



EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR

---

“Análisis comparativo de calidad suelo y productividad en dos sistemas de cultivo de tomate verde (*Physalis ixocarpa*) en Calakmul, Campeche”

Tesis

Presentada como requisito parcial para optar al grado de  
Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Presenta

Biol. Yuriko Pilar Cruz Koizumi

[ypcruz@ecosur.edu.mx](mailto:ypcruz@ecosur.edu.mx)

2015

## Dedicatoria

---

A mi Familia por todo el apoyo brindado desde lejos a Tere por ser la guía y ejemplo, a Toño por que no se puede tener mejor maestro... gracias por la vida y sus enseñanzas.

A Shi y al nuevo regalito que me dio estando en este viaje y a Kenjy por sus ocurrencias.

A los amigos de aquí y de allá, a los nuevos y a los viejos porque se sería de este mundo sin los amigos, gracias por estar presentes.

Y en especial a mis Abues a Tita y Teto que tanto extrañe durante esta estancia, pero que siempre estuvieron presentes, los quiero mucho.

## Agradecimientos

---

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por las becas otorgadas para la realización de los estudios de posgrado.

Al EL Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche y al Instituto de Ecología A.C. por las facilidades brindadas para los análisis en campo y laboratorio.

A la Comunidad El Chichonal y en especial a la Familia Arcos por el apoyo y la hospitalidad brindada en campo, a Don Pedro, Doña Mary por recibirme en su casa, a Pedro y Alex por ayudarme en los trabajos de la parcela, a Rigo y Ara por su compañía, a las chicas por incluirme en el equipo de futbol y a los niños del ejido y en especial a Shut (Liliana) y Nesho por las risas los juegos la compañía y las pláticas... wokol-awulú

A mi comité tutorial por los consejos, recomendación y revisiones en especial a mi tutor Dr. Armando Alayón y al Dr. Alejandro Morón por las lecciones y todo el apoyo brindado, por el refuerzo proporcionado antes, durante y al final del proyecto, al M. en C. Jorge Castellanos, al Dr. David Álvarez por sus atinados consejos y a todos los profesores que colaboraron conmigo.

A la Dra Ana Aguilar y al Dr. Roger Guevara por, la ayuda y el recibimiento en el INECOL, a Edith, Martin y el resto de los integrantes del laboratorio de Biología Evolutiva.

A los amigos y compañeros de este viaje por las anécdotas a Chepe, Moi, Jorge, María, Wilber, Juan, Moni, Tamy por las experiencias ganadas en la península y sus alrededores.

A mis amigos de siempre a mi compadre por hacernos incursionar lejos y seguir adelante, a Pech por estar ahí motivando y a Irais, Sam y Lalo porque a pesar de la distancia estamos juntos.

Y muy en especial a mi familia a Tere, a Toño a Shi, Kenjy que desde lejos y desde cerca me brindaron todo el apoyo cariño y por siempre creer en mí.

## Índice

---

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos .....	3
Capítulo 1. Introducción .....	5
1.1 Agroecología y agricultura orgánica.....	7
1.2 La producción de hortalizas en México .....	9
1.3 El tomate verde ( <i>Physalis ixocarpa</i> ).....	10
1.4 Cambios en el suelo agrícola .....	11
1.4.1 Cambios en los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el suelo .....	12
1.5 Producción agrícola en el sureste mexicano .....	14
Justificación.....	16
Hipótesis .....	17
Objetivos .....	17
Capítulo 2. Fertilización orgánica y de síntesis química sobre las propiedades del suelo, la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares y la producción de tomate verde ( <i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horn.) en Calakmul, México.....	18
Resumen.....	18
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	23
Ubicación y área de estudio.....	23
Elección y preparación del terreno.....	23
Preparación de fertilizante orgánico .....	25
Tratamientos y Diseño Experimental.....	26
Muestreo y análisis fisicoquímico del suelo.....	28
Muestreo y análisis de la interacción micorrízica .....	28
Muestreo y rendimiento de frutos.....	30
Evaluación de la producción .....	30
Análisis estadísticos .....	32
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	32
Características fisicoquímicas del suelo .....	32
Diversidad y colonización de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) .....	35
Rendimiento y desarrollo de frutos de tomate verde .....	41
Mortalidad, crecimiento y producción de biomasa .....	44
<b>CONCLUSIONES</b> .....	46
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	47
<b>REFERENCIAS</b> .....	47
Capítulo 3. Conclusiones.....	53
Aspectos éticos de la investigación .....	55
Referencias.....	56
Anexos.....	63
Resumen Curricular .....	64

