.0 bc	1.2 b	0.3 ab	0.9 b	7.0 ab
9	1.5 a	7.8 a	6.0 b	4.5 c	1.5 ab	0.3 b	1.1 b	8.5 b
10	0.6 b	3.2 a	8.2 ba	6.0 abc	0.6 c	0.3 ab	0.9 b	5.2 a
DMS	0.49	5.50	3.64	1.73	0.57	0.27	0.59	2.24

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Z = Trat.1): 0.5 m de profundidad de cepa-zanja (profco) y 2.5 t ha⁻¹ de zeolita (doze); Trat. 2): 0.5 m de profco y 5.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 3): 0.5 m de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat.4): 1.0 m de profco y 2.5 t ha⁻¹ de doze. Trat. 5): 1.0 de profco y 5.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 6): 1.0 de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 7): 1.5 de profco y 2.5 t ha⁻¹ de doze. Trat. 8): 1.5 de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 9): 1.5 de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 10): 0.0 de profco y 0.0 t ha⁻¹ de doze.

La concentración de nitrógeno inorgánico fue más de tres veces mayor en el tratamiento 6 comparado con el testigo, alcanzando un valor que de acuerdo con la NOM-021 se clasifica como intermedio y en virtud de que los materiales utilizados tenían bajo contenido de nitrógeno, se puede suponer que la riqueza biológica de la composta mantiene poblaciones importantes de microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico (Gili et al., 2007); sin embargo se requiere realizar los estudios que permitan caracterizar tales poblaciones y cuantificar sus aportaciones al sistema de composteo *in situ*.

En la Figura 4, se puede observar que existe una correspondencia entre los valores de materia orgánica con y nitrógeno inorgánico; lo cual coincide con lo reportado por Núñez (2007), respecto a la relación que hay entre el contenido de materia orgánica y la concentración de diferentes nutrimentos en el suelo.

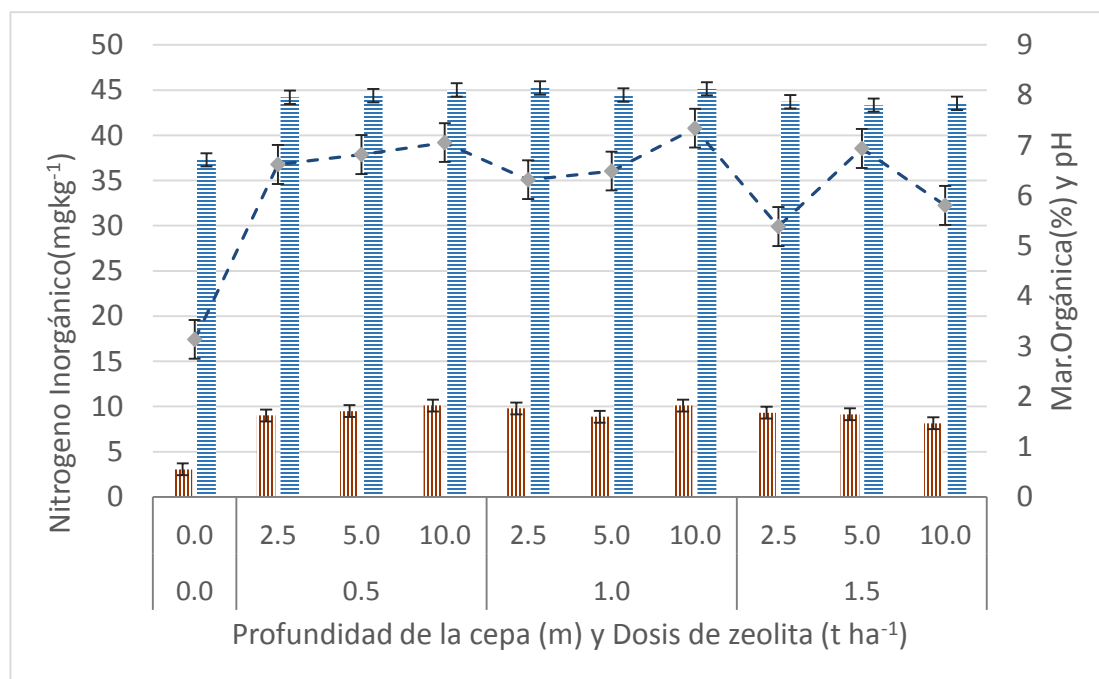


Figura 4. Concentración de MO, Nitrógeno Inorgánico y pH bajo diferentes profundidades de cepa-zanja y dosis de zeolita.

