



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN  
Y SERVICIO EN SUELOS

MAESTRÍA EN AGROFORESTERÍA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE

ACOLCHADO ORGÁNICO CON SUSTRATO RESIDUAL  
POSCULTIVO DE SETAS (*Pleurotus ostreatus*) EN HUERTOS  
DE AGUACATERO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA  
PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

PRESENTA:

Odón Roberto Montes Colmenares



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES



Enero 2016  
Chapingo, Estado de México

ACOLCHADO ORGÁNICO CON SUSTRATO RESIDUAL POSCULTIVO  
DE SETA (*Pleurotus ostreatus*) EN HUERTOS DE AGUACATERO

Tesis realizada por **Odón Roberto Montes Colmenares**, 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. MIGUEL URIBE GÓMEZ

## CONTENIDO

|                                                                                                        | <b>Pág.</b>   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| ÍNDICE DE CUADROS.....                                                                                 | v             |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                                                                 | vi            |
| ÍNDICE DE ANEXOS.....                                                                                  | vii           |
| <br>DEDICATORIA.....                                                                                   | <br>viii      |
| AGRADECIMIENTOS.....                                                                                   | ix            |
| DATOS BIBLIOGRÁFICOS.....                                                                              | x             |
| RESUMEN Y ABSTRACT.....                                                                                | xi            |
| <br><b>I. Introducción general.....</b>                                                                | <br><b>1</b>  |
| <br><b>II. Objetivos e hipótesis.....</b>                                                              | <br><b>2</b>  |
| <br><b>III. Diagnóstico nutrimental del suelo en dos huertas.....</b>                                  | <br><b>3</b>  |
| RESUMEN.....                                                                                           | 3             |
| 3.1 INTRODUCCIÓN.....                                                                                  | 4             |
| 3.2 REVISIÓN DE LITERATURA.....                                                                        | 5             |
| 3.2.1 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo.....                                                  | 5             |
| 3.2.2 Intervalos de concentración nutrimental foliar.....                                              | 5             |
| 3.2.3 Deficiencias nutrimentales.....                                                                  | 8             |
| 3.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                          | 8             |
| 3.3.1 Sitio de estudio y material vegetal.....                                                         | 8             |
| 3.3.2 Propiedades fisicoquímicas del suelo.....                                                        | 9             |
| 3.2.3 Diagnostico nutrimental inicial foliar.....                                                      | 10            |
| 3.2.4 Análisis de la información.....                                                                  | 11            |
| 3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                                                        | 11            |
| 3.4.1 Evaluación de los suelos y diagnostico nutrimental foliar inicial..                              | 11            |
| 3.5 CONCLUSIONES.....                                                                                  | 17            |
| 3.6 LITERATURA CITADA.....                                                                             | 17            |
| <br><b>IV. Uso agrícola del sustrato residual poscultivo de seta (<i>Pleurotus ostreatus</i>).....</b> | <br><b>21</b> |
| RESUMEN.....                                                                                           | 21            |
| 4.1 INTRODUCCIÓN.....                                                                                  | 22            |
| 4.2 REVISIÓN DE LITERATURA.....                                                                        | 22            |
| 4.2.1 Características del sustrato residual poscultivo de setas.....                                   | 22            |
| 4.2.2 Usos biotecnológicos del sustrato residual poscultivo de la seta...                              | 22            |
| 4.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                          | 25            |
| 4.3.1 Toma de muestra.....                                                                             | 25            |
| 4.3.2 Análisis químico de los sustratos.....                                                           | 26            |
| 4.3.3 Análisis de la información.....                                                                  | 27            |
| 4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                                                        | 27            |
| 4.4.1 Características químicas de los sustratos.....                                                   | 27            |

|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.5 CONCLUSIONES.....                                                                               | 30        |
| 4.6 LITERATURA CITADA.....                                                                          | 30        |
| <b>V Acolchado orgánico con sustrato residual poscultivo de setas en huertos de aguacatero.....</b> | <b>35</b> |
| RESUMEN.....                                                                                        | 35        |
| 5.1 INTRODUCCIÓN.....                                                                               | 36        |
| 5.2 REVISIÓN DE LITERATURA.....                                                                     | 37        |
| 5.2.1 Acolchado orgánico de aguacate.....                                                           | 37        |
| 5.2.2 Efectos de los acolchados orgánicos en suelo.....                                             | 39        |
| 5.2.3 Efectos de los acolchados orgánicos en planta.....                                            | 41        |
| 5.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                                       | 41        |
| 5.3.1 Diseño experimental, variables medidas y análisis de los datos...                             | 41        |
| 5.3.2 Variables evaluadas y muestreo.....                                                           | 43        |
| 5.3.3 Variables evaluadas y muestreo.....                                                           | 44        |
| 5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                                                     | 45        |
| 5.4.1 Temperatura de suelo.....                                                                     | 45        |
| 5.4.2 Control de arvenses.....                                                                      | 49        |
| 5.4.3Condición nutrimental foliar.....                                                              | 50        |
| 5.5 CONCLUSIONES.....                                                                               | 54        |
| 5.6 LITERATURA CITADA.....                                                                          | 54        |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro                                                                         | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 Estándares nutrimentales foliares para aguacate.....                         | 6    |
| 2 Estándares nutrimentales foliares para aguacate (alto rendimiento).....      | 7    |
| 3 Contenido nutrimental foliar de tres cultivares de aguacatero.....           | 7    |
| 4 Determinaciones fisicoquímicas del suelo.....                                | 12   |
| 5 Diagnóstico nutrimental de las huertas.....                                  | 12   |
| 6 Diagnóstico nutrimental foliar inicial en huerta 1.....                      | 13   |
| 7 Diagnóstico nutrimental foliar inicial en huerta 2.....                      | 15   |
| 8 Parámetros agroquímicos de sustrato residual de <i>Pleurotus sp.</i> .....   | 23   |
| 9 Usos biotecnológicos del sustrato residual de setas.....                     | 24   |
| 10 Cultivos donde se ha utilizado el SMS-P de <i>Pleurotus ostreatus</i> ..... | 25   |
| 11 Contenido mineral de los sustratos.....                                     | 27   |
| 12 Algunas investigaciones de acolchado orgánico en aguacatero.....            | 38   |
| 13 Tratamientos de huerta 1.....                                               | 42   |
| 14 Tratamientos de Huerta 2.....                                               | 44   |
| 15 Temperatura de suelo en muestreo 1, huerta 1.....                           | 47   |
| 16 Temperatura de suelo en muestreo 2, huerta 1.....                           | 47   |
| 17 Temperatura de suelo en muestreo 1, huerta 2.....                           | 48   |
| 18 Control de arvenses en huerta 1.....                                        | 49   |
| 19 Control de arvenses en huerta 2.....                                        | 50   |
| 20 Concentración nutrimental foliar final de tratamientos en huerta 1.....     | 52   |
| 21 Nutrientes suministrados por SMS-P 1 por tratamiento en huerta 1....        | 52   |
| 22 Concentración nutrimental foliar final de tratamientos en huerta 2.....     | 53   |
| 23 Nutrientes suministrados por SMS-P 2 en huerta 2.....                       | 54   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b> |                                                                | <b>Pág.</b> |
|---------------|----------------------------------------------------------------|-------------|
| 1             | Clasificación nutrimental de la Huerta 1.....                  | 13          |
| 2             | Clasificación nutrimental de la Huerta 2.....                  | 15          |
| 3             | Concentración foliar de macronutrientes, calcio y magnesio.... | 16          |
| 4             | Concentración foliar de micronutrientes. ....                  | 16          |
| 5             | Macronutrientes, calcio, hierro y magnesio: SMS 1 y SMS 2...   | 28          |
| 6             | Micronutrientes: SMS 1 y SMS 2.....                            | 28          |

## ÍNDICE DE ANEXOS

| <b>Figura</b> |                                                                                     | <b>Pág.</b> |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1             | Huerta 1 Huaquechula estado de Puebla.....                                          | 57          |
| 2             | Huerta 2 Temascaltepec estado de México.....                                        | 58          |
| 3             | Sustrato residual poscultivo 1 (SMS-P 1).....                                       | 59          |
| 4             | Sustrato residual poscultivo 2 (SMS-P 2).....                                       | 60          |
| 5             | Acolchado de huerta 1.....                                                          | 61          |
| 6             | Acolchado de huerta 2.....                                                          | 62          |
| 7             | Medición de temperatura de suelo.....                                               | 63          |
| 8             | Control de arvenses.....                                                            | 64          |
| 9             | Temperatura ambiental, humedad ambiental y temperatura de<br>suelo en huerta 1..... | 65          |
| 10            | Temperatura ambiental y temperatura de suelo en huerta 1.....                       | 66          |
| 11            | Temperatura ambiental, humedad ambiental y temperatura de<br>suelo en huerta 2..... | 67          |
| 12            | Temperatura de suelo en huerta 2.....                                               | 68          |
| 13            | Control de arvenses en huerta 1.....                                                | 69          |
| 14            | Control de arvenses en huerta 2.....                                                | 70          |

## DEDICATORIA

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado al becario durante los estudios de Maestría.

Al señor Juan Laureano, productor de aguacate de la región de Huaquechula, estado de Puebla, y propietario de la plantación donde se realizó el establecimiento de la huerta experimental número 1.

A la fundación de investigación frutícola “Salvador Colín Gutiérrez” y su rancho “La labor”, donde se realizó el establecimiento de la huerta experimental número 2.

Al Laboratorio de la empresa de fertilizantes agrícolas “Nutre Plantas”, donde se realizaron los análisis de suelo, foliares y del sustrato residual poscultivo de setas.

A mis asesores Dr. Ranferi Maldonado Torres, Dra. María Edna Álvarez Sánchez y Dr. Miguel Uribe Gómez por su apoyo y dirección de la tesis.



## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Odón Roberto Montes Jarquín e Irene Julieta Colmenares Blanco por su apoyo incondicional y sus sabios consejos que me han ayudado a cumplir mis metas

A mis hermanos: Sheila, Omar, Clara, Osami y Guadalupe por su apoyo, comprensión y por compartir conmigo agradables momentos

A mis sobrinos Emma, Mía, Valeria, Farid, y Angel por su hacerme sentir mucha felicidad.

A mis abuelos, tíos y primos por su apoyo y comprensión en mi formación académica.

A Karen Seydel García Melo por compartir conmigo metas personales y apoyarme en todo momento.

A mis compañeros de generación 2014-2015 en la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible.

## DATOS BIBLIOGRÁFICOS

### Datos personales

Nombre: Odón Roberto Montes Colmenares

Fecha de nacimiento: 12 de Septiembre de 1988

Lugar de nacimiento: Oaxaca de Juárez

CURP: MXCO880912HOCNLD05

Profesión: Ingeniero Agrónomo

Cedula: 7599595



### Desarrollo académico

Preparatoria: Centro de Estudios de Bachillerato 5/8

Licenciatura: Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

Maestría Posgrado en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Departamento de Suelos Universidad Autónoma Chapingo

## **Acolchado orgánico con sustrato residual poscultivo de setas (*Pleurotus ostreatus*) en huertos de aguacatero**

Organic mulch with spent mushroom substrate (*Pleurotus ostreatus*) in avocado orchards

Odón Roberto Montes Colmenares, Tesis de Maestría en Ciencias  
Universidad Autónoma Chapingo  
Dirección de tesis: Dr. Ranferi Maldonado Torres

### **RESUMEN GENERAL**

El acolchado orgánico con sustrato residual poscultivo (SMS-P) de setas (*Pleurotus ostreatus*) puede ser una herramienta de gestión de los residuos del cultivo en callejones de aguacate, maíz y hongo seta para el reciclaje de nutrientes en los cultivos. En este estudio se evaluaron los efectos de diferentes niveles de acolchado orgánico con SMS-P sobre la temperatura de suelo, inhibición de arvenses y la concentración nutrimental foliar del aguacatero. El experimento se desarrolló en dos huertas de aguacate (*Persea americana*). En la huerta 1 se aplicaron cuatro niveles de SMS-P fresco: T2=40, 80=T3, T4= 250 y T5=375 kg<sup>-1</sup>, además se estableció el control (T1) sin acolchado y se administraron fertilizantes de síntesis química. En la huerta 2 se aplicaron tres niveles de SMS-P: T2=150, T3=200, T4=250 kg<sup>-1</sup>, además se estableció el control (T1) sin acolchado, donde no se administró ningún tipo de fertilizante. En los dos huertos se encontraron diferencias significativas en la temperatura del suelo ( $p \leq 0.05$ ), inhibición de malezas ( $p \leq 0.05$ ), además se obtuvieron incrementos en la concentración foliar (aguacatero) de nitrógeno, potasio y magnesio, y reducciones de fósforo.

**Palabras clave:** temperatura de suelo, arvenses, condición nutrimental foliar

### **ABSTRACT**

Organic mulch with spent mushroom substrate of *Pleurotus ostreatus* (SMS-P) can be a crop residue management tool in avocado, corn and mushroom fungus alley-cropping for nutrient recycling in the crops. In this study the effects of different levels of mulch with SMS-P on soil temperature, weed inhibit and leaf nutrient concentration in avocado were evaluated. The experiment was conducted in two avocado (*Persea americana*) orchards. In orchard 1 four levels of fresh SMS-P were applied: T2=40, T3=80, T4=250 and T5=375 kg<sup>-1</sup>. In addition, the control (T1) was established without mulch and synthetic chemical fertilizers were administered. In orchard 2 three levels of fresh SMS-P were applied: T2=150, T3=200, T4=250 kg<sup>-1</sup> and the control (T1) was established without mulch and with no fertilizer of any kind applied. In both orchards significant difference in soil temperature ( $p \leq 0.05$ ) and weed inhibition ( $p = 0.05$ ) were found. Also increases were obtained in the foliar concentration (avocado) of nitrogen, potassium and magnesium, and phosphorus reductions.

**Keywords:** soil temperature, weeds, foliar nutrient condition

## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La excesiva aplicación de agroquímicos en el manejo del cultivo de aguacate, ha provocado el deterioro de algunos suelos y la degradación ambiental de estos sistemas de producción, además de reducir la rentabilidad del cultivo de aguacate en las regiones productoras de México (Montiel *et al.*, 2008). Una alternativa de producción es la utilización de tecnologías agroforestales al asociar el aguacate-maíz en callejones, con el uso del sustrato del poscultivo de setas, lo que permitirá al productor obtener beneficios económicos, ecológicos y alimenticios. El aguacate es un cultivo nativo de selvas y está adaptado para crecer sobre suelos con un alto contenido de materia orgánica, con buen drenaje, buena aireación y pH ligeramente ácidos. El acolchado orgánico puede simular este efecto, aumentando la materia orgánica, la cual puede ser suministrada mediante la aplicación de estiércol, paja, aserrín, biosólidos, residuos de cultivos, virutas de madera y follaje de plantas.

Su uso promueve ventajas ambientales y agronómicas al aguacatero entre las que destacan el control el desarrollo de arvenses, amortigua las fluctuaciones de las temperaturas del suelo (diurnas y estacionales), protege el suelo contra la erosión y aumenta la eficiencia del uso del agua mediante la reducción de la evaporación. A largo plazo se han observado efectos sobre la distribución de la materia orgánica y la concentración del nitrógeno en el suelo. En especial el sustrato orgánico derivado del poscultivo de las setas, se ha observado que promueve diversos mecanismos de supresión de enfermedades de las raíces de las plantas y en especial en árboles de aguacate. Dentro de los efectos importantes promovidos en las raíces por el acolchado, se ha identificado la modificación de la arquitectura de las raíces del aguacatero, manifestándose un aumento de longitud de raíz y una mejor distribución espacial.

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de diferentes niveles de acolchado orgánico con sustrato residual poscultivo de setas (SMS-P) sobre la incidencia de arvenses, temperatura de suelo y condición nutrimental foliar del aguacatero.

## **II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

A continuación se presentan los objetivos e hipótesis de los estudios que comprenden esta investigación.

### **Objetivos**

- Incrementar la fertilidad del suelo mediante la aplicación del acolchado orgánico de sustrato residual de poscultivo de setas para mejorar el crecimiento y desarrollo de los árboles de aguacate.

### **Hipótesis**

La concentración nutrimental foliar del aguacatero es el resultado de la interacción de las características fisicoquímicas del suelo, el ambiente y el manejo agronómico del agricultor.

- Determinar las características químicas del sustrato residual poscultivo de seta de dos empresas cultivadoras mediante análisis químicos para comparar con algunas referencias en la literatura.

### **Hipótesis**

La composición química del sustrato residual poscultivo denota características óptimas para ser utilizado en la agricultura.

- Evaluar el acolchado orgánico mediante la aplicación de diferentes niveles de sustrato residual de setas en dos huertas de aguacate para determinar sus efectos en la temperatura de suelo, control de arvenses y la fertilidad del suelo.

### **Hipótesis**

El acolchado orgánico con sustrato residual poscultivo de setas mejora las condiciones del cultivo de aguacate al evitar fluctuaciones de la temperatura del suelo, controla las arvenses y mejora la condición nutrimental foliar.

### III. DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN DOS HUERTAS DE AGUACATE

#### FERTILITY SOIL DIAGNOSIS OF TWO AVOCADO ORCHARDS

Odón Roberto Montes Colmenares, Tesis de Maestría en Ciencias

Universidad Autónoma Chapingo

Dirección de tesis: Dr. Ranferi Maldonado Torres

#### RESUMEN GENERAL

México es el productor y exportador número uno de aguacate (*Persea americana*) en el mundo, su producción se concentra en los estados de Michoacán, Estado de México, Nayarit, Guadalajara y Puebla. Estas áreas productivas presentan diferentes tipos de climas y suelos, esta condición promueve una gran diversidad de problemas referentes a la nutrición del cultivo. En la actualidad el análisis físico-químico del suelo y el análisis nutrimental foliar son dos excelentes herramientas que permiten diagnosticar, comparar y mejorar la productividad de las huertas. En consecuencia diversos investigadores han establecido los requerimientos óptimos de suelo para el desarrollo del cultivo, simultáneamente se han establecido diversos estándares de concentración nutrimental foliar derivadas de análisis de huertas de alto rendimiento, este conocimiento puede contribuir a mejorar el manejo nutrimental de las plantaciones de aguacate de las diferentes zonas productoras de país. En el presente estudio se diagnosticó la condición productiva de dos huertas, una ubicada en Huaquechula, estado de Puebla y la segunda en Temascaltepec, estado de México.

**Palabras clave:** suelo, análisis foliar, estándares nutrimentales.

#### SUMMARY

Mexico is the number one producer and exporter of avocado (*Persea americana*) in the world, its production is concentrated in the states of Michoacán, Mexico State, Nayarit, Guadalajara and Puebla. These productive areas have different types of climates and soils, this condition promotes a wide range of issues relating to crop nutrition. At present the physical-chemical soil analysis and foliar nutritional analysis are two excellent tools to diagnose, compare and improve the productivity of the orchards. Therefore many researchers have established the optimal requirements of land for crop development simultaneously have established various standards foliar nutrient concentration orchards derived from analysis of high performance, this knowledge can help improve the nutritional management of avocado plantations the different producing areas country. In this study the production condition of two orchards located in different avocado producing municipalities diagnosis, the first located in Huaquechula, state of Puebla and the second in Temascaltepec, state of Mexico.

**Keywords:** soil, foliar analysis, nutritional standards.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Para lograr una alta productividad en el cultivo del aguacate se requiere de la aplicación de fuentes externas de nutrimentos, por lo que la nutrición es uno de los temas que más les interesa a los asesores agrícolas y productores. Sin embargo la información existente es imprecisa y demanda más estudios para determinar de manera correcta la respuesta del árbol a la fertilización (Maldonado, 2002). Un inadecuado diagnóstico nutrimental del aguacatero promueve aplicaciones erráticas e indiscriminadas de fertilizantes de síntesis química, lo que puede reducirla rentabilidad del cultivo además de contribuir a la contaminación medioambiental. La aplicación de fertilizantes se debe de realizar considerando las necesidades de la planta, las características físico-químicas del suelo, las condiciones de cultivo y el comportamiento fenológico del árbol (Salazar y Lazcano, 1999).

El aguacatero muestra diversas fases del desarrollo o fases fenológicas conforme pasan las estaciones del año, por ejemplo: iniciación y diferenciación floral, flujos de crecimiento vegetativo, amarre y caída de fruto, crecimiento y maduración del fruto, crecimiento de raíces, abscisión de hojas, etc. (Whiley y Wolstenholme, 1990). Una vez que son registradas y relacionadas la frecuencia y duración de las fases fenológicas con la información meteorológica, se puede predecir la ocurrencia de cambios importantes en el desarrollo del árbol (Salazar y Lazcano, 1999).