## Capítulo 1. Introducción

---

Entre los mayores desafíos para garantizar a la población su seguridad alimentaria, un desarrollo rural y aprovechamiento sustentable de sus recursos, se encuentra la búsqueda de un balance entre los sistemas agrícolas, con los componentes naturales, las interacciones ecológicas y la dinámica funcional de los ecosistemas (Altieri, 2004; FAO, 2014).

El recurso suelo es clave para la producción de alimentos, ya que es el principal reservorio terrestre de nutrimentos. Es de vital importancia su manejo y conservación; con el fin de reducir las alteraciones de los ciclos de nutrimentos debidos al cambio de uso del suelo (Shiva, 1993; Crittenden *et al.*, 2015). Una de las opciones para la conservación y el manejo sustentable del suelo es la utilización de técnicas de producción agrícola amigables con el ambiente, especialmente en aquellas comunidades que se encuentran asentadas alrededor de las Áreas Naturales Protegidas (ANP's). Muchos de estos asentamientos suelen caracterizarse por altos niveles de pobreza, aislamiento y marginación donde su principal actividad económica es la agricultura (CONANP, 2009; Zamilpa, 2013).

La roza-tumba-quema (r-t-q), es uno de los sistemas de producción agropecuario que aún es vigente en la producción de alimentos en el medio rural del sureste mexicano, la rtq fue desarrollado desde tiempos prehispánicos (Hernández X., 1988; Boege y Carranza, 2007). Sin embargo, este sistema se ha transformado debido a las influencias del modelo de producción convencional, adoptado desde la década de los 70's con la "revolución verde", en el que se usan cada vez mayores cantidades de agroquímicos y ocasionalmente maquinaria agrícola (Altieri, 2004). El propósito de la producción convencional es obtener mayores rendimientos en diversos productos de

granos, hortalizas y forrajes, tales como el chile (*Capsicum* spp), chihua (*Cucurbita argyrosperma*), cacahuate (*Arachis hypogaea*), tomate verde (*Physalis ixocarpa*), además de los cultivos que dan sustento a las familias campesinas como el maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y calabaza (*Cucurbita pepo*), sin preocuparse por las complicaciones ambientales o sociales que puedan surgir a largo plazo (Méndez y Gliessman, 2002; Bedada *et al.*, 2014).

Entre las implicaciones ambientales resultantes de la agricultura convencional se encuentran el cambio de uso del suelo y el crecimiento de la frontera agrícola que impacta de manera negativa en la biodiversidad, desplaza o amenaza especies de plantas y animales, altera la composición vegetal de los ecosistemas, contamina el agua y el suelo, provoca desbalances en los ciclos biogeoquímicos, modifica las características fisicoquímicas del suelo, provoca erosión y desertificación, y en el largo plazo, este tipo de agricultura en el trópico no es viable (Arnhold *et al.*, 2014; Puech, *et al.*, 2014).

Por otro lado, si se logran identificar y fomentar las bases de procesos agroecológicos, las interacciones entre especies y su ambiente, la transformación y dinámica de los nutrientes por medio de los cuales se desarrolla una agricultura orgánica, es posible mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Los sistemas agroecológicos ayudan a la conservación de parte de la biodiversidad histórica, disminuyen la dependencia tecnológica y económica de los productores, además de aumentar la diversidad de cultivos y la resiliencia del sistema agrícola (Puech, *et al.*, 2014; Bender y van der Heijden, 2015).