Para el caso de potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE), los tratamientos 7 y 9, que corresponden a 1.5 m de cepa-zanja y 2.5 y 10 tha⁻¹ de

zeolita respectivamente, fueron los más cercanos al testigo con menores valores comparados con el resto de tratamientos, lo cual se puede explicar por un mayor lavado de algunos nutrientes y mineralización de la materia orgánica.

En cuanto a fósforo, el tratamiento 3, que corresponde a la profundidad de cepa- zanja de 0.5 m con la dosis de 10 toneladas de zeolita por hectárea, tuvo una concentración 15 veces mayor que el testigo, lo cual es el resultado de la aplicación de roca fosfórica que al ser sometida por los compuestos generados por la descomposición de la materia orgánica permitió la mayor disponibilidad de este nutriente (Tisdale y Nelson, 1982).

Este nutriente fue el único que presentó diferencias estadísticas como efecto de los niveles de los factores estudiados, donde como se muestra en la Figura 5.

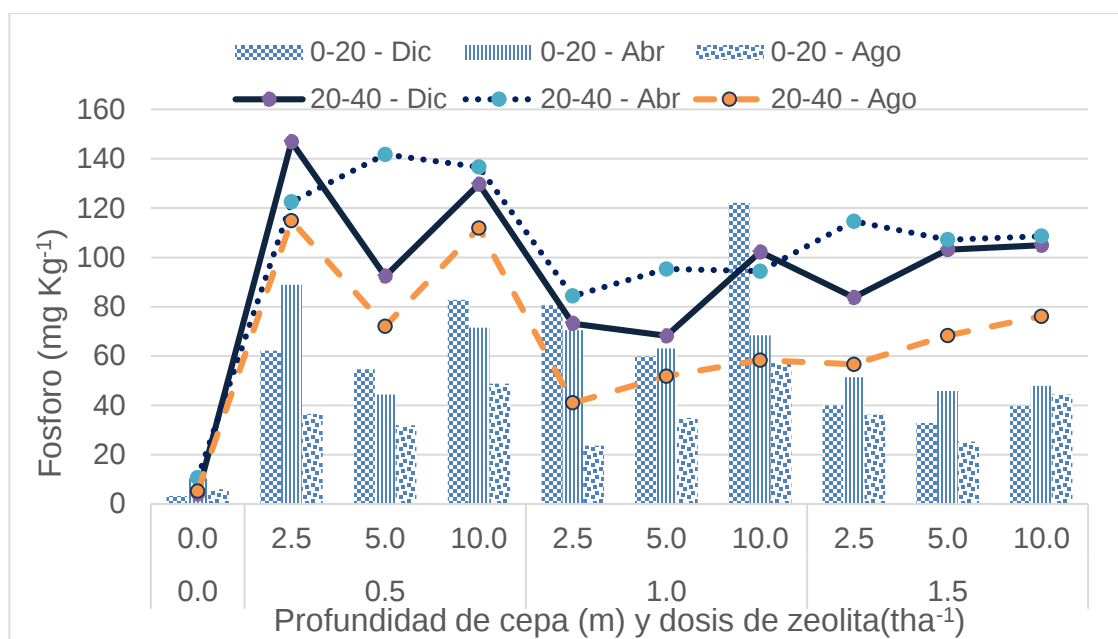


Figura 5. Concentración de fósforo a distintas fechas y profundidades de muestreo.

El mejor tratamiento fue el de menor profundidad, seguido del de mayor profundidad. Al comparar los niveles de zeolita, los resultados indican la ausencia de diferencias estadísticamente significativas aunque se observó una mayor concentración de fósforo en la dosis de 10 t ha⁻¹.

Comparada con el testigo, la concentración de potasio fue 200% mayor en el tratamiento 6 que corresponde a un metro de profundidad de composteo y 10 t ha⁻¹ de zeolita, los valores encontrados corresponden a la categoría de alto a muy alto (Castellanos *et al.*, 2000). Estos resultados eran esperados, dado que los materiales usados como se muestra en el Cuadro 10, eran ricos en este nutrimento.