El objetivo de este estudio fue determinar el estado nutrimental de los suelos y de los arboles que desarrollan en dos huertas de aguacatero, mediante el análisis de suelos y foliares, para determinar el grado de fertilidad y balance nutrimental de la planta. Para ello se realizó un análisis físico-químico del suelo según la norma oficial mexicana (NOM-021) y un diagnóstico nutrimental foliar según la metodología de Maldonado *et al.*, (2007). Se identificaron los nutrimentos en niveles restrictivos, normales y en exceso en suelo y planta. Estos valores sirvieron para comparar el efecto del acolchado orgánico con sustrato residual de setas (*Pleurotus ostreatus*) al final del estudio.

## 3.2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 3.2.1 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo

El sistema radical del aguacate es típicamente superficial, particularmente en suelos de textura ligera (Salazar y Cortés, 1986). Hasta ahora, el bajo rendimiento y escasa calidad del fruto de aguacate, se le relaciona a un suelo con pH ácido (5.4 a 6.4), alta concentración de materia orgánica (> 6 %) no descompuesta y un alto nivel de aluminio activo que disminuye la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, zinc y boro, promoviendo signos visibles de deficiencia en los árboles (Aguilera y Salazar, 1988).

El aguacate es extremadamente sensible al exceso de cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) de manera que concentraciones  $\leq 0.25\%$  pueden causar quemaduras de los ápices y márgenes de las hojas (Embleton y Jones, 1966; Solares *et al.*, 1984; Salazar *et al.*, 1987). La fertilización de sitio específico permite maximizar la producción, tamaño y calidad del fruto ya que considera el estatus nutrimental del suelo y del árbol, así como una meta de rendimiento (Salazar, 2009). Son deseables niveles bajos de Na para el aguacate, debido su gran susceptibilidad a este elemento (Ayerset *al.*, 1951).

Climáticamente el cultivar *Hass* tiene requerimientos de temperatura media anual 15 a 22 °C, una precipitación de 800 a 1600 mm, una altitud 1400 a 2200 m, pendiente del suelo 0 a 25%, textura media y suelos con profundidad mayor de un metro (Alcántar *et al.*, 1999). Por ello es importante conocer la relación entre el clima y los procesos biológicos del árbol, lo que permite comprender los aspectos fenológicos del cultivo (Whiley *et al.*, 1988; Cosio *et al.*, 2008).

### 3.2.2 Intervalos de concentración nutrimental foliar

Se han desarrollado diversos enfoques para interpretar los resultados del análisis foliar. Con este fin se han generado valores críticos o estándares, ya sea mediante modelos matemáticos o de manera cualitativa por observación de las respuestas a los fertilizantes. Durante los 60's y 70's, se generaron guías para determinar el estado nutrimental de algunos cultivos, incluyendo al aguacate, tales como: Niveles críticos e Intervalos de suficiencia (Embleton y Jones, 1966), Índices de



Balance (Kenworthy, 1961, 1973) y el sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) propuesto por Sumner (1985). En el mundo se han desarrollado diversos estándares nutrimentales para el cultivo de aguacate, en California, Estados Unidos (Embleton y Jones 1972) y (Goodall *et al.*, 1979) en Martinica, Francia (Bertin *et al.*, 1976), en Michoacán, México (Maldonado *et al.*, 2007) (Cuadro 1).

Se considera que la técnica de Índices de Balance es apropiada para árboles frutales ya que además de considerar en su cálculo un valor estándar (óptimo) del contenido de cualquier nutrimento, incluye la variación fisiológica natural existente en una población de árboles con altos rendimientos y no requiere de una gran base de datos, como es el caso del DRIS (Salazar y Lazcano, 1999).

**Cuadro 1.** Estándares nutrimentales foliares para aguacate

| Nutrimento                       | (Maldonado <i>et al.</i> , 2007) | (Goodall <i>et al.</i> , 1979) | (Bertin <i>et al.</i> , 1976) | (Jones y Embleton, 1972) |
|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Nitrógeno (%)                    | 1.94-2.31                        | 1.60-2.00                      | 1.80-2.20                     | 1.60-2.00                |
| Fósforo (%)                      | 0.15-0.18                        | 0.1-0.25                       | 0.10-0.30                     | 0.08-0.25                |
| Potasio (%)                      | 0.81-1.09                        | 0.75-2.0                       | 0.50-2.40                     | 0.75-2.00                |
| Calcio (%)                       | 1.28-2.59                        | 1.0-3.00                       | 1.00-3.00                     | 1.00-3.00                |
| Magnesio (%)                     | 0.62-0.77                        | 0.25-0.80                      | 0.30-0.50                     | 0.25-0.80                |
| Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )    | 85-114                           | 50-200                         |                               | 50-200                   |
| Manganeso (mg kg <sup>-1</sup> ) | 87-182                           | 30-500                         |                               | 30-500                   |
| Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )      | 20-51                            | 30-150                         |                               | 30-150                   |
| Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )     | 7-32                             | 5-15                           |                               | 5-15                     |
| Boro (mg kg <sup>-1</sup> )      | 126-352                          | 50-100                         |                               | 50-100                   |

Fuente: Maldonado *et al.*, 2007

Los Índices de Balance han sido utilizados exitosamente en México para diagnosticar el estado nutrimental del aguacate '*Hass*' y '*Fuerte*' en Michoacán (Maldonado *et al.*, 2007), Nayarit (Salazar y Lazcano, 1999), estado de México (Figuerola *et al.*, 2001) y (Méndez *et al.*, 2008), el estado de Puebla (Núñez *et al.*, 1987). En Michoacán, Maldonado *et al.*, (2007) estudio huertos de aguacatero cultivar *Hass* de alto rendimiento (20 t ha<sup>-1</sup>), y con ellos se establecieron intervalos de concentración estimados a partir de datos de análisis nutrimentales foliares, los

cuales se muestran en el Cuadro 2. En el estudio se observó que en los niveles óptimos de concentración nutrimental foliar, en orden de mayor a menor concentración fueron: Ca>N>K>Mg>P>B>Mn>Fe>Zn>Cu. En huertos de aguacatero de Nayarit, México, Salazar y Lazcano (1999) concluyen que la condición más frecuente fueron los niveles “abajo de lo normal” de K y S. El N se ubicó cerca del límite inferior de lo “normal”. El P, Ca, Fe, Mn y Zn fueron ubicados como “normales”. El B resultó “abajo de lo normal”, mientras que el Cu se encontró en niveles excesivos. Por su parte el Na se encontró en niveles aceptables para el aguacate. En un estudio realizado por Figueroa *et al.*, (2001) se establecieron las concentraciones foliares para tres cultivares de aguacate en el estado de México las cuales se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 2.** Estándares nutrimentales foliares para aguacate (alto rendimiento)

| Nutrimento                       | Deficiente | Bajo      | Óptimo    | Alto      | Excesivo |
|----------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Nitrógeno (%)                    | < 1.72     | 1.73-1.93 | 1.94-2.31 | 2.32-2.50 | > 2.51   |
| Fósforo (%)                      | < 0.10     | 0.11-0.14 | 0.15-0.18 | 0.19-0.21 | > 0.22   |
| Potasio (%)                      | < 0.64     | 0.65-0.80 | 0.81-1.09 | 1.10-1.22 | > 1.23   |
| Calcio (%)                       | < 0.59     | 0.60-1.27 | 1.28-2.59 | 2.60-3.25 | > 3.26   |
| Magnesio (%)                     | < 0.51     | 0.52-0.61 | 0.62-0.77 | 0.78-0.85 | > 0.86   |
| Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )    | < 67       | 68-84     | 85-114    | 115-129   | > 130    |
| Manganeso (mg kg <sup>-1</sup> ) | < 37       | 38-86     | 87-182    | 183-230   | > 231    |
| Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )      | < 4        | 5-19      | 20-51     | 52-66     | > 67     |
| Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )     | < 2        | 2-        | 7-32      | 33-45     | > 46     |
| Boro (mg kg <sup>-1</sup> )      | < 12       | 13-125    | 126-352   | 353-465   | > 466    |

Fuente: Maldonado *et al.*, 2007.

**Cuadro 3.** Contenido nutrimental foliar de tres cultivares de aguacatero

| Nutrimento                  | Colín V-33 | Fuerte | Hass  |
|-----------------------------|------------|--------|-------|
| Nitrógeno (%)               | 1.45       | 1.70   | 2.10  |
| Fósforo (%)                 | 0.12       | 0.19   | 0.14  |
| Potasio (%)                 | 1.26       | 0.98   | 1.12  |
| Calcio (%)                  | 1.61       | 1.88   | 1.68  |
| Magnesio (%)                | 0.49       | 0.46   | 0.43  |
| Zinc (mg kg <sup>-1</sup> ) | 39.41      | 44.07  | 51.42 |
| Boro (mg kg <sup>-1</sup> ) | 34.41      | 50.25  | 35.04 |

Fuente: Figueroa *et al.*, 2001.

### 3.2.3 Deficiencias nutrimentales

Hernández (2009) menciona que las hojas con "moteados" internervales tuvieron menor concentración de N, P, K, y Mn, respecto a las que no presentaron el síntoma, mientras que las concentraciones de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y B hojas con y sin moteado fueron similares, por lo que deben de considerar las medidas correctivas pertinentes. Para corregir la deficiencia de calcio (Solís *et al.*, 1998) recomiendan realizar aspersiones foliares sobre árboles de aguacatero (*Persea americana* Mill.) cv. *Hass* con diferentes concentraciones de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  al 1%. Mientras que Salazar *et al.*, (2008) recomiendan no realizar aspersiones foliares con  $\text{ZnSO}_4$ , ya que estas no fueron efectivas para corregir la deficiencia foliar de Zn y tampoco incrementaron la producción de fruto, ni el tamaño del mismo.

## 3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en tres fases: (1) obtención de muestras de suelo y foliares en huertos de las áreas de estudio, (2) análisis químico de las muestras colectadas y (3) análisis e interpretación de los resultados.

### 3.3.1 Sitio de estudio y material vegetal

#### a) Huerta 1

Se encuentra en el municipio de Huaquechula, Puebla, posicionada en las coordenadas 18°39' y 18° 52' de latitud norte; los meridianos 98° 22' y 98° 41' de longitud oeste, a una altitud de 1520 m con un clima ( $\text{ACw}^1$  y  $\text{ACW}^0$ ) semicálido subúmido con lluvias en verano, precipitación promedio de 880 mm anuales, temperatura media anual de 21.6 °C (INEGI, 2009<sup>a</sup>) y un suelo tipo leptosol (Anexo 1). Se utilizaron árboles de aguacate (*Persea americana*) cv. *Hass* y *Fuerte*, injertados en raza mexicana, de 6 años de edad, sembrados a 10 m entre hileras y 6 m entre árboles (167 árboles por ha).

#### b) Huerta 2

Se encuentra en el rancho experimental “La labor” en Temascaltepec, Estado de México, propiedad de la “Fundación Salvador Colín Gutiérrez”, una altitud de 1800 m, ubicada en las coordenadas 18°59' y 19°14' de latitud norte; los meridianos 99°49' y 100°14' de longitud oeste. Tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, una precipitación anual de 700 – 900 mm, temperaturas promedio de 14 °C (INEGI, 2009<sup>b</sup>), el suelo tipo andosol (Anexo 2). Se utilizaron árboles de aguacate (*P. americana*) cv. *Hass*, injertados en raza mexicana, de 16 años de edad, plantados a 10 m entre hileras y 5 m entre árboles en marco real (200 árboles por ha).

### 3.2.2 Propiedades fisicoquímicas del suelo

#### a) Huerta 1

Para obtener las características químicas del suelo la muestra compuesta se colectó el día 6 de Septiembre del 2014. La superficie de la huerta se dividió en áreas homogéneas y se seleccionaron 25 árboles al azar, de los cuales, del área de goteo se tomó la muestra de suelo a una profundidad de 0-30 cm. Las muestras se secaron, se molieron y se les determinó pH, materia orgánica, N inorgánico, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu mediante los métodos descritos por Etcheverts (1998). Los resultados obtenidos se clasificaron por valores de referencia, establecidos mediante varios investigadores. A la misma muestra compuesta de suelo se les determinó las propiedades físicas: textura (Boyucos), densidad aparente (terron parafinado) y densidad real (picnómetro).

#### b) Huerta 2

Se siguieron procedimientos empleados en la huerta anterior y sus resultados se muestran en el Cuadro 5. En el Anexo 2 se muestran imágenes del proceso de la toma de muestra de suelo. Los resultados mostraron una similitud de las propiedades físicas y diferencias entre las características químicas de los suelos.

Las regiones en donde se encuentran las huertas son regiones aguacateras reconocidas en el país, por sus producciones de buena calidad.

### **3.2.3 Diagnóstico nutrimental foliar**

#### **a) Huerta 1**

La muestra foliar se colectó el día 6 de Septiembre del 2014 siguiendo la metodología de (Maldonado *et al.*, 2002). Se tomó la quinta o sexta hoja (lámina foliar y pecíolo, contando desde el ápice de la rama) completamente desarrolladas, maduras pero no senescentes, de brotes terminales sin fructificar, sanas (sin daños físicos, químicos ni afectadas por plagas o enfermedades), y orientadas en los cuatro puntos cardinales. Se colocaron en bolsas de papel perforadas y se introdujeron en hielera portátil para su conservación, previo a su preparación y análisis. En el laboratorio, las muestras se lavaron con agua destilada, se secaron a 70 °C durante 48 horas en estufa con circulación de aire forzado y posteriormente se molieron en molino de acero inoxidable hasta pasar por malla 20 (Etchevers, 1988; Maldonado, 2007). La digestión del material se realizó mediante una mezcla diácida ( $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4 = 4:2$  ml). La concentración de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B se determinó por espectrofotometría de absorción atómica modelo Avanta de GBC en el digerido. El N se digirió con mezcla ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$ ) y se evaluó mediante destilación por arrastre de vapor adaptado para análisis de plantas y modificado con ácido salicílico para incluir nitratos (Bremner y Mulvaney, 1982) (Maldonado *et al.*, 2007).

#### **b) Huerta 2**

La muestra foliar se colectó el día 16 de Octubre utilizando la metodología de (Maldonado, 2002). Se siguieron procedimientos empleados en la huerta anterior y descrita en párrafos anteriores. En las dos huertas se entrevistó al encargado de la producción para que expusiera el manejo previo de la plantación, problemas y prácticas culturales que realiza.

### 3.2.4 Análisis de la información

Los resultados obtenidos en los análisis de suelo y foliares se compararon con los datos de referencia de Maldonado *et al.*, (2007), específicos para huertas de aguacate de alto rendimiento (20 t ha<sup>-1</sup>). No se estableció ningún diseño experimental para el diagnóstico de las huertas.

## 3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.4.1 Evaluación de los suelos y diagnóstico nutrimental foliar

#### a) Huerta 1

En la Figura 1 se muestra la gráfica de la clasificación nutrimental de suelo Maldonado *et al.*, (2007), donde esta huerta mostró excesos de magnesio, zinc y cobre, mientras que el fósforo, calcio, manganeso y boro se encontraron con un contenido alto, mientras que el hierro se encontró a en niveles medios y en niveles deficientes el nitrógeno y potasio (Castellanos *et al.*, 2000 y Maldonado *et al.*, 2007). El orden de mayor a menor concentración fue el siguiente: Fe>Mn>B>K>Ca>Cu>P>Mg>N>Zn (Cuadro 4, 5 y 6). En cuanto a la clasificación nutrimental foliar se identificaron concentraciones excesivas de zinc, arriba de lo normal de nitrógeno, normales en fósforo y magnesio, niveles debajo de lo normal en potasio, calcio y cobre, además de niveles deficientes de hierro, manganeso y boro en el suelo, respecto a los altos niveles de este nutriente en el follaje, se deriva de la aplicación de fertilizantes foliares nitrogenados (12 kg por hectárea) que suministra el agricultor cada tres meses.

La concentración foliar de fósforo se encontró en concentración normal correlacionado con la alta concentración en suelo. La deficiente concentración en suelo de potasio promueve concentraciones foliares debajo de lo normal. La alta concentración de calcio en suelo no se refleja en la concentración foliar la cual muestra niveles debajo de lo normal. Para calcular la extracción de nutrimentos que deben de aplicarse a los huertos, es necesario conocer la cantidad removida de estos por los frutos la cual depende del cultivar y el rendimiento del cultivo, aunque es frecuente encontrar diferencias dentro de un mismo cultivar (Salazar,

2002). En Cuadro 5 se muestran la concentración nutrimental foliar de las dos huerta empleadas en este estudio.

**Cuadro 4.** Determinaciones fisicoquímicas del suelo

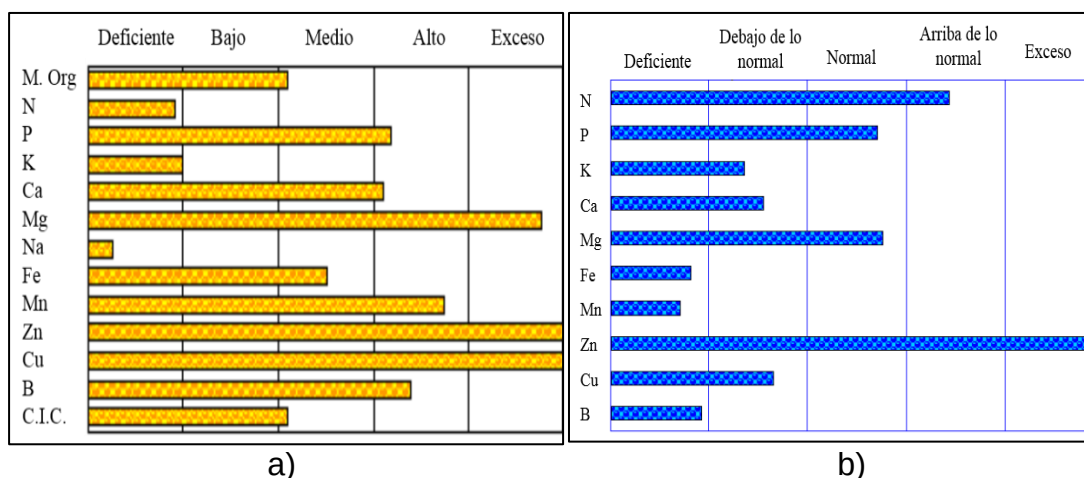
| Parámetro <sup>a</sup>       | Huerta 1 | Huerta 2         |
|------------------------------|----------|------------------|
| Da                           | 1.26     | 1.56             |
| Ds                           | 2.47     | 2.48             |
| Textura                      | franco   | franco-arcillosa |
| pH                           | 7.40     | 7.51             |
| M O (%)                      | 2.08     | 3.36             |
| N (mg/kg <sup>-1</sup> )     | 7.00     | 14.00            |
| P (mg/kg <sup>-1</sup> )     | 21.18    | 318.40           |
| K (mg/kg <sup>-1</sup> )     | 24.92    | 4,264.00         |
| Ca (mg/kg <sup>-1</sup> )    | 1,753.00 | 9,599.50         |
| Mg (mg/kg <sup>-1</sup> )    | 589.00   | 1,031.20         |
| Na (mg/kg <sup>-1</sup> )    | 6.36     | 1453.10          |
| Fe (mg/kg <sup>-1</sup> )    | 24.42    | 12.14            |
| Mn (mg/kg <sup>-1</sup> )    | 48.66    | 7.19             |
| Zn (mg/kg <sup>-1</sup> )    | 27.68    | 21.26            |
| Cu (mg/kg <sup>-1</sup> )    | 32.24    | 1.03             |
| B (mg/kg <sup>-1</sup> )     | 1.69     | 3.85             |
| CIC (me/100g <sup>-1</sup> ) | 14.50    | 22.25            |
| Intercambiables              |          |                  |
| Calcio (%)                   | 60.45    | 215.72           |
| Magnesio (%)                 | 33.43    | 38.14            |
| Potasio (%)                  | 0.44     | 49.14            |
| Sodio (%)                    | 0.19     | 28.39            |
| Ca/Mg (me/100g)              | 1.81     | 6.66             |
| Ca/K (me/100g)               | 137.19   | 4.39             |
| Mg/K (me/100g)               | 75.878   | 0.776            |
| Ca+Mg/K (me/100g)            | 213.069  | 5.166            |

<sup>a</sup> Determinados según (NOM-021-SEMARNAT-2000) y (Maldonado *et al.*, 2007).

**Cuadro 5.** Diagnóstico nutrimental foliar de las huertas.

| Parámetro <sup>a</sup>    | Huerto1 | Huerto 2 |
|---------------------------|---------|----------|
| N (%)                     | 2.90    | 2.59     |
| P (%)                     | 0.16    | 0.10     |
| K (%)                     | 0.46    | 0.99     |
| Ca (%)                    | 1.16    | 0.02     |
| Mg (%)                    | 0.62    | 0.25     |
| Fe (mg/kg <sup>-1</sup> ) | 14.00   | 231.90   |
| Mn (mg/kg <sup>-1</sup> ) | 15.40   | 73.80    |
| Zn (mg/kg <sup>-1</sup> ) | 114.60  | 238.00   |
| Cu (mg/kg <sup>-1</sup> ) | 28.10   | 7.20     |
| B (mg/kg <sup>-1</sup> )  | 0.81    | 4.29     |

<sup>a</sup> Determinados según Maldonado *et al.*, 2007.