Al evaluar un sistema de producción orgánica respecto al sistema convencional, en el cultivo de tomate verde en su impacto sobre la calidad del suelo y en su rendimiento

se aportará mayor información sobre los beneficios que podría tener este tipo de producción como una opción de manejo en zonas tropicales, cercanas a ANP's.

### **1.1 Agroecología y agricultura orgánica**

---

Para impulsar un desarrollo rural sustentable es necesaria la reconversión de la agricultura convencional, a través de una sustitución gradual de ésta por prácticas agroecológicas como la agricultura orgánica; definida como un sistema de producción y procesamiento de alimentos, productos y subproductos animales, vegetales y otros satisfactores, con uso regulado y restringido de insumos externos y en algunos casos prohibiendo la utilización de productos de síntesis química (Ley de productos orgánicos, 2006). Es de esta manera como la agroecología, integra las funciones ecológicas en la agricultura, con la participación de la población para la definición de su desarrollo, basada en los ecosistemas y en la participación comunitaria (Taylor, *et al.*, 2003; Zamilpa, 2013).

La importancia de la agricultura orgánica para México y otros países con economías emergentes, es que podría vincular a sectores pobres ubicados en el ámbito rural, también a grupos de productores indígenas y productores de escasos recursos que no cuentan con posibilidad de mantener paquetes tecnológicos agrícolas por sus altos costos (CONANP, 2009; Taylor, *et al.*, 2013).

Las principales características de la producción agrícola orgánica es la rotación de cultivos, la suspensión del uso de fertilizantes sintéticos, pesticidas y organismos genéticamente modificados, la reducción de la contaminación del aire, suelo, agua y optimización de la salud humana y la productividad de las comunidades (Seufert *et al.*, 2012; Arnhold *et al.*, 2014). También puede favorecer la permanencia de una alta

diversidad de flora y fauna local, procesos energéticos, biogeoquímicos, sucesionales e interacciones ecológicas, parecidos a los de los sistemas naturales cercanos donde se desarrolla la producción orgánica (Méndez y Gliessman, 2002).

Para que las prácticas orgánicas se reflejen en una producción de alimentos sustentable, es necesario optimizar el flujo de nutrientes y energía, reducir los riesgos económicos y ambientales, así como fomentar la conservación de la agrobiodiversidad, favorecer asociaciones simbióticas como las micorrizas o bacterias fijadoras de nitrógeno, aplicar abonos orgánicos y realizar un control biológico de plagas (Taylor *et al.*, 2003; Scialabba *et al.*, 2010; González-Esquivel *et al.*, 2015).

Diversas investigaciones (Williams y Hedlund, 2013; Knudsen *et al.*, 2014; Patil *et al.*, 2014) sugieren la conversión de sistemas agrícolas convencionales, a sistemas de producción orgánicos, como una opción para mitigar problemas ambientales derivados de la producción de alimentos, no obstante, sigue habiendo discusión sobre el cumplimiento de la demanda de mercados y sobre las posibles desventajas de los rendimientos obtenidos con la agricultura orgánica en comparación con la agricultura convencional. Al respecto, Seufert *et al.*, (2012); Patil *et al.*, (2014); y de Arnhold *et al.*, (2014), sugieren que las diferencias de rendimiento y producción van a estar en función del sistema de cultivo, tipo de cultivo y de las características del lugar. Los resultados encontrados fluctúan desde rendimientos bajos (leguminosas y cultivos perennes en suelos ácidos o no aptos para la agricultura), rendimientos medios (cuando se utilizan mejores prácticas orgánicas) y producciones iguales o superiores a sistemas convencionales (cuando los sistemas convencionales y orgánicos son comparables). En este sentido, Arnhold *et al.*, (2014) encontraron que existe un menor rendimiento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) orgánica en comparación con el sistema