La concentración de calcio y magnesio fue mayor en los tratamientos 7 y 9 que corresponden a la profundidad de cepa-zanja de 1.5 m y que se pueden explicar por una probable mayor infiltración y por consecuencia mayor lavado de aniones. En contraparte, los cationes calcio y magnesio pueden ser retenidos en los sitios de intercambio catiónico de las arcillas y los ácidos húmicos, estos últimos que resultan del proceso de maduración de la composta y explican el incremento de la CIC. La variable CIC fue 50% mayor en el tratamiento 9, comparado con el testigo, lo cual puede ser debido a que en la mayor profundidad de la cepa-zanja, hubo mayor infiltración y por lo tanto, también mejores condiciones de aeración para la actividad microbiana (Álvarez *et al.*, 2010).

En la Figura 6, se muestran los niveles de concentración de potasio, calcio y conductibilidad eléctrica. Comparados con el testigo, en la gráfica se puede observar la alta concentración de potasio en contraste con la de calcio, misma que en el experimento para todas las fechas de muestreo tuvo niveles en la categoría de bajos a moderadamente bajos (Castellanos *et al.*, 2000).

La disminución en los valores de CE de la segunda a la tercera fecha de muestreo, pueden ser resultado del aprovechamiento de nutrimentos por las plantas y otra parte por lixiviación (Rodríguez *et al.*, 2011).

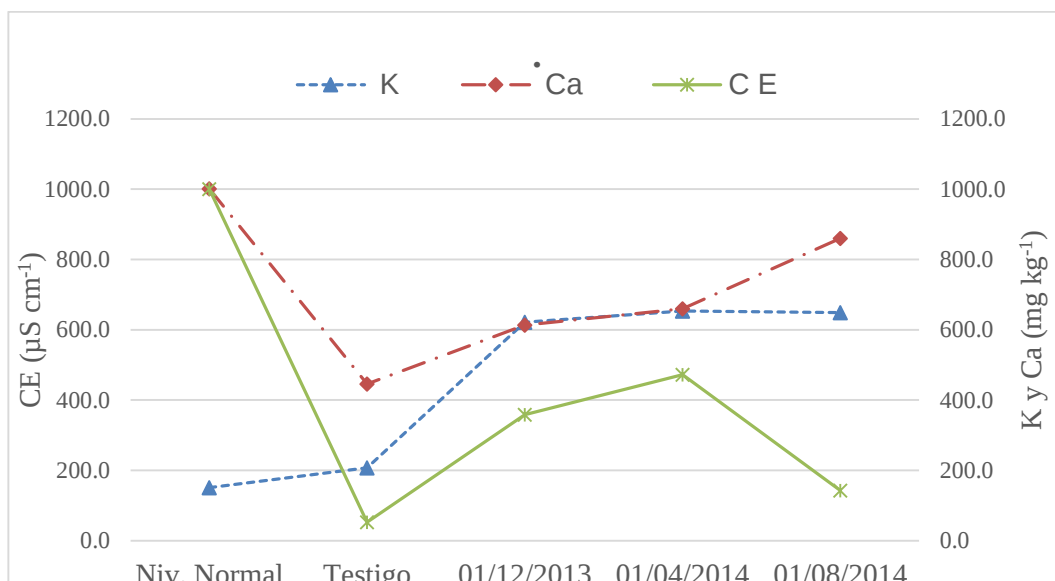


Figura 6. Valores de CE y concentración de K y Ca en tres fechas de muestreo.

De acuerdo con Moody and Bell (2006) la alta concentración de potasio también puede explicarse por el incremento en la actividad extractora de los árboles cuyas raíces modifican las condiciones rizosféricas para hacer más disponible este nutrimento.

La concentración de los micro elementos azufre, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro fue mayor en los tratamientos con 0.5 m de profundidad de la cepa-zanja, sin diferencias en la respuesta a los niveles de dosis de zeolita. Estos datos demuestran que en la menor profundidad de cepa-zanja hubo menor infiltración hacia capas más profundas del suelo, por lo tanto, menor lixiviación de esos nutrimentos. Sin embargo, para respaldar este supuesto, será necesario cuantificar en futuros estudios, la velocidad de infiltración y el volumen de escurrimiento para cada uno de los tratamientos.

En el Cuadro 16 se presentan los resultados de la concentración nutrimental promedio en cada fecha de muestreo. Los datos muestran que para las primeras dos fechas de muestreo, la concentración de nutrimentos no tuvo cambios estadísticamente diferentes; esto se puede explicar porque durante el invierno los

durazneros se encuentran en etapa de reposo, reducen al mínimo su transpiración y por lo tanto, tienen una demanda reducida de agua y nutrimentos.