**Figura 1.** Clasificación nutrimental de la huerta 1 a) suelo y b) foliar. (Valores de referencia Castellanos *et al.*, 2000 y Maldonado *et al.*, 2007).

**Cuadro 6.** Diagnóstico nutrimental foliar inicial en huerta 1

|                                                                                                            | Composición nutrimental de la hoja |       |      |      |        |                                |      |                     |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------|------|------|--------|--------------------------------|------|---------------------|------|------|
|                                                                                                            | N                                  | P     | K    | Ca   | Mg     | Fe                             | Cu   | Mn                  | Zn   | B    |
|                                                                                                            | -----%                             |       |      |      |        | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |      |                     |      |      |
| CN                                                                                                         | 2.9                                | 0.16  | 0.46 | 1.16 | 0.6    | 14                             | 15.4 | 114.6               | 28.1 | 0.81 |
| IBK                                                                                                        | 130.3                              | 106.1 | 61.8 | 68.1 | 108    | 44                             | 40   | 230.4               | 71.3 | 47.3 |
| ORN                                                                                                        | Fe>Mn>B>K>Ca>Cu>                   |       |      |      |        | P>Mg>                          |      |                     | N>Zn |      |
|                                                                                                            | Debajo del normal                  |       |      |      | Normal |                                |      | Arriba de lo normal |      |      |
| CN= Concentración nutrimental, IBL= Índice de balance Kenworthy y ORN= Orden de requerimiento nutrimental. |                                    |       |      |      |        |                                |      |                     |      |      |

El exceso de magnesio en el suelo promovió concentraciones foliares normales, el hierro se mostró en un nivel medio en suelo pero deficientes concentraciones foliares, la alta concentración de manganeso en suelo no se reflejó en concentraciones foliares normales. El exceso de zinc en suelo se asoció con un exceso de este nutrimento en la zona foliar, mientras que el cobre se encontró en exceso en el suelo pero no en las concentraciones foliares las cuales fueron normales. Por su parte, el boro se encontró en niveles altos en el suelo pero deficiente en la planta. El contenido medio de materia orgánica fue medio (Figura 1).

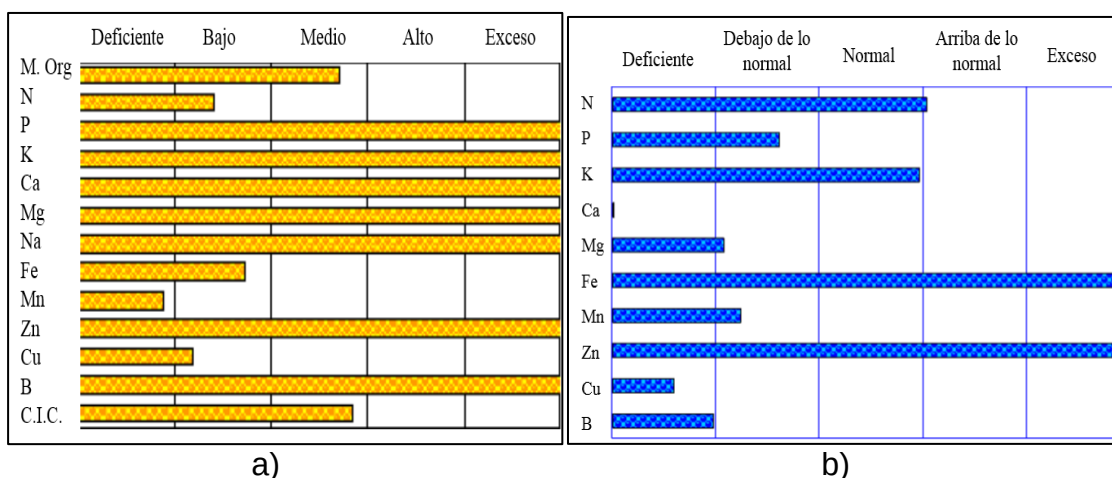


## b) Huerta 2

Según la clasificación nutrimental de suelo (Maldonado *et al.*, 2007), esta huerta se encontró con excesos de fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, zinc y boro, niveles bajos de nitrógeno, hierro y cobre, mientras que el manganeso se encuentra en niveles deficiente (Cuadro 7) (valores de referencia Castellanos *et al.*, 2000 y Maldonado *et al.*, 2007). En cuanto a la clasificación nutrimental foliar se identificaron concentraciones excesivas excesivos de hierro y zinc, nitrógeno arriba de lo normal, niveles normales de potasio, niveles debajo de lo normal fósforo magnesio y manganeso además de deficiencia de calcio, cobre y boro (Figura 2). El nitrógeno se encontró en bajas concentraciones en el suelo, sin embargo se pudo observar altas concentraciones de este nutriente en el follaje (Figura 2).

La concentración foliar de fósforo se encontró debajo de lo normal, contrario a la alta concentración de este nutriente en suelo. El exceso de potasio en suelo se correlaciona positivamente con la concentración foliar. La alta concentración de calcio en suelo no se reflejó en la planta, la cual mostró niveles deficientes. El magnesio se encontró en exceso mientras que en el follaje se determinó una concentración debajo de lo normal, el hierro se muestra en un nivel bajo en suelo, sin embargo se identificó excesos en la concentración foliar.

El manganeso se encontró deficiente en suelo con niveles debajo de lo normal en la planta; en tanto que el exceso de zinc en suelo promovió exceso de este nutrimento en el follaje; el nivel bajo de cobre en el suelo promovió concentraciones deficientes en el follaje; el boro se encontró en niveles altos en el suelo pero su concentración foliar fue deficiente. Se identificó un contenido medio de materia orgánica en esta huerta (Figura 2). Se observó que en los niveles óptimos de concentración nutrimental foliar, el orden de mayor a menor concentración fue el siguiente: Fe>Mn>B>K>Ca>Cu>P>Mg>N>Zn (Cuadro 7).



**Figura 2.** Clasificación nutrimental de huerta 2 a) del suelo y b) foliar (Valores de referencia Castellanos *et al.*, 2000 y Maldonado *et al.*, 2007).

**Cuadro 7.** Diagnóstico nutrimental foliar inicial en huerta 2

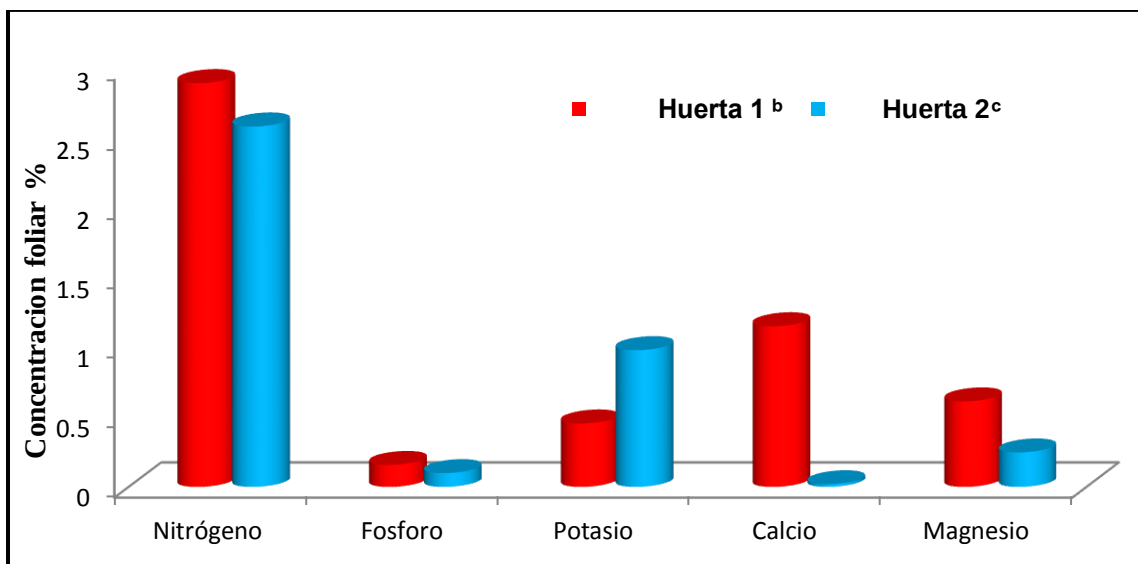
|     | Composición nutrimental de la hoja |     |       |               |                                |       |    |        |                     |      |
|-----|------------------------------------|-----|-------|---------------|--------------------------------|-------|----|--------|---------------------|------|
|     | N                                  | P   | K     | Ca            | Mg                             | Fe    | Cu | Mn     | Zn                  | B    |
|     | -----%                             |     |       |               | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |       |    |        |                     |      |
| CN  | 2.59                               | 0.1 | 0.99  | 0.02          | 0.25                           | 231.9 | 74 | 238    | 7.2                 | 4.29 |
| IBK | 117.4                              | 70  | 114.8 | 17.2          | 52.5                           | 196   | 58 | 448.5  | 36.5                | 49.2 |
| ORN | Ca>Cu>B>                           |     |       | >Mg>Mn>P>K>N> |                                |       |    | >Fe>Zn |                     |      |
|     | Debajo del normal                  |     |       |               | Normal                         |       |    |        | Arriba de lo normal |      |

CN= Concentración nutrimental, IBL= Índice de balance Kenworthy y ORN= Orden de requerimiento nutrimental

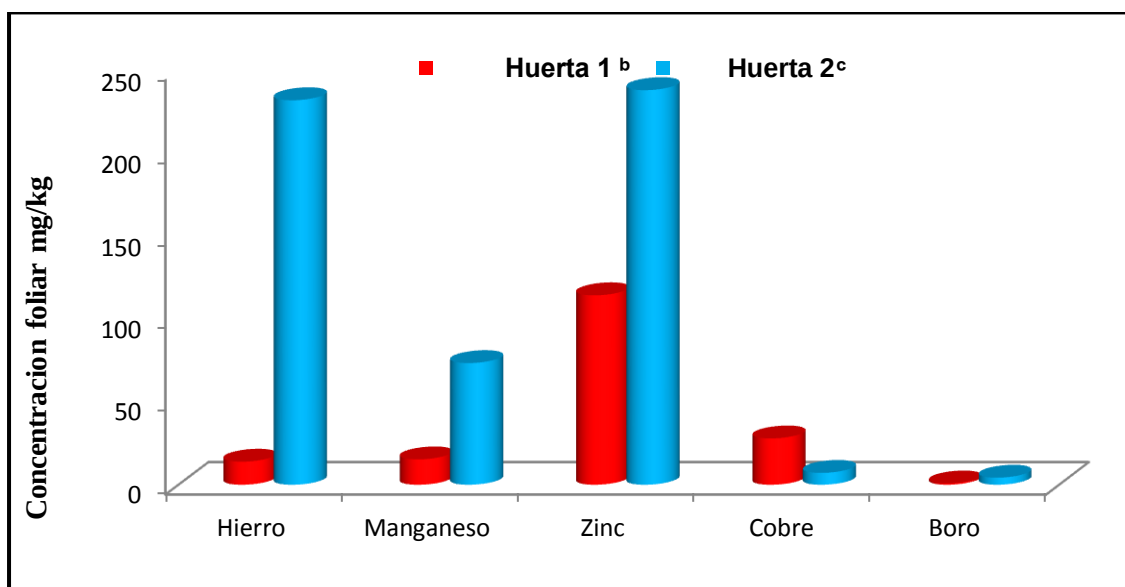
### c) Comparación nutrimental entre huertas

Las condiciones nutrimentales foliares de las dos huertas muestran que en cuanto a la concentración de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, cobre son mayores en la huerta 1, mientras que la concentración de potasio, hierro, manganeso, zinc y boro fue superior la huerta 2 (Figura 3 y 4). Entre los factores que afectan la producción del árbol (cultivar, temperatura, humedad, luminosidad, tipo de suelo, fertilización y manejo del cultivo), la nutrición es uno de los aspectos principales que se requiere atender para obtener cosechas abundantes y con frutos de calidad de exportación (Salazar, 2002). En México frecuentemente se aplican menos nutrientes de los necesarios para alcanzar la máxima producción de los huertos, propiciando desbalances nutrimentales que además de limitar la

productividad, contaminan los mantos acuíferos, especialmente con nutrientes fácilmente lixiviables como el nitrógeno (Salazar *et al.*, 2009).



**Figura 3.** Concentración foliar de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.



**Figura 4.** Concentración foliar de micronutrientos.

En México, las recomendaciones de fertilización empleadas en las distintas regiones productoras de aguacate son muy generales y tienden a ser usadas en grandes superficies productoras sin considerar las variaciones en la fertilidad de

los suelos ni la condición nutrimental de los árboles (Salazar *et al.*, 2009). Las deficiencias de micronutrientes son comunes en la mayoría de las zonas aguacateras del mundo (Lahav, 1998), incluyendo Michoacán (Aguilera y Salazar, 1998). Para evaluar el estado nutrimental regional de los árboles de aguacate y con el fin de mejorar la nutrición, el rendimiento y calidad del fruto (Maldonado *et al.*, 2007) recomiendan determinar la fertilidad de los suelos, estimar los niveles de extracción por la cosecha, establecer intervalos de concentración e índices foliares de balance Kenworthy.

### 3.5 CONCLUSIONES

Se identificó los factores nutrimentales limitativos tanto en suelo y en planta, en la mayoría de los casos se observa una relación directa de la disponibilidad del nutriente en suelo con la concentración foliar, sin embargo existen los casos en los cuales los nutrientes existen en abundantes cantidades en el suelo pero no son absorbidos por las plantas, en otros casos en particular la huerta 1 Huaquechula, estado de Puebla se obtuvieron en algunos casos bajas concentraciones en suelo pero altas concentraciones foliares, este efecto es debido a la aplicación de fertilizantes foliares.

### 3.6 LITERATURA CITADA

- Aguilera M., J. y S. Salazar G. 1998. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento y tamaño de fruto de aguacate. INIFAP, Campo Experimental Uruapan, Michoacán, México. Folleto Técnico Núm. 12.
- Alcántar R., J., J. Anguiano C., V. M. Coria A., G. Hernández R. y J. A. Ruiz C. 1999. Áreas potenciales para cultivo del aguacate (*Persea americana* cv. Hass) en el estado de Michoacán, México. Chapingo Serie Horticultura 5: 151-154.
- Ayers A., D., D. G. Aldrich y J. J. Coony 1951. Sodium and chloride injury of Fuerte avocado leaves. Californian Avocado Society Yearbook 36:174-178.
- Bertin, Y., J. P. Blondeau y M. Dormoy 1976. Premiers resultants d'une etude d'analyse foliare sur la avocatier 'Lula' a la Martinique. Fruits 31(7-8): 459-471.
- Bremner J., M. 1965. Total nitrogen. In: C. Black (ed.). Methods of soil Analysis Part 2, Agronomy 9 American Society Agronomy Madison, WI.

- Castellanos Z., J., Uvalle B. J. y A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y agua. 2ª edición. ed. Instituto de capacitación para la productividad agrícola. México. 225 p.
- Cossio V., L. E., S. Salazar G., I. J. González D. y R. Medina T. 2008. Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. Chapingo Serie horticultura 14(3): 319-324.
- Embleton T., W. y W. W. Jones 1972. Development of nitrogen fertilizer programs for California avocados. California. Avocado Society Yearbook 56: 90-96.
- Embleton T., W. y W.W. Jones 1966. Avocado and mango nutrition. In: Fruit Nutrition. Childers 51-76pp.
- Etcheverts, B. 1988. Manual de métodos de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Edo de México.
- Figueroa R., M., A. M. Castillo G., E. Avitia G. y J. L. Tirado T. 2001. Concentración nutrimental en hojas e inflorescencias de tres cultivares de aguacatero. Terra 19(2): 127-132.
- Goodall G., E., T. W. Embleton y R. G. Platt 1979. Avocado fertilization. University California Cooperative 2024 pp.
- Hernández V., E. F., S. Aguilar C., V. Aguilera T. y R. E. Pérez S. 2012. Concentración nutrimental en hojas de aguacate 'Hass' con síntoma de moteado. Mexicana de Ciencias Agrícolas 3(3): 621-627.
- INEGI 2009<sup>a</sup>. Prontuario de la información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Huaquechula, Puebla.
- INEGI, 2009<sup>b</sup>. Prontuario de la información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Temascaltepec Mexico.
- Kenworthy A., L. 1973. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. In: Soil testing and plant analysis. Soil Science Society American 381-392 pp.
- Kenworthy A., L. 1961. Interpreting the balance of nutrient elements in leaves of fruit trees. In: Plant Analysis and Fertilizer Problems. Washington D.C.
- Lahav, E. 1998. Avocado nutrition- A review. Proc. World Avocado Congress III 143-151 pp.
- Maldonado T., R. 2002. Diagnóstico nutrimental para la producción de aguacate Hass. Ed. Fundación Produce de Michoacán A.C. México. 74 p.
- Maldonado T., R., M. E. Álvarez. S., G. Almaguer. V., A. F. Barrientos P. y R. García M. 2007. Estándares nutrimentales para aguacatero "Hass". Chapingo Serie Horticultura 13(1): 103-108.

- Méndez G., T. S. Palacios M. y L. Rodríguez D. 2008. Análisis de suelo, foliar y de calidad del agua para el cultivo del aguacatero. *Terra Latinoamericana* 26(1):75-84.
- Montiel A., G., L. Krishnamurthy, A. Vázquez A. y M. Uribe G. 2008. Opciones agroforestales para productores de aguacate. *Terra latinoamericana* 26(1): 85-90.
- Núñez M., J. H., J. I. Cortes F., S. Salazar G. y L.L. Landois P. 1991. Evaluación del método DRIS para diagnosticar el estado nutrimental del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Fuerte. *Agrociencia*, serie: Agua-Suelo-Clima 2(3): 39-57.
- Salazar G., S. 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Querétaro México
- Salazar G., S., J. I. Cortés F. 1986. Root distribution of mature avocado trees growing in soils of different texture. *Californian Avocado Society Yearbook*. 70: 165-174.
- Salazar G., S. y I. Lazcano F. 1999. Diagnóstico nutrimental del aguacate 'Hass' bajo condiciones de temporal. *World Avocado IV*. Uruapan, Mich., México, 173-184 pp.
- Salazar G., S. y J. I. Cortés F. 1988. Leaf scorch and mineral nutrition of avocado trees irrigated with saline water. *Californian Avocado Society Yearbook* 72: 229-235.
- Salazar G., S. y J. I. Cortés F., S. Alcalde B. y G. P. Zárate del. 1987. Daños por salinidad en árboles de aguacate "Fuerte" en Atlixco, Puebla. *Agrociencia* 68: 115-134.
- Salazar G., S., L. E. Cossio V. y J. L. González D. 2008. Corrección de la deficiencia crónica de zinc en aguacate 'Hass'. *Chapingo Serie horticultura* 14(2): 153-159.
- Salazar G., S., Cossio V. L. E. y J. L. González D. 2009. La fertilización de sitio específico mejoró la productividad del aguacate 'Hass' en huertos sin riego. *Agricultura técnica en México* 35(4): 439-448.
- Solares, M., A. Herrera G., S. Salazar G., M.W. Borys 1984. Tolerancia de aguacates (*Persea americana* Mill. y *P. schiedeana* Nees) a condiciones de salinidad progresiva. IV. Relación entre grado daños al follaje y la concentración de cloro y sodio. *Chapingo* 9(45/46): 20-26.
- Solís F., J. J., A. F. Barrientos P., C. A. Pérez M., M. Rubí A. y J. C. Reyes A. 1998. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio, su efecto en el contenido nutrimental de hoja y mesocarpio en aguacatero (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. *Chapingo Serie Horticultura* 4(2): 113-117.

- Whiley A., W. y Wolstenholme B. N. 1990. Carbohydrate management in avocado trees for increased production. *South African Avocado Growers* 13: 25–27.
- Whiley A., W., J. B. Saranah, B. W. Cull y K. G. Pegg 1988. Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Quality Agriculture Journal* 114(1): 29–36.