convencional, debido al manejo que se le da al suelo. Sin embargo, menciona que incluso bajo técnicas de manejo orgánico podría existir pérdida de suelo por erosión. Mientras que Patil *et al.*, (2014) encontraron un aumento en el rendimiento promedio anual en los cultivos orgánicos de girasol (*Helianthus annuus*) y cacahuate (*Arachis hypogaea*) en comparación con la producción convencional, pero para el caso de maíz, algodón (*Gossypium herbaceum*), arroz (*Oryza sativa*) y cebolla (*Allium cepa*) ocurrió lo contrario, esto en función a la región, las demandas del mercado y al conocimiento tradicional de los campesinos.

## **1.2 La producción de hortalizas en México**

---

El incremento de la producción de hortalizas en México obedece a diversos factores socioeconómicos y políticos, que han modificado los patrones de consumo en el ámbito nacional y local. La creciente demanda de productos hortícolas bajo esquemas orgánicos ha aumentado considerablemente (Macías, 2009). Sin embargo, la incidencia de plagas en su cultivo ha sido consecuencia de prácticas convencionales de producción que incrementan la capacidad de reproducción, resistencia y distribución de estas plagas (García-Hernández *et al.*, 2009). Dentro de los cultivos hortícolas de fruto, uno de los más importantes en nuestro país es el tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horn) con aproximadamente 40,000 hectáreas sembradas a nivel nacional, solo superado por el cultivo de chile (*Capsicum* spp.) y jitomate (*Lycopersicon esculentum*) (Islas-Blancas, 2006).

### **1.3 El tomate verde (*Physalis ixocarpa*)**

---

El tomate se utiliza en México desde tiempos precolombinos. Se reportan más de 70 variedades en México y al menos 8 especies del género *Physalis* que se cultivan comercialmente en todas las entidades del territorio mexicano, su producción se destina al mercado nacional y a la exportación. La producción nacional es de alrededor de 700 mil toneladas anuales y su importancia deriva del alto contenido de minerales (calcio, hierro y fósforo) y vitaminas (tiamina, niacina y ácido ascórbico) así como folatos que son de gran importancia nutricional para el ser humano (Ibave-González, 2007).

Del tomate verde se utiliza, su raíz, tallo, hojas, fruto, y cáliz; con fines comestibles, medicinales, industriales, ornamentales, forrajeros o ceremoniales. Debido a su alta variabilidad se puede sembrar en casi todos los tipos de suelo y durante todo el año; sin embargo, es sensible a suelos con baja disponibilidad de N ya que se requieren al menos 3.8 kg de este elemento para producir una tonelada de fruto de tomate verde. Se ha observado que existe una respuesta positiva en la producción de fruto con la presencia de macronutrientes, como el Fósforo (P) y el Potasio (K) y de micronutrientes como el Zinc (Zn), Magnesio (Mg) y Manganeso (Mn) (Islas-Blancas, 2006; SAGARPA, 2013).

Durante su producción, los agricultores se enfrentan a los altos costos económicos derivados del sistema de riego, del uso intensivo de agroquímicos y en general en la comercialización (Islas-Blancas, 2006; Arteaga *et al.*, 2009). Otro factor que limita la producción de tomate verde es la incidencia y en algunos casos, la resistencia a diferentes plagas y enfermedades, como la pulga saltona (*Epitrix cucumeris*) o la enfermedad fúngica denominada “ojo de rana” (*Entyloma australe*) (Jiménez-Argüello, 2004). De hecho la mayoría de las enfermedades causadas por hongos y virus cada

vez adquirieren cada vez más importancia ante la constante exposición a químicos sintéticos usados para su control, ya que éste no se logra y se lo cual ha ocasiona pérdidas de hasta el 100% de la cosecha si no se controlan en tiempo y forma (Ibave-González, 2007).