Cuadro 16. Comparación de medias de la concentración nutrimental promedio de todos los tratamientos por fecha de muestreo.

Fecha	MO (%)	pH	CE ($\mu\text{S cm}$)	N-i (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	Ca (mg kg^{-1})	Mg (mg kg^{-1})
Dic-2013	1.6 a	7.7 a	327.7 a	35.7 a	74.3 a	572.2 a	586.7 a	150.8 a
Abr-2014	1.8 a	7.8 ab	431.8 a	39.8 a	78.9 a	608.9 a	628.8 a	108.2 b
Ago-2014	1.4 b	8 b	131.9 b	26.3 b	50 b	612.2 a	838.2 b	158.3 a
DMS	0.17	0.09	30.21	4.90	11.27	72.31	77.27	17.73

Fecha	S (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	B (mg kg^{-1})	CIC ($\text{meq}/100\text{g}$)
Dic-2013	9.5 a	1.7 a	4.0 a	1.5 a	0.44 ab	1.5 a	5.7 a
Abr-2014	10.3 ab	14.5 b	7.0 b	1.4 ab	0.34 b	0.7 b	
Ago-2014	5.6 b	8.8 ab	6.5 b	1.2 b	0.41 a	1.2 ab	7.2 b
DMS	1.60	1.00	0.58	0.27	0.10	0.28	0.61

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

N-i= nitrógeno inorgánico

4.4. Crecimiento de los árboles

El crecimiento de los árboles de duraznero (*Prunus pérsica* L. Batsch), como se muestra en el Cuadro 17, fue estadísticamente igual en todos los tratamientos, lo cual demuestra que para condiciones no limitantes de humedad y para el primer año de crecimiento de árboles jóvenes, da lo mismo usar el mínimo en profundidad de cepa-zanja con composta (50 cm) y la mínima dosis de zeolita (2.5 t ha^{-1}); aunque cabe señalar, que dado que el testigo se plantó a la misma distancia que en los huertos de la región (3 m entre plantas), con el sistema de composteo *in situ* se puede triplicar la densidad de plantación.

El crecimiento en diámetro tanto de la raíz como del tallo, que se muestran en el mismo cuadro, fue estadísticamente inferior en el tratamiento diez (testigo) en comparación con los tratamientos con diferentes profundidades de cepa-zanja y dosis de zeolita, esto permite inferir que la variedad de duraznero que se plantó, presenta hábito de crecimiento más lateral que vertical (Figura 7), y el mayor diámetro de la raíz en relación al tallo se puede explicar por diferencias de vigor inherentes a su constitución genética.

Cuadro 17. Comparación de medias del diámetro de la raíz, diámetro del tallo y altura de los árboles.

Trat. ^z	Diámetro de Raíz (cm)	Diámetro Tallo (cm)	Altura (cm)
1	3.2 a	2.5 a	175.8 a
2	3.0 a	2.4 a	169.1 a
3	2.9 a	2.4 a	161.6 a
4	3.1 a	2.4 a	171.5 a
5	3.1 a	2.4 a	167.0 a
6	2.9 a	2.4 a	170.0 a
7	3.0 a	2.5 a	176.6 a
8	3.2 a	2.6 a	178.4 a
9	3.2 a	2.6 a	187.0 a
10	2.8 a	2.2 a	162.7 a
DMS	0.52	0.47	28.21

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).
Z = Trat.1): 0.5 m de profundidad de cepa-zanja (profco) y 2.5 t ha⁻¹ de zeolita (doze); Trat. 2): 0.5 m de profco y 5.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 3): 0.5 m de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat.4): 1.0 m de profco y 2.5 t ha⁻¹ de doze. Trat. 5): 1.0 de profco y 5.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 6): 1.0 de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 7): 1.5 de profco y 2.5 t ha⁻¹ de doze. Trat. 8): 1.5 de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 9): 1.5 de profco y 10.0 t ha⁻¹ de doze. Trat. 10): 0.0 de profco y 0.0 t ha⁻¹ de doze.



Figura 7. Crecimiento de los durazneros a un año de la plantación.

4.5. Conclusiones

Para el primer año de la plantación, el composteo in situ en cepas-zanjas de 50 cm y con la adición de 2.5 t ha⁻¹ de zeolita, permite disponer de humedad y nutrientes para abastecer una plantación de durazneros con una densidad de 1850 árboles por hectárea.