#### IV. USO AGRÍCOLA DEL SUSTRATO RESIDUAL POSCULTIVO DE SETA (*Pleurotus ostreatus*) COMO MEJORADOR DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

##### AGRICULTURE USE OF SPENT MUSHROOM SUBSTRATE (*Pleurotus ostreatus*) AS IMPROVER SOIL FERTILITY

Odón Roberto Montes Colmenares, Tesis de Maestría en Ciencias  
Universidad Autónoma Chapingo  
Dirección de tesis: Dr. Ranferi Maldonado Torres

#### RESUMEN

El sustrato residual poscultivo de setas se ha utilizado como sustrato de germinación de semillas, sustrato de cultivo, sustrato de lombricomposta, alimento para ganado, biofertilizante y acondicionador del suelo. Sin embargo en muchas empresas cultivadoras de setas (*Pleurotus ostreatus*) desechan este material al aire libre sin darle un buen manejo a este residuo. En el presente estudio se realizó un análisis agroquímico de este material obtenido de dos empresas productoras de hongo seta (*Pleurotus ostreatus*) ubicadas en el estado de México. Los resultados mostraron que los sustratos residuales presentan un alto contenido de nitrógeno, potasio y magnesio en comparación con otros fertilizantes orgánicos. También se identificó un bajo contenido de fósforo por lo que se recomienda complementar este nutrimento cuando se utilice este material. La aplicación al suelo del sustrato residual poscultivo de setas (SMS-P) en los cultivos agrícolas puede ayudar a mejorar el rendimiento de los cultivos agrícolas y evitar la contaminación medioambiental que genera una mala gestión de este material.

**Palabras clave:** Manejo de desechos, fertilizante, agricultura.

#### ABSTRACT

The residual post mushroom cultivation substrate was used as seed germination substrate, growing medium, substrate vermicompost, cattle feed, soil conditioner and biofertilizer. However in many growing companies mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) discarded this material outdoors without giving a good handle this waste. In the present study an agrochemical analysis of this material obtained from two companies producing fungus mushroom (*Pleurotus ostreatus*) located in the state of Mexico was conducted. The results showed that the residual substrates have a high content of nitrogen, potassium and magnesium compared to other organic fertilizers. Low in phosphorus so it is recommended to supplement this nutrient when this material is used was also identified. Land application of residual poscultivo mushroom substrate (SMS-P) in agricultural crops can help improve the performance of agricultural crops and prevent environmental pollution generated by poor management of this material.

**Keywords:** Waste management, fertilizer, agriculture.



## 4.1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de la seta (*Pleurotus ostreatus*) es un proceso biotecnológico que recicla diferentes residuos lignocelulósicos orgánicos y puede ser el único proceso actual que combina la producción de alimentos ricos en proteínas con la reducción de la contaminación del medio ambiente (Sánchez, 2009). Sin embargo en la actualidad en México el manejo de los desechos de las plantas productoras de hongo seta (*Pleurotus ostreatus*) es deficiente, en la mayoría de los casos estos materiales carecen de procesos eficientes de aprovechamiento, sin embargo a nivel mundial se ha validado la utilidad de este material con diversas aplicaciones agrícolas. El sustrato residual poscultivo de seta SMS-P (*Pleurotus ostreatus*) contiene pajas de cereales fermentados, residuos de nutrientes y plaguicidas inorgánicos (Paredes *et al.*, 2006; Medina *et al.*, 2011). Según Gyu *et al.*, (2005) mencionan que este sustrato (*spent mushroom substrate*) se compone de micelios fúngicos, de sustratos lignocelulósicos no utilizados y de enzimas extracelulares (producidas por el hongo durante su crecimiento). Rinker (2002) reporto múltiples usos biotecnológicos del SMS-P (*Pleurotus ostreatus*) en el mundo, lo menciona como un purificador de agua y suelo, biofertilizante en cultivos hortícolas de campo abierto y como una enmienda orgánica general para el suelo. Su efecto en el crecimiento, productividad y la calidad de diferentes verduras y otros hortícolas cultivos ha sido confirmada por muchos investigadores en todo el mundo (Medina *et al.*, 2009; Idowu y Kadiri, 2010; Polat 2009; Jonathan *et al.*, 2011). El SMS-P es una importante fuente para la formación de humus, el humus ofrece micronutrientes para las plantas, mejora la capacidad de retención de agua, aireación y estructura del suelo (Kadiri y Mustapha, 2010; Sendi *et al.*, 2013). El objetivo del presente estudio es caracterizar químicamente el sustrato residual poscultivo de setas de dos empresas cultivadoras de México, para proponerlo como mejorador del suelo y fertilizante en los cultivos agrícolas.

## 4.2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.2.1 Características del sustrato residual poscultivo de setas (*Pleurotus ostreatus*)

El sustrato residual poscultivo de setas (SMS-P) es el material que ya no produce un buen rendimiento debido al agotamiento gradual de nutrientes (Ashrafi *et al.*, 2014). El crecimiento del micelio y la producción de seta se ven afectados por la disminución de nutrientes y cambios en la relación de la celulosa, hemicelulosa y lignina respecto al contenido inicial del sustrato (Mata y Saboya, 2005; Ashrafi *et al.*, 2014). Paredes *et al.*, (2006) analizaron 19 muestras del sustrato residual astado de setas de diversas empresas de productoras de la zona de Castilla y la Rioja en España, a las cuales se les determinaron la conductividad eléctrica, pH, contenido de materia orgánica, relación N/C, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Parámetros agroquímicos de sustrato residual de *Pleurotus sp.*

| Parámetro                | Media  | Rango     | CV |
|--------------------------|--------|-----------|----|
| pH                       | 5.80   | 5.1-7.4   | 12 |
| EC (ds m <sup>-1</sup> ) | 4.70   | 3.1-7.7   | 26 |
| MO (%)                   | 86.90  | 80.4-91.1 | 3  |
| C/N                      | 40.80  | 25.8-85.1 | 37 |
| N (g kg <sup>-1</sup> )  | 11.60  | 5.0-17.1  | 26 |
| P (g kg <sup>-1</sup> )  | 0.92   | 0.32-1.74 | 36 |
| K (g kg <sup>-1</sup> )  | 16.70  | 11.4-28.4 | 26 |
| Ca (g kg <sup>-1</sup> ) | 16.30  | 9.0-26.2  | 26 |
| Mg (g kg <sup>-1</sup> ) | 1.96   | 0.82-3.72 | 39 |
| Fe (g kg <sup>-1</sup> ) | 1.04   | 0.33-2.0  | 45 |
| Cu (g kg <sup>-1</sup> ) | 6.00   | 3-9       | 31 |
| Mn (g kg <sup>-1</sup> ) | 104.00 | 35-210    | 53 |
| Zn (g kg <sup>-1</sup> ) | 22.00  | 5-41      | 47 |

EC: conductividad eléctrica, OM: Materia orgánica, CV: Coeficiente de variación.

### 4.2.2 Usos del sustrato residual poscultivo de la seta

Se ha examinado algunas alternativas para el manejo del SMS entre las que destacan la producción de biogás (Bisaria *et al.*, 1990) enzimas a granel (Kumaran *et al.* 1997), bioconversión de fertilizantes orgánicos (Sochtig y

Grabbe 1995), la utilización como material de alimentación de energía (Williams *et al.* 2001), y la degradación de pentaclorofenoles (Chiu *et al.*, 1998; Gyu *et al.*, 2005). El Cuadro 9 muestra algunos usos biotecnológicos del sustrato residual poscultivo de hongo seta (*Pleurotus ostreatus*).

**Cuadro 9.** Usos biotecnológicos del sustrato residual de setas

| Investigadores                                           | FE | PS | PA | EG | C | BR | AG | PHF | PE | CP | SG |
|----------------------------------------------------------|----|----|----|----|---|----|----|-----|----|----|----|
| Phan y Sabaratnam, 2012                                  |    |    |    | √  |   |    |    |     |    |    |    |
| Rodríguez <i>et al.</i> , 2012                           |    |    |    |    | √ |    |    |     |    |    |    |
| Medina <i>et al.</i> , 2012, Parada <i>et al.</i> , 2012 | √  |    |    |    |   |    |    | √   |    |    |    |
| Juarez <i>et al.</i> , 2011                              |    |    |    |    |   | √  |    |     |    |    |    |
| Zhou <i>et al.</i> , 2011                                | √  | √  |    |    |   |    |    |     |    |    |    |
| Purnomo <i>et al.</i> , 2010                             |    | √  |    |    |   |    |    |     |    |    |    |
| Kim <i>et al.</i> , 2010                                 |    |    |    |    |   |    | √  |     |    |    |    |
| Wang, 2010                                               | √  |    |    |    |   |    |    |     |    |    |    |
| Kadiri y Mustapha, 2010                                  |    |    |    |    |   |    |    | √   |    |    |    |
| Oh <i>et al.</i> , 2010                                  |    |    |    |    |   |    | √  |     |    |    |    |
| Xu <i>et al.</i> , 2010                                  |    |    |    |    |   |    | √  |     |    |    |    |
| Izyan <i>et al.</i> , 2009                               | √  |    |    |    |   |    |    |     |    |    |    |
| Chiu <i>et al.</i> , 2009                                |    |    |    |    | √ |    |    |     |    |    |    |
| Kwak <i>et al.</i> , 2008                                |    |    |    |    |   |    | √  |     |    |    |    |
| Castro <i>et al.</i> , 2008                              |    |    |    |    |   |    |    |     |    |    | √  |
| Balan <i>et al.</i> , 2008                               |    |    |    |    |   |    |    |     | √  |    |    |
| Liu <i>et al.</i> , 2008                                 |    | √  |    |    |   |    |    |     |    |    |    |
| Wang <i>et al.</i> , 2007                                |    | √  |    |    |   | √  |    |     |    |    |    |
| Wang <i>et al.</i> , 2006                                |    |    |    |    |   |    |    |     |    |    |    |
| Wang, 2003                                               |    |    |    |    |   |    |    |     |    |    |    |
| Bin, 2006                                                |    |    |    |    |   |    |    |     | √  |    |    |
| Gregori <i>et al.</i> , 2006                             |    |    |    | √  |   |    |    |     |    |    |    |
| Bae <i>et al.</i> , 2006                                 |    |    |    |    |   |    | √  |     |    |    |    |
| Gui-qiu <i>et al.</i> , 2005                             |    |    |    |    | √ |    |    |     |    |    |    |
| Lau <i>et al.</i> , 2003                                 |    |    |    |    | √ |    |    |     |    |    |    |
| Cohen <i>et al.</i> , 2002                               |    |    |    | √  |   |    |    |     |    |    |    |
| Rinker, 2002                                             | √  |    | √  |    |   | √  | √  |     | √  | √  |    |
| Buswell, 1994                                            |    |    |    |    | √ |    |    |     |    |    |    |

FE: Fertilizante orgánico, PS: Purificador de suelo, PA: Purificador de aire, EG: Enzimas a granel, C: Contaminantes, BR: Biorremediación agua y suelo, AG: Alimentación en ganado, PHF: Producción de hortalizas y frutas, PE: Producción de energía, CP: Control de plagas, SG: Sustrato para germinación.

Cuadro 10 muestra algunos cultivos en donde se ha utilizado el SMS-P, destacando su uso como sustrato de germinación y sustrato de cultivo en diferentes especies.

**Cuadro 10.** Cultivos donde se ha utilizado el SMS de *Pleurotus ostreatus*

| Autor                        | Cultivo                                       | Uso |
|------------------------------|-----------------------------------------------|-----|
| Medina <i>et al.</i> , 2009  | <i>Lycopersicum esculentum</i>                | SG  |
| Medina <i>et al.</i> , 2009  | <i>Cucurbita pepo</i> L. var. <i>Afrodite</i> | SG  |
| Medina <i>et al.</i> , 2009  | <i>Capsicum annum</i> L. var. <i>Lamuyo</i>   | SG  |
| Castro <i>et al.</i> , 2008  | <i>Salvia officinalis</i>                     | SC  |
| (Iwase <i>et al.</i> , 2000) | <i>Lycopersicum esculentum</i>                | SC  |
| (Iwase <i>et al.</i> , 2000) | <i>Lactuca sativa</i>                         | SC  |
| (Iwase <i>et al.</i> , 2000) | <i>Raphanus sativus</i>                       | SC  |

SG: Sustrato de germinación y SC: Sustrato de cultivo.

La eficacia del SMS-P como enmienda orgánica ha sido evaluada positivamente por (Jordan *et al.*, 2008; Morlat y Chaussod 2008; Ribas *et al.*, 2009; Courtney *et al.* 2009 y Medina *et al.*, 2012). La mayoría de SMS se utiliza ya sea en tierras de cultivo como fertilizante o desechado a una pequeña cantidad siendo utilizado en horticultura. El SMS también se ha eliminado como residuos agrícolas sin tener en cuenta el medio ambiente (Gyu *et al.*, 2005).

## 4.3 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en tres fases: (1) Toma de muestra de sustrato de dos diferentes empresas productoras, (2) análisis químico de las muestras y (3) análisis e interpretación de los resultados.

### 4.3.1 Toma de muestra

#### a) Sustrato residual poscultivo de setas 1 (SMS-P 1)

Este sustrato gastado (SMS-P 1) se utilizó en el establecimiento de la parcela experimental Huerta 1 Huaquechula, estado de Puebla. Se obtuvo de la macrocompostera de la empresa de hongos comestibles Setas “Niebla” ubicada en la carretera México-Tulancingo 24.5, en el pueblo de Nopaltepec, Estado de México.

Esta empresa en su sistema de producción utilizó diferentes sustratos disponibles en la región, en el caso del sustrato gastado (SMS-P 1) que se

utilizó en esta investigación, utilizó rastrojo de cebada que se cultiva en la región, las bolsas de desecho tenían 2 semanas de haberse colocado en esta compostera (Anexo 3). Se determinó el porcentaje de humedad del SMS-P 1 tomando 5 sub muestras colocándolas en bolsas de papel y colocadas en una estufa de secado con una temperatura constante a 70 °C durante 10 días. *Pleurotus ostreatus* (SMS-P 1).

#### b) Sustrato residual poscultivo de setas 2 (SMS-P 2)

Este sustrato gastado (SMS-P 2) se utilizó en el establecimiento de la parcela experimental Huerta 2 Temascaltepec, estado de México (Cuadro 11). Se obtuvo de la empresa de hongos comestibles “Camacho” ubicada en el municipio de Ixtlahuaca de Rayón, Estado de México, esta empresa utilizó como sustrato rastrojo de maíz que se cultiva en la región.

El sustrato utilizado en el cultivo se refiere que se suplementa con urea, cal y yeso, sin embargo el proveedor de la planta productora no menciona la cantidad de estos. Las bolsas de sustrato estaban colocadas dentro de la nave teniendo aproximadamente 4 semanas de habersele realizado el último corte. Se determinó el porcentaje de humedad del sustrato gastado de seta (SMS-P 2) tomando 5 sub muestras colocándolas en bolsas de papel y colocadas en una estufa de secado con una temperatura constante a 70 °C durante 10 días. En el (Anexo 4) se muestra el llenado del transporte con las bolsas utilizadas para la aplicación de los tratamientos en la Huerta 2 Temascaltepec, estado de México.

### 4.3.2 Análisis químico de los sustratos

Para determinar sus características químicas de los dos sustratos residuales se realizó el análisis de tejido vegetal correspondiente, realizando un procedimiento similar al hecho en el análisis foliar inicial de las huertas. El Cuadro 11 muestra los métodos empleados para obtener las características químicas del sustrato residual poscultivo de setas de las dos empresas cultivadoras.

### 4.3.3 Análisis de la información

Con la información obtenida se realizó una comparación de la composición de los dos sustratos residuales poscultivo para poder determinar su potencial aporte al cultivo de aguacate al final de su mineralización.

## 4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

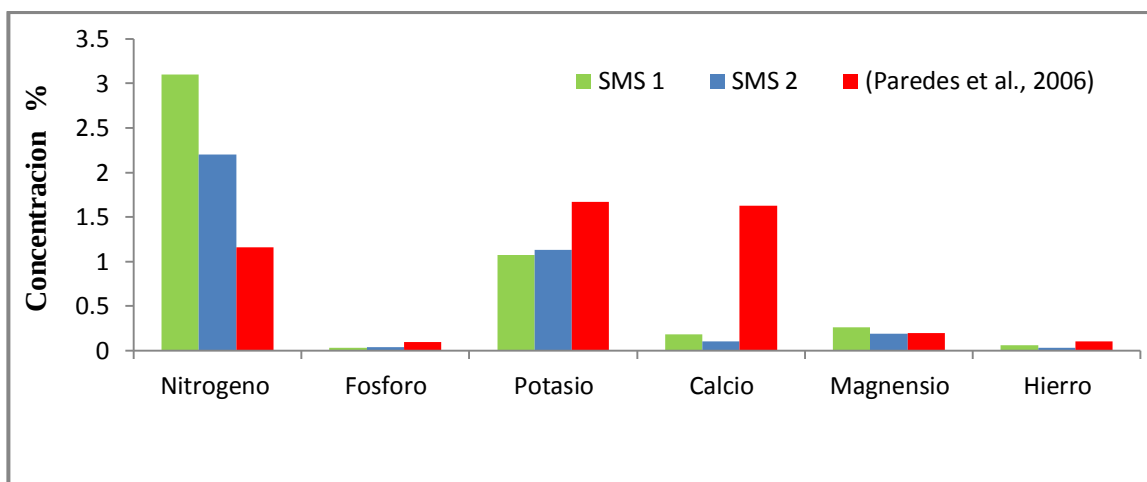
### 4.4.1 Características químicas de los sustratos

El sustrato residual 1 (rastroy inicial de cebada) tuvo una mayor concentración de nitrógeno en comparación con el sustrato 2 (SMS-P 2 de rastroy inicial de maíz), en cuanto al fósforo y potasio, resultaron tener valores muy similares, en calcio, magnesio, hierro, manganeso y zinc el SMS-P 1 tuvo valores superiores que el SMS-P 2, y solamente en el caso del boro en el SMS-P 1 el contenido fue menor que SMS-P 2 (Figura 5 y 6). El contenido de nitrógeno del SMS-P es mayor al contenido de la paja inicial debido al crecimiento del micelio del hongo seta (*Pleurotus ostreatus*), este incremento también se puede observar en los sustratos utilizados en esta investigación. Algunos cultivadores industriales aplican algunas porciones de urea para mejorar la relación C:N la relación carbono-nitrógeno.

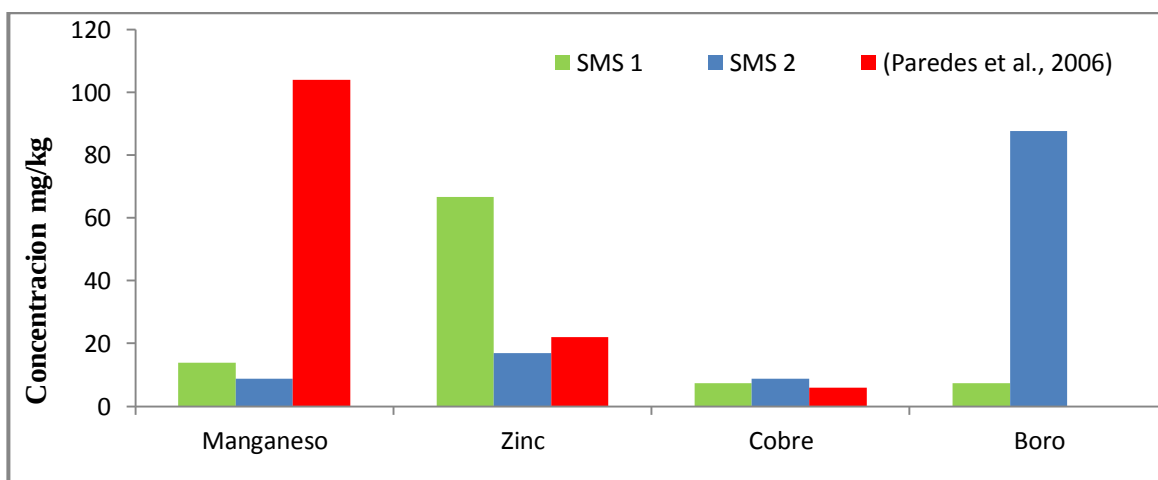
**Cuadro 11.** Contenido mineral de los sustratos

| Parámetro <sup>a</sup>           | SMS-P 1 <sup>b</sup> | SMS-P 2 <sup>c</sup> | Paredes <i>et al.</i> , 2006 |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|
| Nitrógeno (%)                    | 3.10                 | 2.20                 | 0.5-1.71                     |
| Fósforo (%)                      | 0.03                 | 0.04                 | 0.032-0.174                  |
| Potasio (%)                      | 1.07                 | 1.13                 | 1.14-2.84                    |
| Calcio (%)                       | 0.18                 | 0.10                 | 0.90-2.62                    |
| Magnesio (%)                     | 0.26                 | 0.19                 | 0.82-0.37                    |
| Hierro (mg/kg <sup>-1</sup> )    | 566.60               | 329.10               | 330-2000                     |
| Manganeso (mg/kg <sup>-1</sup> ) | 13.90                | 8.70                 | 35-210                       |
| Zinc (mg/kg <sup>-1</sup> )      | 66.70                | 17.00                | 5-41                         |
| Cobre (mg/kg <sup>-1</sup> )     | 7.40                 | 8.70                 | 3-9                          |
| Boro (mg/kg <sup>-1</sup> )      | 7.40                 | 87.62                |                              |

<sup>a</sup> Determinado en materia seca, <sup>b</sup> SMS-P 1 fuente: Setas, Niebla, Edomex y <sup>c</sup> SMS-P 2 fuente: Hongos Camacho, Edomex.