El mayor crecimiento en diámetro del tallo y altura de planta, se obtuvieron en la cepa-zanja de 1.5 m y con la dosis de diez toneladas de zeolita por hectárea.

Aún a pesar de la alta precipitación y el crecimiento activo de los árboles, a un año de iniciada la maduración de la composta *in situ*, la concentración de potasio no mostró cambios significativos.

A excepción de calcio, boro, cobre, y los valores de pH, las concentraciones de los demás nutrientes se mantuvieron arriba de los niveles normales, lo que permite inferir que el sistema abastecerá de macronutrientes a los árboles por períodos más largos que valdría la pena estudiarse.

4.6. Literatura citada

- Alaoui, A. y B. Goetz. 2008. Dye tracer and infiltration experiments to investigate macropore flow. Department of Geography, University of Bern. Switzerland. Geoderma 144: 279-286.
- Alvarez-Solíz J.D., E. Díaz-Pérez, N. S. León-Martínez y J. Guillen Velázquez J. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. Terra Latinoamericana 28 (3), 239-245.
- Ateca, M. R., A. M. Aoki y R. Sereno 2007 movimiento del agua en el perfil de un haplustol bajo condiciones de bosque nativo y monocultivo de soja. Terra Latinoamericana 25(3):269-278.
- Boland, A. M. P.D. Mitchell, I. Goodwin y P.H. Jene. 1994. The effect of soil volumen on young peach tree growth and water use. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119(2): 1157-1162.
- Casas R. N., 2012. Caracterización del sistema de composteo in situ para el establecimiento de durazno (*prunus persica*) en un sistema agroforestal

de huerto vivero. Tesis Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACH, Chapingo, México.

Castellanos, J. Z., J. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2a edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, Guanajuato, México.

Cortés, J. I., R. Mendoza, E. Hernández, E. Aceves, A. Turrent y N. Estrella. 2004. Manual para técnicos: el sistema agrícola 'Milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)' en terrenos planos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.

Fideghelli C. 1987. El melocotonero. Mundi-Prensa. Madrid, España. 243 p.

Gholamhoseini M., A. Ghalavand, A. Khodaei-Joghan, Dolatabadian, H. Zakikhani y E. Farmanbar. 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil & Tillage Research* 12 (6): 193–202.

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.

Marek A. M. and W. M. Skierucha. 1989. A manually controlled TDR soil moisture meter operating with 300 ps rise-time needle pulse. *Irrig. Sci.* 10:153-163.

Mirabelli, E., 2008, El Compostaje Proyecto a la Lombricultura, Editorial Hemisferio Sur, S.A. Buenos Aires, Argentina. P.324.

Moody P., W. and M. J. Bell. 2006. Availability of soil potassium and diagnostic soil test. *Australian Journal of Soil Research*. 44: 265-275.

Mumpton, F.A., 1999. La roca mágica: uses of natural zeolite in agriculture and industry. *Proc. of the Natl. Acad. Sci. USA*. 96: 3463-4347.

Muñoz, I. D. J., A. Mendoza C., G. López F., A. Soler A., M. Hernández 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. 2007. El suelo como medio natural en la nutrición de los cultivos. En *Nutrición de Cultivos*. Alcantar G., G. y L. I. Trejo. Tellez. (Coords.) Mundi-Prensa, Colegio de Postgraduados. pp 94-157.

Oswald S., V., y Ma. de L. Hernández R. 2005. El valor del agua: una visión socioeconómica de un conflicto ambiental. EL Colegio de Tlaxcala, CONACYT, SEFOA. Tlaxcala, México. 382 p.

- Polat, E., M. Karaca, Demir, H., and N. Onus A. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Fruit and Ornamental Plant Research. 12:183-189
- Rodríguez, F. H. y J. Rodríguez A., 2011. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Edit. TRILLAS. Segunda Edición 2011. 238 p.
- Salcedo P. E., A. Galvis-S, T.M. Hernández, R. Rodríguez M., F. Zamora N., R. Bugarín M. y R. Carrillo G. 2007. La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo. Terra Latinoamericana 25(4): 419-425
- Tisdale, S. L., y W. L. Nelson. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Balasch J. Y Piña C. (Trad.) UTHEA México. 760 p.
- SIAP. 2013. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. SAGARPA, México.