**Figura 5.**Macronutrientes, calcio, hierro y magnesio: SMS 1 y SMS 2 vs valores de referencia (Paredes *et al.*, 2006).



**Figura 6.**Micronutrientes: SMS 1 y SMS 2 vs valores de referencia (Paredes *et al.*, 2006)

Hoy en día es una práctica común suplementar el sustrato (paja de gramíneas y residuos agrícolas) utilizado en el cultivo de la seta (*Pleurotus ostreatus*), para este fin se utilizan materiales orgánicos ricos en proteínas, tales como harina de alfalfa o harina de soja (Cohen *et al.*, 2002). En campo el SMS-P necesita la suplementación con nitrógeno para mejores resultados (Oie, 2007).

El SMS-P es rico en nitrógeno debido a la existencia de micelio de *Pleurotus*, por lo que esta paja (sustrato) se enriquece en cuanto a su contenido en nitrógeno, además al estar biodegradado presenta una disminución de elementos tóxicos y antinutricionales que estaban presentes en la paja inicial.

Comparando los contenidos de nutrimentos de los niveles altos de los dos sustratos (250 kg<sup>-1</sup> de sustrato fresco) se puede notar que el contenido de nitrógeno es superior al intervalo de (Paredes *et al.*, 2006), el contenido de fósforo, potasio, hierro y cobre estuvo dentro de este intervalo, el contenido de calcio, magnesio y manganeso, el contenido de zinc el SMS 2 estuvo dentro del intervalo, en cuanto al contenido de boro no se encontró alguna referencia. La aplicación de suplementos nutricionales al sustrato es una importante práctica cultural en el cultivo de los hongos comestibles, con este fin se aplican materiales ricos en proteína o nitrógeno ya que han demostrado incrementar el rendimiento de la seta (*Pleurotus spp.*) (Naraian *et al.*, 2008; Ashrafi *et al.*, 2014).

Las características químicas del sustrato residual poscultivo dependen de muchos factores, destacan las propiedades del sustrato principal inicial, el enriquecimiento con nitrógeno y otros materiales, la tecnología del cultivo, las cosechas realizadas, entre otros. Se sabe que la composta gastada de champiñón tiene mayor salinidad (dsm<sup>-1</sup>) que el SMS-P (Uzun, 2004). Al final el SMS-P (*Pleurotus ostreatus*) muestran altas reducciones en hemicelulosas y celulosa, bajas reducciones de lignina, correlación entre las fracciones de fibra con el contenido de nitrógeno, grasa y contenido de cenizas de los materiales iniciales, además la biomasa micelial inicial ve reducida por la productividad de fructificaciones del hongo (Koutrotsios *et al.*, 2014). Los tres principales grupos de enzimas que intervienen en la degradación de la lignina y la celulosa de los sustrato (agro-residuos) son las celulasas, hemicelulasas y ligninasas (Gyu *et al.*, 2005). Teniendo en cuenta el alto contenido de materia orgánica de los SMS, el número de la investigación científica ha aumentado en los últimos años ha avanzado rápidamente (Phan y Sabaratnam, 2012).



#### 4.5 CONCLUSIONES

El sustrato residual poscultivo de setas (*Pleurotus ostreatus*) resultó ser un excelente material que se puede utilizar con diversos fines agrícolas debido a sus excelentes características químicas que promueven un incremento en la productividad y rendimiento de los cultivos. El sustrato mejora la concentración de nitrógeno, potasio y microelementos en suelo. Mientras que, debido a su naturaleza este material no incrementa la concentración de fósforo en suelo, por lo que se recomienda suplementar con este nutriente al utilizar este material.

#### 4.6 LITERATURA CITADA

- Asrafi R., M. H. Mian, M. Rahman. y M. J. Jahiruddin 2014. Recycling of Spent Mushroom Substrate for the Production of Oyster Mushroom. *Research in biotechnology* 2(5): 13-21.
- Bae J., S., Y. I. Kim, S. H. Jung, Y. G. Oh y W. S. Kwak 2006. Evaluation on Feed-Nutritional Value of Spent Mushroom (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus eryngii*, *Flammulina velutipes* substrates as a roughage source for ruminants). *Journal of Animal Science and Technology*.
- Balan, V., L. da Costa S., S. P. Chundawat, R. Vismeh y B. E. Dale 2008. Mushroom spent straw: a potential substrate for an ethanol-based biorefinery. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 35(5): 293-301.
- Bin, L., I. 2006. Effecting of spent mushroom substrates (SMS) and biogas residue on improving navel orange production and its fruit quality. *Fujian Journal of Agricultural Sciences* 3: 293-295.
- Buswell, J., A. 1994. Potential of spent mushroom substrate for bioremediation purposes. *Compost Science and Utilization* 2(3): 31-36.
- Castro R., L., S. Delmastro y N. R. Curvetto 2008. Spent oyster mushroom substrate in a mix with organic soil for plant pot cultivation. *Micology Applied International* 20(1): 17-26.
- Camarero, S., S. Sarkar, F. J. Ruiz D., M. J. Martínez y A. T. Martínez 1999. Description of a versatile peroxidase involved in the natural degradation of lignin that has both manganese peroxidase and lignin peroxidase substrate interaction sites. *Journal of Biology and Chemistry* (274):10324–10330.
- Chiu S., W., M. L. Ching, K. L. Fong, y D. Moore 1998. Spent oyster mushroom substrate performs better than many mushroom mycelia in removing the biocide pentachlorophenol. *Mycological Research* 102(12): 1553-1562.

- Chiu S., W., T. Gao, C. S. Chan y C. K. Ho 2009. Removal of spilled petroleum in industrial soils by spent compost of mushroom *Pleurotus pulmonarius*. *Chemosphere* 75(6): 837-842.
- Cohen, R. y Y. Hadar 2001. The roles of fungi in agricultural waste conversion. In: Gadd GM (ed) *Fungi in bioremediation*. Cambridge University Press, Cambridge 305–334 pp.
- Cohen, R., L. Persky y Y. Hadar 2002. Biotechnological application and potential of wood degrading mushroom to the genus *Pleurotus*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 1(58): 582-594.
- Giardina, P., G. Palmieri, B. Fontanella, V. Riveccio y G. Sannia 2000. Manganese peroxidase isoenzymes produced by *Pleurotus ostreatus* grown on wood sawdust. *Arch Biochemistry Biophysical* 376:171–179.
- Gyu K., H., S. Ho P., S. H. Wank K., H. Gup, W. Mok P. 2005. Detection and Recovery of Hydrolytic Enzymes from Spent Compost of Four Mushroom Species *Folia Microbiol.* 50 (2):103–106.
- Fasidi I. O., M. Kadiri, S. G. Jonathan, C. O. Adenipekun y O. O. Kuforiji 2008. *Cultivation of Tropical Mushrooms*. Ibadan University Press, Ibadan, Nigeria.
- Finney K. N., C. Ryu, V. D. Sharifi, y J. Swithenbank 2009. The reuse of spent mushroom compost and coal tailings for energy recovery: comparison of thermal treatment technologies. *Bioresource Technology* 100: 310-315.
- Gui-qiu, C., Z. Guang, T. Xiang, H. Guo y C. Yao-rong 2005. A novel biosorbent: characterization of the spent mushroom compost and its application for removal of heavy metals. *Journal of Environmental Sciences* 17(5): 756-760.
- Idowu, O. O. y M. Kadiri 2013. Growth and yield response of okra to spent mushroom compost from the cultivation of *Pleurotus ostreatus* an edible mushroom. *Academic Journal of Agricultural Research* (1): 39–44.
- Iwase, Y., K. Umezawa y K. Masuda 2000. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* with beer spent grain and utilization. *Mushroom Science* (15): 819–826.
- Izzyan N., N., A. A. Jamaludin, N. Z. Mahmood y N. Karmegam 2009. Potential of spent mushroom substrate in vermicomposting. *Dyn. Soil Dyn. Plant.* 3: 87-90.
- Jordan S., N., G. J. Mullen y M. C. Murphy 2008. Composition variability of spent mushroom compost in Ireland. *Bioresource Technology* 99(2): 411-418.
- Juárez R., A., L. G. Dorry, R. Bello M. y J. E. Sánchez 2011. Use of spent substrate after *Pleurotus pulmonarius* cultivation for the treatment of

- chlorothalonil containing wastewater. Journal of Environmental Management 92(3): 948-952.
- Jonathan S., G., M. M. Lawal y O. J. Oyetunji 2011. Effect of spent mushroom compost of *Pleurotus pulmonarius* on growth performance of four Nigerian vegetables. Mycobiology 39(3): 164-169.
- Kadiri, M. y Y. Mustapha 2010. The use of spent mushroom substrate of *Lentinus subnudus* (Berk) as a soil conditioner for vegetables. Journal of Pure and Applied Science 3: 16–19.
- Kim Y., I., J. S. Seok y W. S. Kwak 2010. Evaluation of microbially ensiled spent mushroom (*Pleurotus ostreatus*) substrates (bed-type cultivation) as a roughage for ruminants. Journal of Animal Science and Technology.
- Kim Y., I., J. S. Bae, S. H. Jung, M. H. Ahn y W. S. Kwak 2007. Yield and physicochemical characteristics of spent mushroom (*Pleurotus eryngii*, *Pleurotus ostreatus* and *Flammulina velutipes*) substrates according to mushroom species and cultivation Types. Journal of Animal Science and Technology 49(1): 79-88,
- Kadiri, M. y Y. Mustapha 2010. The use of spent mushroom substrate of *L. subnudus* Berk as a soil condition for vegetables. Bayero Journal of Pure and Applied Sciences 3(2): 16-19.
- Ko H., G., S. H. Park, S. H. Kim, H. G. Park y W. M. Park 2005. Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species. Folia Microbiologica 50(2): 103-106.
- Kwak W., S., S. H. Jung y Y. I. Kim 2008. Broiler litter supplementation improves storage and feed-nutritional value of sawdust-based spent mushroom substrate. Bioresource Technology 99(8): 2947-2955.
- Lau K., L., Y. Y. Tsang y S. W. Chiu 2003. Use of spent mushroom compost to bioremediate PAH-contaminated samples. Chemosphere 52(9): 1539-1546.
- Liu W., W., T. Yao, L. N. Sun y L. H. Yuan 2008. The feasibility of spent mushroom substrate as a kind of microbial fertilizer carrier. Journal of Agro-Environment Science 2: 074.
- Medina, E., C. Paredes, M. A. Bustamante, R. Moral y J. Moreno 2011. Relationships between soil physico-chemical, chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. Geoderma 173-174: 152-161.
- Medina, E., C. Paredes, M. D. Pérez M., M. A. Bustamante y R. Moral 2009. Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. Bioresource Technology 100: 4227–4232.

- Medina, E., C. Paredes, M. A. Bustamante, R. Moral y J. Moreno C. 2012. Relationships between soil physico-chemical, chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. *Geoderma* 173: 152-161.
- Morlat, R., y R. Chaussod 2008. Long-term additions of organic amendments in a Loire Valley vineyard. I. Effects on properties of a calcareous sandy soil. *American Journal of Enology and Viticulture* 59(4): 353-363.
- Naraian, R., R. K. Sahu y S. Kumar 2008. Influence of different nitrogen rich supplements during cultivation of *Pleurotus florida* on corn substrate. *The environmentalist* 29(1): 1-7.
- Oei, P. 2007. The alternative a al uses of spent mushroom compost. ECO Consult Foundation, Tiel, The Netherlands; Fujian Mushroom R And D Station.
- Oh, Y. K., W. M. Lee, C. W. Choi, K. H. Kim y N. J. Choi 2010. Effects of spent mushroom substrates supplementation on rumen fermentation and blood metabolites in Hanwoo steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 23(12): 1608-1613.
- Parada R., Y., S. Murakami, N. Shimomura y H. Otani 2012. Suppression of fungal and bacterial diseases of cucumber plants by using the spent mushroom substrate of *Lyophyllum decastes* and *Pleurotus eryngii*. *Journal of Phytopathology* 160(7-8): 390-396.
- Paredes, C., R. Moral, M. D. Pérez, M., J. Moreno C., y A. Pérez E. 2006. Agricultural value of the spent mushroom substrate. Technology for recycling of manure and organic residues in a whole-farm perspective2: 301-304.
- Phan C., W. y V. Sabaratnam 2012. Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. *Applied microbiology and biotechnology* 96(4): 863-873.
- Polat, E., H. I., B. Uzun, K. Topçuoğlu, A. N. Onal Onus y M. Karaca 2009. Effects of spent mushroom compost on quality and productivity of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in greenhouses. *African Journal of Biotechnology* 8(2): 176–180.
- Purnomo A., S., T. Mori, I. Kamei, T. Nishii y R. Kondo2010. Application of mushroom waste medium from *Pleurotus ostreatus* for bioremediation of DDT-contaminated soil. *International. Biodeterioration and Biodegradation* 64(5): 397-402.
- Rinker D., L. 2002. Handling and using “spent” mushroom substrate around the world. *Mushroom Biology and Mushroom Products* 43-60.

- Rodríguez C., M. S. Herrero H., E. Ordax, J. M. Marín B. y M. J. Sánchez M. 2012. Adsorption of pesticides by sewage sludge, grape marc, spent mushroom substrate and by amended soils. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 92(8): 933-948.
- Sendi H., M. T. M. Mohamed, M. P. Anwar y H. M. Saud 2013. Spent mushroom waste as a media replacement for peat moss in Kai-Lan (*Brassica oleracea* var. Alboglabra) Production. *The Scientific World Journal*.
- Shitole, A. V., R. M. Gade, M. S. Bandgar, S. H. Wavare y Y. K. Belkar 2014. Utilization of spent mushroom substrate as carrier for biocontrol agent and biofertilizer. *Plant Pathology* 1(9): 271-275.
- Tuor U., K. Winterhalter y A. Fiechter 1995. Enzymes of white-rot fungi involved in lignin degradation and ecological determinants for wood decay. *Journal Biotechnology* 41:1-17
- Uzun, I. 2004. Use of spent mushroom compost in sustainable fruit production. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 12: 157-165.
- Wang D. H., Q. B. Xiang y G. Chen 2007. Research progress of ecological higher value application of spent mushroom compost. *Nonferrous Metals Engineering and Research* 28(23): 262-266.
- Wang J., Z. 2010. The feasibility analysis of producing organic fertilizer by using mushroom bran. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* 5: 135.
- Xu C., Y. Cai, J. Zhang y H. Matsuyama 2010. Feeding value of total mixed ration silage with spent mushroom substrate. *Animal Science Journal* 81(2): 194-198.
- Zhang R., H., D. Zeng Q. y L. I. Zhi G. 2012. Use of spent mushroom substrate as growing media for tomato and cucumber seedlings. *Pedosphere* 22(3): 333-342.
- Zhou, Q., W. Gong, C. Xie, D. Yang, X. Ling y X. Liu 2011. Removal of neutral red from aqueous solution by adsorption on spent cottonseed hull substrate. *Journal Of Hazardous Materials* 185(1): 502-506.

# ACOLCHADO ORGÁNICO CON SUSTRATO RESIDUAL POSCULTIVO DE SETA (*Pleurotus ostreatus*) EN HUERTOS DE AGUACATERO

## ORGANIC MULCH WITH SPENT MUSHROOM SUBSTRATE (*Pleurotus ostreatus*) IN AVOCADO ORCHARDS

Odón Roberto Montes Colmenares, Tesis de Maestría en Ciencias  
Universidad Autónoma Chapingo  
Dirección de tesis: Dr. Ranferi Maldonado Torres

### RESUMEN

El acolchado orgánico con sustrato residual poscultivo (SMS-P) de setas (*Pleurotus ostreatus*) puede ser una herramienta de gestión de los residuos del cultivo en callejones de aguacate, maíz y hongo seta para el reciclaje de nutrientes en los cultivos. En este estudio se evaluaron los efectos de diferentes niveles de acolchado orgánico con SMS-P sobre la temperatura de suelo, inhibición de arvenses y la concentración nutrimental foliar del aguacatero. El experimento se desarrolló en dos huertas de aguacate (*Persea americana*). En la huerta 1 se aplicaron cuatro niveles de SMS-P fresco: T2=40, 80=T3, T4= 250 y T5=375 kg<sup>-1</sup>, además se estableció el control (T1) sin acolchado y se administraron fertilizantes de síntesis química. En la huerta 2 se aplicaron tres niveles de SMS-P: T2=150, T3=200, T4=250 kg<sup>-1</sup>, además se estableció el control (T1) sin acolchado, donde no se administró ningún tipo de fertilizante. En los dos huertos se encontraron diferencias significativas en la temperatura del suelo ( $p \leq 0.05$ ), inhibición de malezas ( $p = 0.05$ ), además se obtuvieron incrementos en la concentración foliar (aguacatero) de nitrógeno, potasio y magnesio, y reducciones de fósforo.

**Palabras clave:** temperatura de suelo, arvenses, condición nutrimental foliar

### ABSTRACT

Organic mulch with spent mushroom substrate of *Pleurotus ostreatus* (SMS-P) can be a crop residue management tool in avocado, corn and mushroom fungus alley-cropping for nutrient recycling in the crops. In this study the effects of different levels of mulch with SMS-P on soil temperature, weed inhibit and leaf nutrient concentration in avocado were evaluated. The experiment was conducted in two avocado (*Persea americana*) orchards. In orchard 1 four levels of fresh SMS-P were applied: T2=40, T3=80, T4=250 and T5=375 kg<sup>-1</sup>. In addition, the control (T1) was established without mulch and synthetic chemical fertilizers were administered. In orchard 2 three levels of fresh SMS-P were applied: T2=150, T3=200, T4=250 kg<sup>-1</sup> and the control (T1) was established without mulch and with no fertilizer of any kind applied. In both orchards significant difference in soil temperature ( $p \leq 0.05$ ) and weed inhibition ( $p = 0.05$ ) were found. Also increases were obtained in the foliar concentration (avocado) of nitrogen, potassium and magnesium, and phosphorus reductions.

**Keywords:** soil temperature, weeds, foliar nutrient condition

## 5.1 INTRODUCCIÓN

La fertilización eficiente, la disponibilidad de agua de riego y el control de arvenses son algunos de los problemas que enfrenta la producción de aguacate en México. Debido a que el SMS-P tiene un alto contenido de materia orgánica, su aplicación puede tener importantes beneficios en la mejora de la estructura física del suelo (porosidad del suelo) (Oie, 2007). En promedio la producción de 1 kg de setas (*Pleurotus ostreatus*) produce 5 kg de material residual poscultivo de seta (SMS-P) (Lau *et al.* 2003; Phan y Sabaratnam, 2012). El SMS-P se utiliza en la agricultura como fertilizante, enriquecedor general del suelo, sustrato para macetas, vivero, acolchado, lombricultura, como promotor del control de enfermedades en cultivos hortícolas y como ropa de cama para establos de animales domésticos (Gyu *et al.*, 2005).

Al cubrir la superficie del suelo con residuos orgánicos (acolchado) la temperatura del suelo se disminuye en la temporada de calor y se mantiene en otoño (Bristow, 1988; Edwards *et al.*, 2000; Duppong *et al.*, 2004; Jodaugienė *et al.*, 2006). Turney y Menge (1994) y Wolstenholme *et al.*, (1996) reportan que el acolchado orgánico ayuda a conservar la humedad del suelo ya que disminuye la evaporación, el escurrimiento el encharcamiento, además de aumentar la permeabilidad y la capacidad de retención de agua en el suelo. Esto repercute directamente en mayor disponibilidad de agua para las raíces del aguacatero (*P. americana*) durante los períodos de estrés y la sequía.

Faber *et al.*, (2012) concluyeron que la tensión de la humedad en el suelo fue sistemáticamente mayor en las parcelas sin acolchado o mantillo en todos los sitios de prueba. Utilizando acolchados orgánicos el suelo se mantiene con niveles altos de humedad en comparación con el suelo sin acolchado (Jodaugienė *et al.*, 2006). El acolchado como método de control de arvenses se utiliza en la agricultura de todo el mundo (Economou *et al.*, 2002; Jodaugienė *et al.*, 2006). Faber *et al.*, (2012) reportan que el mayor efecto en la reducción de las arvenses fue utilizando un grosor de acolchado de 15 cm y que incluso con un grosor de 2.5 cm se tiene algún efecto, además mencionan que este efecto es inmediato (Jodaugienė *et al.*, 2006).

Utilizar el sustrato gastado de seta (SMS) puede ser una buena opción para acolchar el aguacatero, por lo que el objetivo de esta investigación es identificar el efecto del acolchado orgánico de aguacate con sustrato gastado de hongo seta. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del sustrato residual poscultivo de setas (*Pleurotus ostreatus*) sobre la inhibición de arvenses, control de la temperatura del suelo y la concentración nutrimental foliar del aguacatero (*Persea americana*) en dos huertas de dos diferentes zonas productoras de México.

## 5.2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 5.2.1 Acolchado orgánico de aguacate

El acolchado orgánico es una práctica importante en nuevas plantaciones de aguacate en California, Estados Unidos, debido a que dispone de grandes volúmenes de residuos orgánicos municipales (Faber *et al.*, 1996; Valenzuela, 2005).

En Málaga, España propusieron el uso de la cascara de almendra como acolchado en huertos orgánicos y convencionales de aguacate (*Persea americana*), donde se establecieron tratamientos con el objetivo de mantener el rendimiento de la planta y mejorar las condiciones del suelo (López *et al.*, 2014). El estudio de esta práctica concluyó que el rendimiento de los árboles de aguacate manejados con acolchado orgánico fue similar o superior a árboles con manejo convencional, por lo que los autores sugieren que la tasa de mineralización de la materia orgánica del acolchado fue suficiente para suministrar los nutrientes necesarios, además de originar un nuevo horizonte orgánico en el suelo.

En el norte de Israel (Danai *et al.*, 2012) propusieron el acolchado con mezclas de composta gastada (SMC *spent mushroom compost*) de champiñón (*Agaricus bisporus*) y con una composta de estiércol de ganado (CMC), concluyendo que el acolchado tuvo un efecto positivo en el incremento del rendimiento de dos variedades de aguacate, y que fue mayor en el acolchado con SMC que con el CMC. Además se reportó el crecimiento en el grosor de las raíces de aguacate



utilizando ambos tipos de acolchado, los autores recomiendan lixiviar o madurar la composta gastada de champiñón.

En California, Estados Unidos (Faber *et al.*, 2003) propusieron el acolchado en huertas de aguacate utilizando residuos de podas y jardinería, concluyendo que el acolchado tuvo un efecto pronunciado sobre la conservación de la humedad del suelo (reducción de evaporación) y la reducción del crecimiento de arvenses (inhibición de luz), sin embargo la longitud de la copa de la planta y la concentración nutrimental foliar no tuvo diferencias significativas durante el período de la investigación, a pesar de cambios nutricionales observados en suelo (Cuadro12).

En Sudáfrica (Moore *et al.*, 1997) evaluaron el acolchado en huertas de aguacate aplicando corteza de pino en forma de composta en capas de 15 cm., concluyendo que se encontraron diferencias significativas en rendimiento y tamaño de fruto. Además indican que este material fue una importante fuente de potasio, boro y algunos otros nutrientes, determinando que en suelos ácido lixiviados la mayor parte del boro se encontraba en la materia orgánica (acolchado), desde donde se liberó lentamente, al descomponerse por la acción microbiana.

**Cuadro 12.** Algunas investigaciones de acolchado orgánico en aguacatero

| Investigadores                  | País           | Cultivar                      | Material empleado                                                                                                          |
|---------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (López <i>et al.</i> , 2014).   | España         | <i>Hass</i>                   | casaca de almendra                                                                                                         |
| (Bonilla <i>et al.</i> , 2012). | España         | <i>Hass</i>                   | compost comercial y estiércol animal                                                                                       |
| (Danai <i>et al.</i> , 2012)    | Israel         | <i>Hass</i> y <i>Ethinger</i> | composta gastada de champiñón ( <i>A. bisporus</i> )                                                                       |
| (Faber <i>et al.</i> , 2003)    | Estados Unidos | <i>Hass</i>                   | residuos de podas y jardinería                                                                                             |
| (Moore <i>et al.</i> , 1997)    | Sudáfrica      | <i>Hass</i>                   | corteza de pino compostada                                                                                                 |
| (You <i>et al.</i> , 1996)      | Australia      | <i>Guatemala</i>              | mezclas de paja, pollinaza y mezclas de fertilizantes de síntesis                                                          |
| (Costa <i>et al.</i> , 1995)    | Brasil         | <i>Topa Topa</i>              | residuos de jardinería y paja de sorgo con inculo de <i>Trichoderma harzadium</i> Rifai y <i>Gliocladium virens</i> Miller |

Fuente: Elaboración propia

En Australia (You *et al.*, 1996) acolcharon una huerta de aguacate con mezclas de paja, pollinaza y mezclas de fertilizantes de síntesis, concluyendo que los actinomicetos presentes en el acolchado tuvieron la habilidad de suprimir el patógeno *Phytophthora cinnamomi*.

### **5.2.2 Efectos de los acolchados orgánicos en suelo**

Los acolchados conservan la humedad del suelo mediante la reducción de la evaporación en la superficie, y aumentando la capacidad de retención de agua, haciendo que los suelos con acolchado sean generalmente más húmedos que los desnudos (Downer, 2003). Si el material orgánico utilizado tiene altos niveles de lignina se degradara más lentamente promoviendo una alta actividad biológica debajo del acolchado (López *et al.*, 2014). El acolchado orgánico puede aumentar significativamente el suministro de nutrientes minerales al suelo, tales como: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y boro.

El acolchado orgánico puede ser muy importante en el ciclo de los nutrientes (Downer, 2003). Los acolchados simulan la caída de hojas en el bosque, un proceso necesario para el ciclo de nutrientes. Con el tiempo, se hacen aumentos significativos de nutrientes al suelo acolchado los cuales están directamente relacionados con el espesor del acolchado (Downer, 2003). Aunque el principal objetivo del acolchado orgánico no está específicamente relacionado con la fertilización orgánica, todos los acolchados orgánicos se descomponen y liberan elementos minerales que se vuelven disponibles para la absorción radicular (Moore *et al.*, 1997). El nitrógeno se libera inicialmente en forma de amonio, forma en la cual puede ser absorbido por la planta raíces o adsorbido a partículas de arcilla y humus. El amonio también puede ser nitrificado a nitrato, el cual está más sujeto a la lixiviación y pueden contaminar las aguas subterráneas (Wolstenholme *et al.*, 1999). Los acolchados han demostrado que incrementan el tamaño de las poblaciones de algunos grupos microbianos y modifican la estructura de la comunidad bacteriana en la capa superficial y profunda del suelo (Bonilla *et al.*, 2012).

Los árboles de aguacate (*P. americana*) son propensos a la enfermedad causada por (*Phytophthora cinnamomi*) y pueden beneficiarse del acolchado, mediante mecanismos de supresión de enfermedades (raíz), ya que controlan las poblaciones de nematodos, incrementan antagonistas naturales en el suelo; incrementan la producción de inhibidores volátiles (amoníaco y nitrito), generan toxinas (como saponinas y ácidos orgánicos); promueven el enquistamiento de las zoosporas de *Phytophthora* y aumentan la resistencia del huésped (fitoalexinas) (Turney y Menge, 1994; Wolstenholme *et al.*, 1996).

Los suelos pueden tener poblaciones nativas o indígenas de especies de *Trichoderma*, pero estos hongos también se pueden añadir a los suelos a través de la aplicación de acolchados de compostas, ya que son capaces de colonizar rápidamente el compost (Bonilla *et al.*, 2012). Los actinomicetos además de la producción de antibióticos, tienen otras interacciones antagónicas como efectos líticos, oosporoparasitismo, y las interacciones de hifas también pueden ocurrir entre actinomicetos y los hongos (Williams y Wellington 1982; Cook y Baker 1983; You y Sivasithamparam, 1995). Bonilla *et al.*, (2012) concluyeron que utilizando el acolchado en aguacate existe un incremento notable en la diversidad bacteriana del suelo, y que este efecto es más fuerte en la capa superficial del suelo, además las poblaciones de bacterias aerobias, hongos y actinomicetos dentro del acolchado orgánico cambian con el tiempo.

La temperatura y la humedad registrada en los diferentes niveles de acolchado se correlacionan positivamente con las poblaciones microbianas. Por lo que la adición de enmiendas orgánicas y el acolchado del suelo incrementan las densidades de propágulos de especies de *Trichoderma*, microorganismos termófilos y bacterias entéricas, en contraste, el número de microorganismos patógenos (*Phytophthora* *ssp.* y *Pythium* *ssp.*) de plantas disminuye en el suelo. You y Sivasithamparam (1994) indican que el número de bacterias y actinomicetos tendieron a aumentar después de la incubación del acolchado

### **5.2.3 Efectos de los acolchados orgánicos en planta.**

Faber *et al.*, (2003) concluyen que existe un efecto importante del acolchado sobre la arquitectura de las raíces del aguacate, manifestándose en un aumento de longitud de raíz y una mejor distribución espacial. Este cambio en el patrón de enraizamiento puede parcialmente ser responsable de la mejor resistencia a enfermedades en el aguacate (*P. americana*). Se han observado a tres elementos minerales como muy importantes para la salud y prolífico crecimiento de las raíces, estos elementos son el fósforo (P), calcio (Ca) y boro (B). Los tres han sido observados que aumentan su concentración bajo el acolchado (Wolstenholme *et al.*, 1996).

## **5.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.3.1 Diseño experimental, variables medidas y análisis de los datos**

#### **a) Huerta 1**

Se delimito el área con una desbrozadora a gasolina desde base del árbol hasta un radio de 1.8 m. La medición de sustrato se realizó utilizando una báscula calibrada, se aplicó cuatro niveles de acolchados, en T2 y T3 el sustrato se colocó desde la base del árbol hasta un radio de 1.8 m (capa de 15 cm de grosor). En T4 y T5 el sustrato se colocó en la zona de copa (capa de 10 cm de grosor), T1 fue el testigo. Se estableció un diseño experimental tipo DBCA con 5 tratamientos y 4 repeticiones. La reaplicación del acolchado en T3 y T5 se realizó en el mes de junio. Cuadro 14 muestra la cantidad de nutrimentos aplicados. Se fertilizo cada tres meses con la fórmula 12-06-25 +ME.

En el (Anexo 5) a) se muestra el acolchado de la huerta 1 el día 5 de octubre del 2014 y en b) se muestra el establecimiento de los tratamientos del acolchado mediante el diseño experimental mencionado en párrafos anteriores (Cuadro 13).

Modelo estadístico:

Con el objetivo de tener comparaciones precisas entre los tratamientos bajo este estudio, se uso un diseño en bloques aleatorizados como una forma de reducir y controlar la varianza del error experimental.

El modelo estadístico para este diseño fue:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + T_i + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ij}$ = valor de la variable respuesta

$\mu$ = media general

$\beta_j$ = efecto del j-ésimo bloque (1,2,3,4)

$T_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento (1,2,3,4,5)

$E_{ijk}$ = error experimental del tratamiento i en el bloque j

La prueba de hipótesis se realizó con el objetivo de elegir un criterio de decisión. Para ello se plantearon las siguientes hipótesis, nula ( $H_0$ ) y alterna ( $H_a$ ), para cada una de las variables de respuesta:

$H_0$ :  $T_1=T_2=T_3=T_4=T_5$

$H_a$ :  $T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4 \neq T_5$

El criterio para examinar directamente las diferencias entre medias, la cantidad que sirve como criterio, que la diferencia mínima significativa (DMS). Para su aplicación se usó la distribución de t de Student. La información se analizó empleando el programa SAS (Sas Institute), se realizó un análisis de varianza que comparo el efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas, con sus respectivas pruebas de comparación de medias, por el método Tukey, todas con  $p \leq 0.05$ .

### **Cuadro 13.** Tratamientos de Huerta 1

| Tratamiento | Sustrato (kg) <sup>1</sup> | Materia Seca (kg) |
|-------------|----------------------------|-------------------|
| T1 testigo  | 0                          | 0                 |
| T2          | 250                        | 70                |
| T3          | 250 + 125                  | 105               |
| T4          | 80                         | 22.4              |
| T5          | 80 + 40                    | 33.6              |

<sup>1</sup> Cantidad de sustrato residual fresco (kg por árbol)

### 5.3.2 Variables evaluadas y muestreo

#### a) Temperatura del suelo

Se utilizó un termómetro laser marca “Fluken”, la medición se realizó hacia la exposición poniente y a una distancia de 90 centímetros del tallo del aguacatero (1.80 m). La medición se realizó cada dos horas durante 24 horas consecutivas. Para evitar tomar la temperatura del suelo erróneamente todas las mediciones se realizaron haciendo contacto del láser con el suelo y no con algún material orgánico como hojas de las arvenses o material orgánico del mantillo. Por lo que los tratamientos con sustrato residual (SMS-P) la medición se realizó por debajo cualquier el material orgánico, en el testigo la medición se realizó teniendo cuidado de no tomar la temperatura foliar de las arvenses (Anexo 7), simultáneamente se realizó el monitoreo de la temperatura ambiental utilizando un termómetro ambiental alámbrico el cual fue colocado debajo la copa del árbol, para poder correlacionar este dato con la temperatura del suelo.

#### b) Control de arvenses

Se delimito la zona de estudio (radio 1.8 metros) con una desbrozadora a gasolina para tener el área de estudio bien definida, primeramente se realizó la contabilización del número de especies de arvenses tuvieron incidencia en esa área, el porcentaje de infestación de arvenses se determinó mediante la observación directa. En el Anexo 12 se muestra el límite del acolchado y el crecimiento de las arvenses en un tratamiento con nivel alto de sustrato residual (Anexo 8).

#### C) Concentración nutrimental foliar

Análisis foliar por tratamiento tomando 4 hojas por árbol sumando 16 hojas por tratamiento, siguiendo la metodología de (Maldonado *et al.*, 2007) (Anexo 9).

#### b) Huerta 2

Antes de acolchar se realizó el desyerbe desde base del árbol hasta un radio de 1.8 m (3.6 m de diámetro) con una desbrozadora a gasolina. La medición de la cantidad de sustrato se realizó utilizando una báscula calibrada. Y se colocó desde la base del árbol hasta un radio de 1.8 m. Se estableció un diseño experimental tipo DBCA con 4 tratamientos (capa de sustrato de 0, 5, 10 y 15 cm de grosor) y 4 repeticiones. Cuadro 14 muestra la cantidad de nutrimentos aplicados. (Anexo 6) muestra el acolchado de la Huerta 2 el día 16 de octubre.

**Cuadro 14.** Tratamientos de Huerta 2

| Tratamiento | Sustrato<br>(kg) | Materia Seca (kg) |
|-------------|------------------|-------------------|
| T1 Testigo  | 0                | 0                 |
| T2          | 150              | 39                |
| T3          | 200              | 52                |
| T4          | 250              | 65                |

<sup>1</sup> Cantidad de sustrato gastado fresco (kg por árbol)

### 5.3.3 Variables evaluadas y muestreo

#### a) Temperatura del suelo.

Se realizó el mismo procedimiento realizado en la huerta 1.

#### b) Control de arvenses.

Se realizó el mismo procedimiento realizado en la huerta 1. En el Anexo 8 se muestra el límite del acolchado y el crecimiento de las arvenses.

#### c) Concentración nutrimental foliar.

Análisis foliar por tratamiento tomando 4 hojas por árbol sumando 16 hojas por tratamiento, siguiendo la metodología de (Maldonado *et al.*, 2007) (Anexo 9).

Modelo estadístico:

Con el objetivo de tener comparaciones precisas entre los tratamientos bajo este estudio, se uso un diseño en bloques aleatorizados como una forma de reducir y controlar la varianza del error experimental.

El modelo estadístico para este diseño fue:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + T_i + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ij}$ = valor de la variable respuesta

$\mu$ = media general

$\beta_j$ = efecto del j-ésimo bloque (1,2,3,4)

$T_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento (1,2,3,4)

$E_{ijk}$ = error experimental del tratamiento i en el bloque j

La prueba de hipótesis se realizó con el objetivo de elegir un criterio de decisión. Para ello se plantearon las siguientes hipótesis, nula ( $H_0$ ) y alterna ( $H_a$ ), para cada una de las variables de respuesta:

$H_0: T_1=T_2=T_3=T_4$

$H_a: T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4$

El criterio para examinar directamente las diferencias entre medias, la cantidad que sirve como criterio, que la diferencia mínima significativa (DMS). Para su aplicación se usó la distribución de t de Student. La información se analizó empleando el programa SAS (Sas Institute), se realizó un análisis de varianza que comparo el efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas, con sus respectivas pruebas de comparación de medias, por el método Tukey, y todas con  $P \leq 0.05$ .

## 5.4 RESULTADOS

### 5.4.1 Temperatura de suelo

a) Huerta 1 Huaquechula, Puebla.

En el primer muestreo realizado el día 9 de Noviembre del 2014, la temperatura del suelo tuvo una relación directa con la temperatura ambiental y una relación



inversa con la humedad relativa del ambiente (Anexo 9). En el segundo muestreo realizado en el mes de Febrero del 2015 se encontró el mismo comportamiento de estas variables. El tratamiento 3 tuvo una temperatura de suelo más estable en el (Anexo 10) se muestra las horas donde los tratamientos tuvieron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), y cuando los tratamientos no superaron la DMS (Cuadro 15). En la hora más fría del día (5 h) existió una diferencia de 2.5 °C entre el mejor tratamiento con acolchado (T2) y el testigo.

En la hora más caliente (15 y 17 h) existió una diferencia de 4.35 y 4.2 °C respectivamente. Skroch *et al.* (1992), Jafari *et al.* (2012), López *et al.* (2014) indicaron que al cubrir la superficie del suelo con residuos orgánicos se controlan las fluctuaciones diurnas y estacionales de la temperatura por efecto de la mejora del estado de humedad (Gregoriou y Rajkumar, 1984; Lanini *et al.*, 1988) y reduce el estrés y mejora el crecimiento de raíces (Wolstenholme *et al.*, 1996).

En el escenario actual del cambio climático, el acolchado puede tener importantes impactos sobre el balance de la temperatura y el máximo aprovechamiento de la precipitación, debido a la capacidad de la materia orgánica para contrarrestar las condiciones de sequía (Metzger *et al.*, 2006; López *et al.*, 2014).

El acolchado orgánico puede promover actividades bióticas favorables, como la respiración y el crecimiento de la masa microbiana (Grundy y Bond, 2007). En el segundo muestreo el día 10 de Febrero del 2015, observó el mismo efecto de la temperatura y humedad ambiental a la temperatura del suelo (Anexo 11), la temperatura del suelo de T3 se mantuvo más estable, (Cuadro 16) se muestra las horas donde los tratamientos tuvieron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), y cuando los tratamientos no superaron la DMS. En la hora más fría del día (6 h) existió una diferencia de 3.3 °C entre el mejor tratamiento con acolchado (T3) y el testigo. En la hora más caliente (14 h) existió una diferencia de 5.45 °C (Anexo 12).

**Cuadro 15.** Temperatura de suelo en muestreo 1, huerta 1

| H <sup>a</sup> | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | I <sup>b</sup> | DMS  | R <sup>2</sup> | C.V.  |
|----------------|----|----|----|----|----|----------------|------|----------------|-------|
| 6              | b  | a  | a  | ab | a  | 3.3            | 1.98 | 0.78           | 6.15  |
| 8              | b  | a  | a  | ab | ab | 2.9            | 1.77 | 0.66           | 5.08  |
| 10             | a  | a  | a  | a  | a  | 1.5            | 2.91 | 0.29           | 6.96  |
| 12             | a  | ab | b  | ab | ab | 3.1            | 2.93 | 0.71           | 6.70  |
| 14             | a  | ab | b  | ab | ab | 5.4            | 5.38 | 0.62           | 10.39 |
| 16             | a  | b  | b  | ab | ab | 6.4            | 3.86 | 0.76           | 7.49  |
| 18             | a  | a  | a  | a  | a  | 1.1            | 1.37 | 0.54           | 3.38  |
| 20             | ab | a  | a  | b  | ab | 1.4            | 1.17 | 0.69           | 3.13  |
| 22             | b  | a  | a  | b  | b  | 2.1            | 1.28 | 0.84           | 3.39  |

H<sup>a</sup> = Hora del día, T1 = Tratamiento 1, T2 = Tratamiento 2, T3 = Tratamiento 3, T4 = Tratamiento 4, T5 = Tratamiento 5, I<sup>b</sup> = Intervalo de temperaturas entre tratamientos, DMS = Diferencia mínima significativa; a, b y c = diferencias significativas (Tukey  $p \leq 0.05$ ) y C.V. = Coeficiente de variación.

**Cuadro 16.** Temperatura de suelo en muestreo 2, huerta 1

| H <sup>a</sup> | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | I <sup>b</sup> | DMS  | R <sup>2</sup> | C.V. |
|----------------|----|----|----|----|----|----------------|------|----------------|------|
| 6              | b  | a  | a  | ab | a  | 3.7            | 1.98 | 0.78           | 6.15 |
| 8              | b  | a  | a  | ab | ab | 2.3            | 1.77 | 0.66           | 5.08 |
| 10             | a  | a  | a  | a  | a  | 1.3            | 2.91 | 0.29           | 6.96 |
| 12             | a  | ab | b  | ab | ab | 3.1            | 2.41 | 0.85           | 5.51 |
| 13             | a  | ab | ab | ab | b  | 4.3            | 3.76 | 0.62           | 7.83 |
| 15             | a  | a  | a  | a  | a  | 4.2            | 4.28 | 0.87           | 8.44 |
| 17             | a  | a  | a  | a  | a  | 4.2            | 1.53 | 0.87           | 8.44 |
| 19             | a  | a  | a  | a  | a  | 1.2            | 1.53 | 0.57           | 3.83 |
| 21             | a  | a  | a  | a  | a  | 1.1            | 1.28 | 0.52           | 3.37 |
| 23             | c  | a  | ab | bc | bc | 1.4            | 0.94 | 0.76           | 2.46 |

H<sup>a</sup> = Hora del día, T1 = Tratamiento 1, T2 = Tratamiento 2, T3 = Tratamiento 3, T4 = Tratamiento 4, T5 = Tratamiento 5, I<sup>b</sup> = Intervalo de temperaturas entre tratamientos, DMS = Diferencia mínima significativa; a, b y c = diferencias significativas (Tukey  $p \leq 0.05$ ) y C.V. = Coeficiente de variación.

La temperatura del suelo en la zona de cajete del aguacatero es muy dinámica, por la mañana la parte más cálida se encuentra cerca del tronco del árbol y fría en la zona de copa por el descenso de temperatura de la noche, enseguida la zona de copa gana calor hasta superar la temperatura cercana al tronco después del mediodía. Una vez iniciado el atardecer la zona de copa se comienza a enfriar y la zona cercana al tronco vuelve a ser la zona más cálida durante la madrugada. Wolstenholme *et al.*, (1997) reportan en su estudio que durante el mediodía

(periodo de estrés de temperatura) las hojas de los arboles sin acolchado mostraron 3 °C más altas que los arboles con acolchado.

b) Huerta 2 Temascaltepec estado de México.

En el muestreo realizado el día 6 de Noviembre del 2014, la temperatura del suelo tuvo una relación directa con la temperatura ambiental y una relación inversa con la humedad relativa del ambiente (Anexo 11). El suelo funciona como un acumulador de calor que responde al incremento de la temperatura ambiental, por lo que un suelo expuesto a los rayos del sol se calentará más rápido que un suelo cubierto por el acolchado.

En este muestreo la temperatura del suelo de T4 se mantuvo más estable, Cuadro 17 muestra las horas donde los tratamientos tuvieron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), y cuando los tratamientos no superaron la DMS (Cuadro 17). En la hora más fría del día (6 h) existió una diferencia de 4.3 °C entre el mejor tratamiento con acolchado (T4) y el testigo. La hora más caliente (14 h) tuvo 3.9 °C menos (T4) (Anexo 12). Skroch *et al.*, (1992) reporta que el acolchado orgánico estabilizó las fluctuaciones diarias de temperatura. Las temperaturas máximas se redujeron en 2.2 - 3.3 °C y las temperaturas mínimas se elevaron por 1.1 - 2.2 °C, además las temperaturas no variaron entre los materiales orgánicos que utilizaron.

**Cuadro 17.** Temperatura de suelo en muestreo 1, huerta 2

| H <sup>a</sup> | T1 | T2 | T3 | T4 | I <sup>b</sup> | DMS  | R <sup>2</sup> | C.V. |
|----------------|----|----|----|----|----------------|------|----------------|------|
| 6              | b  | a  | a  | a  | 4.3            | 0.78 | 0.97           | 0.38 |
| 8              | b  | a  | a  | a  | 1.6            | 1.09 | 0.76           | 3.84 |
| 10             | a  | b  | b  | b  | 2.2            | 1.03 | 0.88           | 2.79 |
| 12             | a  | b  | b  | b  | 3.7            | 1.50 | 0.89           | 3.75 |
| 14             | a  | a  | a  | a  | 3.1            | 3.95 | 0.53           | 9.73 |
| 17             | a  | a  | a  | a  | 1.8            | 3.94 | 0.45           | 9.33 |
| 19             | a  | a  | a  | a  | 0.2            | 0.48 | 0.30           | 1.34 |
| 21             | a  | a  | a  | a  | 0.3            | 0.45 | 0.65           | 1.49 |
| 23             | b  | a  | a  | a  | 0.3            | 0.26 | 0.83           | 0.90 |

H<sup>a</sup> = Hora del día, T1 = Tratamiento 1, T2 = Tratamiento 2, T3 = Tratamiento 3, T4 = Tratamiento 4, I<sup>b</sup> = Intervalo de temperaturas entre tratamientos, DMS = Diferencia mínima significativa; a, b y c = diferencias significativas (Tukey  $p \leq 0.05$ ) y C.V. = Coeficiente de variación

### 5.4.2 Control de arvenses

#### a) Huerta 1

En el primer muestreo realizado el día 10 de Noviembre del 2014 los tratamientos con acolchado afectaron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el número de especies de arvenses, en la prueba de medias se pueden identificar dos grupos ( $p \leq 0.05$ ), el primero formado por T1, T4, T5, y el segundo grupo lo integran el T2 y el T3 (Cuadro 18). En el segundo muestreo realizado el día 11 de Febrero del 2015 los tratamientos con acolchado también afectaron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el número de especies de arvenses, en la prueba de medias se pueden identificar los mismos grupos que en el primer muestreo. La germinación de semillas de arvenses se ve afectada por cambios en la humedad y temperatura del suelo (Blum *et al.*, 1997; Bilalis *et al.*, 2003; Jodaugienė *et al.*, 2006). En este estudio el nivel alto del acolchado mostro buenos resultados en el control de las arvenses, coincidiendo con Faber *et al.* (2003) que reportan que el mayor efecto en la reducción de las arvenses fue utilizando un grosor de acolchado de 15 cm y que incluso con un grosor de 2.5 cm se tiene algún efecto, Jodaugienė *et al.* (2006) menciona que este efecto es inmediato. En el segundo muestreo realizado el día 11 de Febrero del 2015 los tratamientos con acolchado también afectaron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el porcentaje de infestación de arvenses, en la prueba de medias ( $p \leq 0.05$ ), se pueden identificar los mismos grupos que en el primer muestreo (Anexo 13).

**Cuadro 18.** Control de arvenses en huerta 1

| Tratamiento | Número de especies |                  | Porcentaje de arvenses |                  |
|-------------|--------------------|------------------|------------------------|------------------|
|             | M 1 <sup>a</sup>   | M 2 <sup>b</sup> | M 1 <sup>a</sup>       | M 2 <sup>b</sup> |
| T1          | 7.75 a             | 10.0 a           | 0.65 a                 | 0.712 ab         |
| T2          | 2.0 b              | 3.5 b            | 0.04 c                 | 0.087 c          |
| T3          | 1.25 b             | 3.0 b            | 0.15 bc                | 0.262 bc         |
| T4          | 6.5 a              | 11.0 a           | 0.57 ab                | 0.912 a          |
| T5          | 6.25 a             | 8.250 a          | 0.52 ab                | 0.875 a          |
| DMS         | 3.411              | 4.637            | 0.463                  | 0.523            |

M 1<sup>a</sup> = Muestreo 1, M 2<sup>b</sup> = muestreo 2 y DMS = Diferencia mínima significativa.

#### b) Huerta 2

En el primer muestreo realizado el día 10 de Noviembre del 2014 los tratamientos afectaron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el número de especies de arvenses, en la prueba de medias se pueden identificar dos grupos ( $p \leq 0.05$ ), el primero formado por T1, T2, T3, el segundo grupo solo por T4. En ese mismo muestreo los tratamientos también afectaron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el porcentaje de infestación de arvenses, en la prueba de medias se pueden identificar dos grupos ( $p \leq 0.05$ ), el primero formado por T1, T2 y el segundo grupo lo integran el T3 y el T4. En el segundo muestreo realizado el día 12 de Febrero del 2015 se encontraron diferencias significativas en el número de especies de arvenses ( $p \leq 0.05$ )(Cuadro 19), en la prueba de medias se pueden identificar los mismos grupos que en el primer muestreo. Se controlaron las arvenses del cultivo durante 6 meses eficientemente lo cual ayudó a que el cultivo no tuviera competencia por agua y nutrientes durante el efecto del acolchado (Anexo 14).

**Cuadro 19.** Control de arvenses en huerta 2

| Tratamiento | Número de especies |                  | Porcentaje de arvenses |                  |
|-------------|--------------------|------------------|------------------------|------------------|
|             | M 1 <sup>a</sup>   | M 2 <sup>b</sup> | M 1 <sup>a</sup>       | M 2 <sup>b</sup> |
| T1          | 5.50 a             | 6.50 a           | 0.65 a                 | 0.66 a           |
| T2          | 2.50 ab            | 4.75 ab          | 0.26 ab                | 0.40 a           |
| T3          | 2.75 ab            | 3.50 ab          | 0.15 b                 | 0.30 a           |
| T4          | 1.75 b             | 2.75 b           | 0.15 b                 | 0.04 a           |
| DMS         | 3.015              | 3.228            | 0.458                  | 0.653            |

M 1<sup>a</sup> = Muestreo 1, M 2<sup>b</sup> = muestreo 2 y DMS = Diferencia mínima significativa.

#### 5.4.3 Concentración nutrimental foliar

##### a) Huerta 1

En cuanto a la clasificación nutrimental foliar se identificaron concentraciones excesivas de zinc, arriba de lo normal de nitrógeno, normales en fósforo y magnesio, niveles debajo de lo normal en potasio, calcio y cobre. Niveles deficientes de hierro, manganeso y boro. En el análisis foliar realizado se puede observar aumentos en los contenidos de nitrógeno, potasio, magnesio, hierro,

manganeso, cobre y boro, mientras que disminuyeron los contenidos de fósforo, calcio y zinc. En el fósforo se muestra que en todos los tratamientos disminuyó, el potasio el T3 y T5 tienen niveles más altos, mientras que el T2 se mantuvo en esos niveles, el T4 disminuyó su concentración. El calcio aumentó en el T3, T4, disminuyó en los T2 y T5, en el magnesio disminuyó en todos los tratamientos, el hierro se mantuvo en T2 y T4 y disminuyó en el nivel T3 y T5.

El manganeso se incrementó en todos los tratamientos, el zinc disminuyó en comparación con el testigo, en cuanto al cobre aumentó en el T3, T4 y ligeramente T5, el boro se mostró menor en todos los tratamientos. Turney y Menge (1994) y Wolstenholme *et al.*, (1996) reportan que el acolchado orgánico ayuda a conservar la humedad del suelo ya que disminuye la evaporación, el escurrimiento y encharcamiento, además de aumentar la permeabilidad y la capacidad de retención de agua en el suelo.

Utilizando acolchados orgánicos el suelo se mantiene con niveles altos de humedad en comparación con el suelo sin acolchado (Sharma y Achrata, 2000; Jodaugienė *et al.*, (2006). Los materiales orgánicos con alto contenido de lignina, tienen baja descomposición y mineralización de N (Seneviratne, 2000). Los acolchados orgánicos se descomponen y liberan nutrientes minerales para la absorción radicular, el producto final de este proceso es el humus, el cual aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Wolstenholme *et al.*, 1996). Los beneficios de los acolchados orgánicos incrementan la salud de las raíces, controla el estrés, e incrementa el rendimiento y el tamaño de fruto del aguacatero (Moore *et al.*, 1997; López *et al.*, 2014).

Los acolchados orgánicos se descomponen y necesitan ser reaplicados, incrementando la materia orgánica y la capacidad de mantener el agua, liberar nutrientes y mejorar la agregación del suelo (Haynes, 1980), los acolchados orgánicos promueven actividad microbiológica favorable (Grundy y Bond, 2007). Cuadro 20 muestra la concentración nutrimental foliar final de los tratamientos en huerta 1, Cuadro 21 muestra el aporte mineral del acolchado al final de su mineralización.

**Cuadro 20.** Concentración nutrimental foliar final de tratamientos en huerta 1

| Trat <sup>a</sup> | N<br>% | P<br>% | K<br>% | Ca<br>% | Mg<br>% | Fe<br>mg/kg <sup>-1</sup> | Mn<br>mg/kg <sup>-1</sup> | Zn<br>mg/kg <sup>-1</sup> | Cu<br>mg/kg <sup>-1</sup> | B<br>mg/kg <sup>-1</sup> |
|-------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Ini <sup>a</sup>  | 2.90   | 0.16   | 0.46   | 1.16    | 0.62    | 14.0                      | 15.4                      | 114.6                     | 28.1                      | 0.81                     |
| T1                | 3.50   | 0.08   | 1.11   | 0.41    | 1.05    | 45.80                     | 22.40                     | 78.90                     | 35.80                     | 106.38                   |
| T2                | 3.50   | 0.06   | 1.11   | 0.32    | 0.90    | 42.40                     | 37.20                     | 66.90                     | 29.00                     | 68.28                    |
| T3                | 2.63   | 0.07   | 1.18   | 0.44    | 0.96    | 49.50                     | 28.30                     | 67.70                     | 43.70                     | 85.29                    |
| T4                | 3.68   | 0.05   | 1.06   | 0.45    | 1.03    | 46.80                     | 39.30                     | 59.90                     | 48.10                     | 88.69                    |
| T5                | 4.03   | 0.06   | 1.20   | 0.38    | 0.73    | 42.30                     | 38.60                     | 65.30                     | 36.80                     | 77.81                    |

Trat<sup>a</sup> = Tratamientos y Ini<sup>a</sup> = Análisis inicial foliar

**Cuadro 21.** Nutrientes suministrados por SMS-P 1 por tratamiento en huerta 1

| Nutriente <sup>a</sup>          | T2 <sup>b</sup> | T3 <sup>b</sup> | T4 <sup>c</sup> | T5 <sup>c</sup> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Nitrógeno (g kg <sup>-1</sup> ) | 2,170           | 3255            | 1085            | 11627.5         |
| Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )   | 21              | 31.5            | 10.5            | 15.75           |
| Potasio (g kg <sup>-1</sup> )   | 755             | 1132.5          | 377.5           | 566.25          |
| Calcio (g kg <sup>-1</sup> )    | 136             | 204             | 68              | 102             |
| Magnesio (g kg <sup>-1</sup> )  | 142             | 213             | 71              | 106.5           |
| Hierro (g kg <sup>-1</sup> )    | 39.6            | 59.4            | 19.8            | 29.7            |
| Manganeso (g kg <sup>-1</sup> ) | 0.90            | 1.35            | 0.45            | 0.675           |
| Zinc (g kg <sup>-1</sup> )      | 4.6             | 2.9             | 2.3             | 3.45            |
| Cobre (g kg <sup>-1</sup> )     | 0.518           | 0.777           | 0.256           | 0.84            |
| Boro (g kg <sup>-1</sup> )      | 0.518           | 0.777           | 0.256           | 0.84            |

<sup>a</sup> Determinados en materia seca, <sup>b</sup> Cantidad de nutrientes aplicados en T2 (250 kg<sup>-1</sup> de SMS-P 1 fresco) y T3 (375 kg<sup>-1</sup> de SMS-P 1 fresco). <sup>c</sup> Cantidad de nutrientes aplicados en T4 (80 kg<sup>-1</sup> de SMS-P 1 fresco) y T5 (120 kg<sup>-1</sup> de SMS-P 1 fresco).

## b) Huerta 2

Se pueden observar aumentos el contenido de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, cobre y boro. Además de disminuciones de fósforo, manganeso y zinc. Se pueden observar aumentos el contenido de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, cobre y boro. Además de disminuciones de fósforo, manganeso y zinc. El contenido de nitrógeno se incrementó en los tratamientos T3 y T4, mientras que se mantuvo en T2. El fósforo se muestra un incremento en el T2 muestras que en el nivel T3 y T4 se mantuvo, el potasio se incrementó en todos los tratamientos, el

calcio se aumentó en T2 y T4, mientras que en T3 disminuyó, el magnesio se incrementó en todos los tratamientos.

El hierro se mantuvo en el T2 mientras que en el T3 y T4 disminuyó, el manganeso disminuyó en todos los tratamientos, el zinc se incrementó en el nivel T2 y T3 mientras que se observa una ligera disminución en el T4, el cobre se muestra como disminuyo en todos los tratamientos, mientras que el boro se incrementó en el T2, se mantuvo en el T3 y disminuyó en el T4.

Al final los sustratos residuales de seta (*Pleurotus ostreatus*) muestran altas reducciones en hemicelulosas y celulosa, bajas reducciones de lignina, correlación entre las fracciones de fibra con el contenido de nitrógeno, grasa y contenido de cenizas de los materiales iniciales (Koutrotsios *et al.*, 2014).

El acolchado propicia una mejor absorción de boro en las raíces del aguacatero en suelos deficientes, y puede ser una de las razones del aumento del tamaño de fruto del aguacate cv. *Hass* (Moore *et al.*, 1997). Tres elementos minerales son considerados como especialmente importante para un saludable y prolífico crecimiento de las raíces, a saber. Fósforo (P), calcio (Ca) y boro (B). Los tres han sido observado que su contenido aumenta bajo el acolchado (Stephenson y Schuster, 1945). Cuadro 22 muestra la concentración nutrimental foliar final de los tratamientos y el Cuadro 23 muestra el aporte mineral del acolchado al final de su mineralización.

**Cuadro 22.** Concentración nutrimental foliar final de tratamientos en huerta 2

| Trat <sup>a</sup> | N<br>% | P<br>% | K<br>% | Ca<br>% | Mg<br>% | Fe<br>mg/kg <sup>-1</sup> | Mn<br>mg/kg <sup>-1</sup> | Zn<br>mg/kg <sup>-1</sup> | Cu<br>mg/kg <sup>-1</sup> | B<br>mg/kg <sup>-1</sup> |
|-------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Ini <sup>a</sup>  | 2.59   | 0.1    | 0.99   | 0.02    | 0.25    | 231.9                     | 73.8                      | 238.0                     | 7.2                       | 4.29                     |
| T1                | 2.63   | 0.03   | 0.80   | 0.39    | 0.82    | 36.70                     | 60.60                     | 51.20                     | 10.70                     | 51.27                    |
| T2                | 2.63   | 0.04   | 0.88   | 0.43    | 0.83    | 35.50                     | 51.50                     | 54.10                     | 3.70                      | 76.45                    |
| T3                | 3.50   | 0.03   | 0.92   | 0.41    | 0.83    | 31.60                     | 56.10                     | 52.90                     | 4.70                      | 49.91                    |
| T4                | 3.15   | 0.03   | 0.89   | 0.42    | 0.88    | 29.10                     | 43.90                     | 49.90                     | 2.80                      | 45.15                    |

Trat<sup>a</sup> = Tratamientos y Ini <sup>a</sup> = Análisis inicial foliar.



**Cuadro 23.** Nutrientes suministrados por SMS-P 2 en huerta 2

| Nutriente <sup>a</sup>          | T2 <sup>b</sup> | T3 <sup>c</sup> | T4 <sup>d</sup> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Nitrógeno (g kg <sup>-1</sup> ) | 858             | 1,144           | 1,430           |
| Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )   | 15.6            | 20.8            | 26              |
| Potasio (g kg <sup>-1</sup> )   | 435             | 580             | 725             |
| Calcio (g kg <sup>-1</sup> )    | 39              | 52              | 65              |
| Magnesio (g kg <sup>-1</sup> )  | 76.6            | 102             | 127.5           |
| Hierro (g kg <sup>-1</sup> )    | 17.25           | 23              | 28.75           |
| Manganeso (g kg <sup>-1</sup> ) | 0.457           | 0.609           | 0.761           |
| Zinc (g kg <sup>-1</sup> )      | 0.893           | 1.190           | 1.487           |
| Cobre (g kg <sup>-1</sup> )     | 0.557           | 0.609           | 0.761           |
| Boro (g kg <sup>-1</sup> )      | 4.00            | 6.13            | 7.66            |

<sup>a</sup> Determinados en materia seca, <sup>b</sup> Cantidad de nutrientes aplicados en T2 (150 kg<sup>-1</sup> de SMS-P 2 fresco) y T3 (200 kg<sup>-1</sup> de SMS-P 2 fresco), <sup>c</sup> Cantidad de nutrientes aplicados en T4 (250 kg<sup>-1</sup> de SMS-P 2 fresco).

## 5.6 CONCLUSIONES

El acolchado orgánico de aguacate con sustrato gastado de setas estabiliza la temperatura de suelo, controla cuantitativa y cualitativamente a las arvenses, por lo que se reduce el estrés del árbol y se mejora la concentración foliar. El SMS-P es un material que se puede utilizar de manera exitosa en los cultivos agrícolas debido a su excelente composición química.

## 5.7 LITERATURA CITADA

- Blum U., L. D. King, T. M. Gerig, M. E. Lehman y A. D. Worsham 1997. Effects of clover and small grain cover crops and tillage technique on seedling emergence of some dicotyledonous weed species. *American Journal of Alternate Agriculture* 12(04): 146-161.
- Bilalis D., N. Sidiras, G. Economou y C. Vakali 2003. Effect of different levels of wheat straw soil surface coverage on weed flora in Vicia faba crops. *Journal of Agronomy and Crop Science* 189(4): 233-241.
- Bristow K., L. 1988. The role of mulch and its architecture in modifying soil temperature. *Soil Research* 26(2): 269-280.
- Bonilla N., F. M. Cazorla, M. Martínez, J. M. Hermoso y A. de Vicente 2012. Organic amendments and land management affect bacterial community

- composition, diversity and biomass in avocado crop soils. *Plant Soil* 1(357): 215-226.
- Ceja N., J., F. Rivera, L. Patiño Z., B. Govaerts y L. Dendooven 2010. Molecular characterization of soil bacterial communities in contrasting erotillage systems. *PlantSoil* 329(1):127–137.
- Costa J., L. da S., J. A. Menge y w. L. Casale. 1996. Investigations on some of the mechanism by which bioenhanced mulches can suppress *Phytophthora* root rot of avocado. *Microbiological Research* 1(151): 183-192.
- Danai O., H. Cohen, N. Ezov, N. Yehieli y D. Levanon. 2012. Recycling of spent mushroom substrate (SMS) in avocado orchards. *Agricultural Science and Technology* 2:1165-1170.
- Duppong L., M., M. Tejedor, F. Diaz y C. M. Rodríguez 2004. The effect of natural mulches on crop performance, weed suprpresion and biochemical constituents of Catnip and St. Jon´s.Wort. *Crop Science* 44:861.
- Economou G., O. Tzakou, A. Gani, A. Yannitsaros, y D. Bilalis 2002. Allelopathic effect of *Conyza albida* on *Avena sativa* and *Spirodela polyrhiza*. *Journal of Agronomy and Crop Science* 188(4): 248-253.
- Edwars L., J. R. Burney, G. Richter y A. H. MacRae 2000. Evaluation of compost and straw mulching on soil-loss characteristics in erosion plots of potatoes in Prince Edward Island, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Enviroment* 81: 217-222.
- Faber B., A., A. J. Downer y J. A. Mengue 2003. Effects of mulch on avocado and citrus. *Plant Path* 719-724 pp.
- Gyu K., H., S. H. Park, S. H. Kim, H. G. Park y W. M. Park 2005. Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species. *Folia Microbiological* 50(2): 103–106.
- Jodaugiene D., R. Pupaliene, M. Urboniene, V. Pranckientis y I. Pranckietiene 2006. The impact of different types of organic mulches on weed emergence. *Agronomy Research* 1(4): 197-201.
- Lopez R., P. Burgos, J. M. Hermoso, J. I. Hormaza y Jorge González. 2014. Long term changes in soil properties and enzyme activities after almond shell mulching in avocado organic production. *Soil and Tillage Research* 1(143): 155-163.
- Moore G., C., A. K. Cowan y B. N. Wolstenholme 1997. Mulching of avocado orchards to increase Hass yield and fruit size and boost financial rewards a three season summary of research findings. *South African Avocado Grow. Association Yearbook*20: 46–49.

- Nannipieri P., L. Giagnoni, G. Renella, E. Puglisi y S. Marinari 2012. Soil enzymology: classical and molecular approaches. *Biology Fertilized Soils* 48 (7):743–762.
- Oei, P. 2007. The alternative and uses of spent mushroom compost. ECO Consult Foundation, Tiel, The Netherlands; Fujian mushroom R&D Station.
- Phan C., W. y V. Sabaratnam 2012. Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 96(4): 863-873.
- Putnam A., R., J. De Frank y J. P. Barnes 1983. Exploitation of allelopathy for weed control in annual and perennial cropping systems. *Journal of Chemical Ecology* 9(8): 1001-1010.
- Rinker D., L. 2002. Handling and using “spent” mushroom substrate around the world. *Mushroom biology and mushroom products* 43-60.
- Saison, C., V. Degrange, R. Oliver, P. Millard y X. Le Roux 2006. Alteration and resilience of the soil microbial community following compost amendment: effects of compost level and compost-borne microbial community. *Environment Microbiology* 8(2):247–257.
- Sharma P., K. y C. L. Achraja 2000. Carry-over of residual soil moisture with mulching and conservation tillage practices for sowing of rainfed wheat (*Triticuma estivum*) in north-west India. *Soil Tillage Research* 57: 43-52.
- Siczek A., M. Frac 2012. Soil microbial activity as influenced by compaction and straw mulching. *International Agro physical* 26: 65–69.
- Turney, J. y J. Menge 1994. Root health: mulching to control root disease in avocado and citrus. *California Avocado Society Circular No.CAS-94/2*.
- Uzun, I. 2004. Use of spent mushroom compost in sustainable fruit production. *Journal of Fruit and Ornamental PlantResearch*12: 157-165.
- Wolstenholme B., N., C. Moore y S. D. Ansermino 1996. Some pros and cons of mulching avocado orchards. *South Africa Avocado Grow* 19: 87-91.
- Wallis P., R. J. Haynes, C. H. Hunter y C. D. Morris 2010. Effect of land use and management on soil bacterial biodiversity as measured by PCR-DGGE. *Applied Soil Ecology* 46(1):147–150.
- You M., P., K. Sivasithamparam y D. I. Kurtbke. 1996. Actinomycetes in organic mulch used in avocado plantations and their ability to suppress phytophthora cinnamomi. *Australia. Biology and Fertility of Soils* 22: 237-242.

## ANEXOS

### Anexo 1. Huerta 1 Huaquechula, Puebla



a)



b)

a) Huerta 1 Huaquechula estado de Puebla, b) Porte de planta de aguacate cultivar *Hass*.



**Anexo 2.**Huerta 2 Temascaltepec estado de México.



a)



b)

a) Huerta 2 Temascaltepec estado de México, b) Entrada al rancho “La labor” de la Fundación Salvador Colín Gutiérrez.

**Anexo 3. Sustrato residual poscultivo 1 (SMS-P 1)**



a)



b)

a) Macrocomposta de la empresa Setas “Niebla”, b) Sustrato residual poscultivo 1



**Anexo 4. Sustrato residual poscultivo 2 (SMS-P 2)**



**a)**



**b)**

a) Hongos “Camacho”, b) Sustrato residual poscultivo 2



## Anexo 5. Acolchado de huerta 1



a)



b)

b)

a) Acolchado de la Huerta 1 y b) Establecimiento de los tratamientos



## Anexo 6. Acolchado de huerta 2



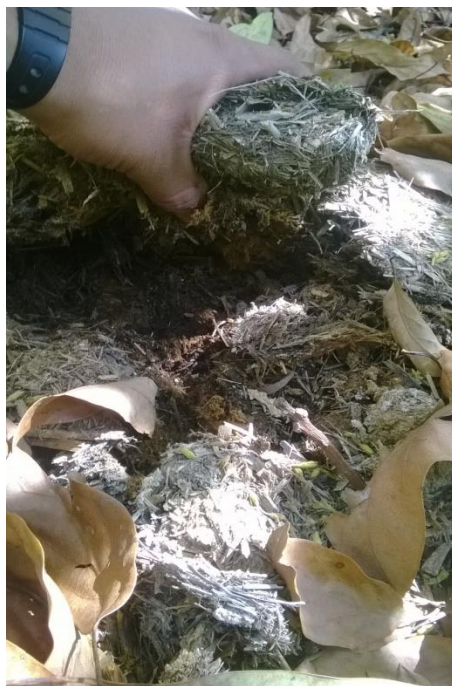
a)



b)

a) Acolchado de huerta 2 y b) Establecimiento de los tratamientos.

## Anexo 7. Medición de temperatura de suelo



a)



b)

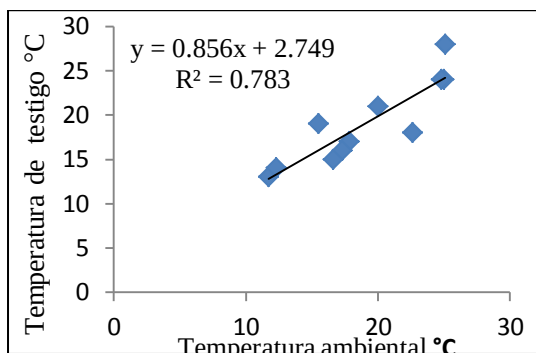
a) y b) Medición de temperatura.



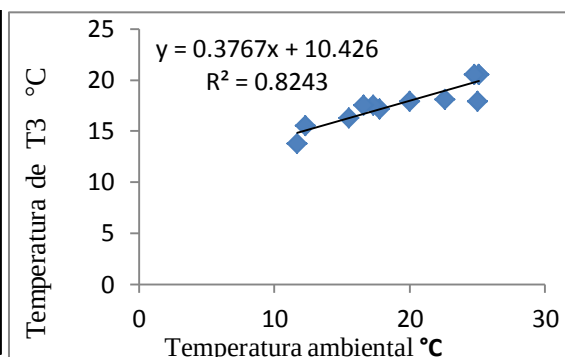
## Anexo 8. Control de arvenses



## Anexo 9. Temperatura ambiental, humedad ambiental y temperatura de suelo en huerta 1

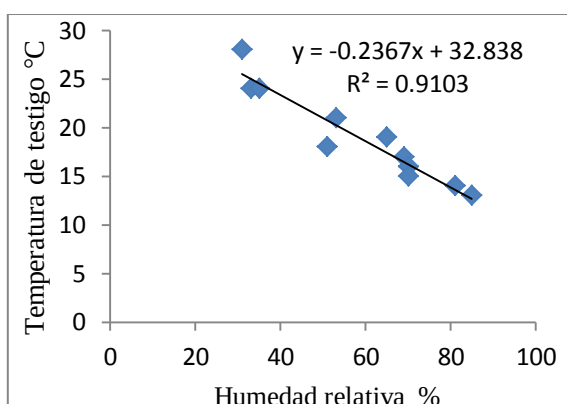


a)

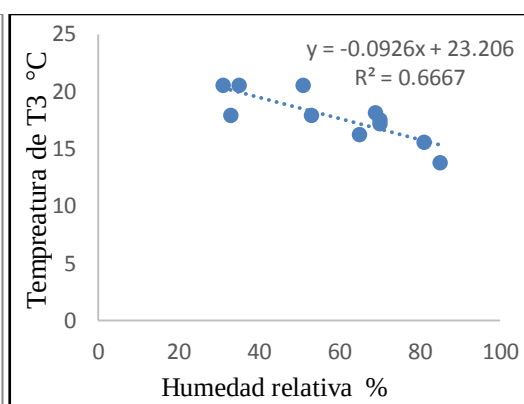


b)

a) Regresión lineal de temperatura ambiental y temperatura de suelo de testigo en primer muestreo y b) Regresión lineal de temperatura ambiental y temperatura de suelo de T3 en primer muestreo



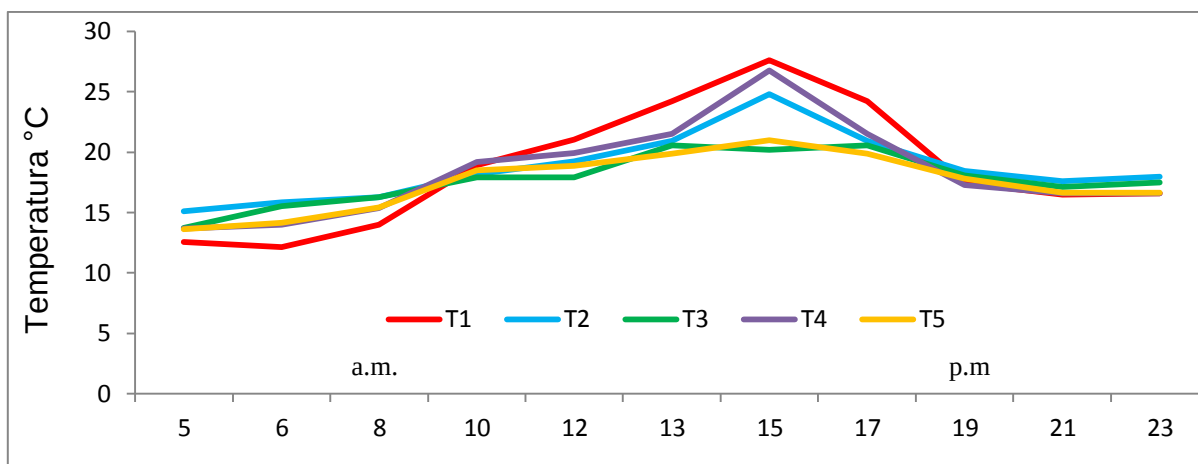
a)



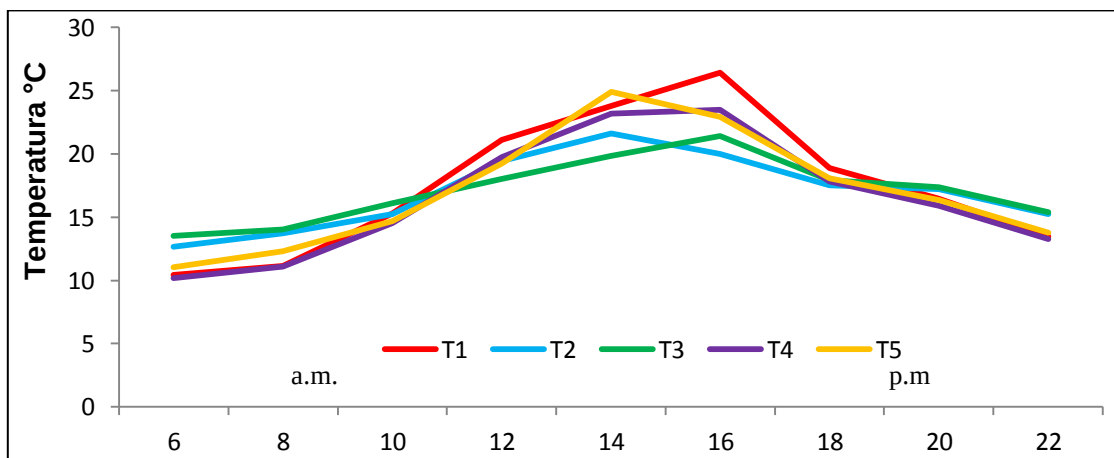
b)

a) Regresión lineal de humedad relativa ambiental y temperatura de suelo de testigo en primer muestreo y b) Regresión lineal de temperatura ambiental y temperatura de suelo de T3 en primer muestreo

## Anexo 10. Temperatura ambiental y temperatura de suelo en huerta 1

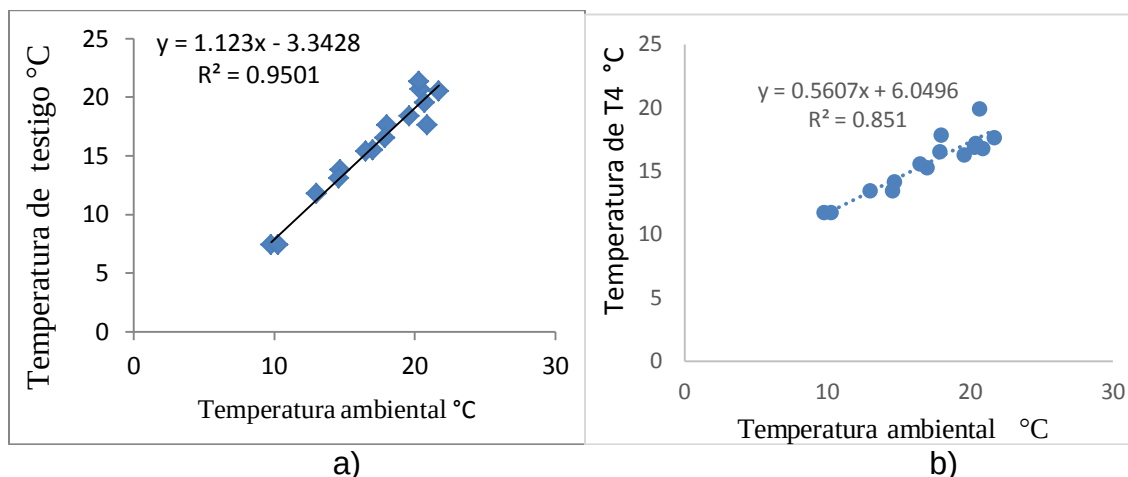


a) Comportamiento de humedad relativa, temperatura ambiental y temperatura de suelo en el primer muestreo.

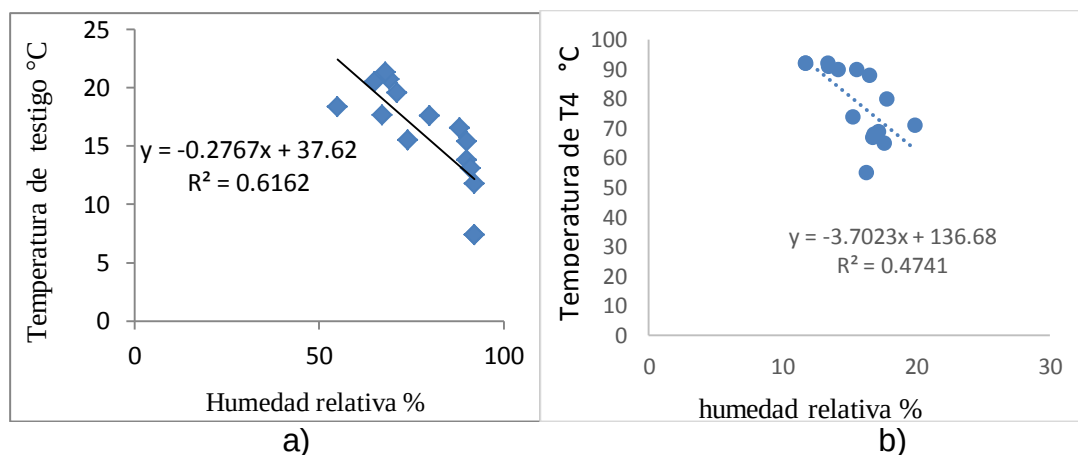


b) Comportamiento de la temperatura de suelo en los tratamientos segundo muestreo huerta 1, 9 de Febrero del 2015.

**Anexo 11.** Temperatura ambiental, humedad ambiental y temperatura de suelo en huerta 2



a) Regresión lineal de temperatura ambiental y temperatura de suelo de testigo en primer muestreo y b) Regresión lineal de temperatura ambiental y temperatura de suelo de T4 en primer muestreo



a) Regresión lineal de humedad ambiental y temperatura de suelo de testigo en primer muestreo y b) Regresión lineal de humedad relativa ambiental y temperatura de suelo de T3 en primer muestreo.

## Anexo 12. Temperatura de suelo en huerta 2

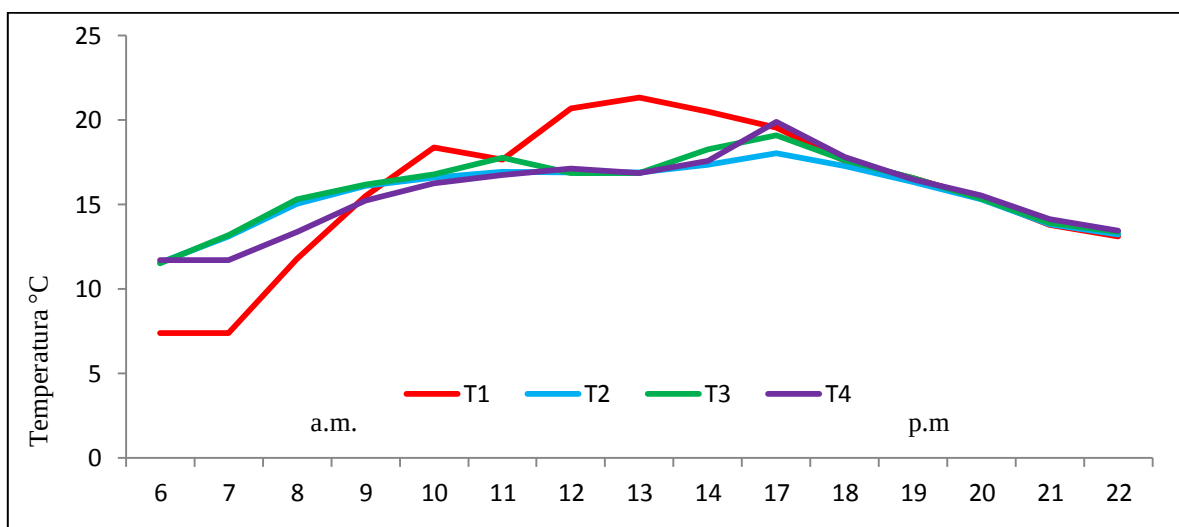


Figura 21 Comportamiento de los tratamientos



**Anexo 13.** Control de arvenses en huerta 1





**Anexo 14.** Control de arvenses en huerta 2