#### **1.4 Cambios en el suelo agrícola**

---

El suelo, entendido como un sistema complejo, dinámico y diverso, es uno de los recursos fundamentales para la agricultura y la supervivencia del ser humano. Su manejo ha originado alteraciones en sus propiedades físicas y químicas, como en la textura, densidad aparente, pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y en general de los ciclos biogeoquímicos, afectando negativamente el rendimiento y la producción agrícola a largo plazo. También se han observado una disminución de la biodiversidad, principalmente por el cambio de uso de suelo y el uso excesivo de agroquímicos (Gyaneshwar *et al.*, 2002; Pava, 2011; Tian *et al.*, 2015). En este sentido, Dai *et al.*, (2014) al comparar campos de trigo con producción orgánica contra otros con producción convencional, encontraron que el manejo convencional reduce el pH del suelo y provoca la disminución de todos los nutrientes, excepto Azufre (S), Boro (B) y K. Mientras que el manejo orgánico aumentó la abundancia y porcentaje de colonización micorrízica, mejoró dos veces la eficiencia en la absorción de P y tres veces la del Nitrógeno (N) del suelo. Arnhold *et al.*, (2014) determinaron que con el manejo orgánico es posible reducir el riesgo de erosión del suelo. Siempre y cuando las técnicas de labranza sean mínimas, ya que si son continuas puede afectar los beneficios de la fertilización orgánica en la estructura y función del suelo disminuyendo

el contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y la estabilidad de los agregados (Crittenden *et al.*, 2015).

Una de las técnicas más utilizadas entre los productores orgánicos es la fertilización del suelo por composteo y la utilización de lombricomposta (González-Rosales *et al.*, 2012; López-Uribe, 2013). La lombricomposta es el producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica, mediante la crianza de lombrices de tierra, normalmente se utiliza la lombriz roja (*Lumbricus rubellus*) aunque también es común la utilización de otras especies.

La lombricomposta y los lixiviados que se producen del riego de esta, llamados comúnmente “humus de lombriz”, son utilizados como fertilizante, mejorador, recuperador o enmienda orgánica de suelos, inoculante microbiano y enraizador (Singh *et al.*, 2008). Los beneficios del uso de la lombricomposta y del humus de lombriz, en comparación con el uso de fertilizantes químicos, es que puede aumentar la producción de la cosecha; mejorando el desarrollo del fruto, la planta y la flor (Singh *et al.*, 2010), al mismo tiempo que ejerce un efecto positivo sobre la microbiota del suelo, entre ellos los hongos micorrizicos (Doan *et al.*, 2015).

#### **1.4.1 Cambios en los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) como bioindicadores en el suelo**

---

El desarrollo de bioindicadores para estimar la sustentabilidad de las prácticas agrícolas es un tema de estudio importante, que está siendo utilizado para describir o evaluar las condiciones ambientales o cambios en los sistemas de cultivo (Taylor *et al.*, 2013). Se utilizan diversos organismos e interacciones ecológicas que permiten medir el cambio en los sistemas agroecológicos (Taylor *et al.*, 2013). La medición de la

preferencia de hábitat, abundancias de especies clave o la diversidad funcional de los HMA, han sido evaluados como indicadores de sustentabilidad en agroecosistemas (Taylor *et al.*, 2013).

Los HMA se encuentran presentes en el suelo y forman asociaciones simbióticas con las raíces de la mayoría de las plantas. Favorecen la disponibilidad y asimilación de los nutrimentos, especialmente del fósforo, brindan tolerancia al estrés hídrico, a patógenos de la raíz, así como incrementan la producción de sustancias promotoras del crecimiento y biomasa de raíces, hojas, frutos y flores (Gutiérrez-Oliva *et al.*, 2009; Baum *et al.*, 2015). La formación de micelio extraradical, libera compuestos proteicos como la glomalina, una proteína fundamental para la formación y estabilidad de microagregados del suelo (Borie *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2014). Para determinar la diversidad, abundancia y viabilidad de estas micorrizas se pueden aplicar técnicas moleculares para su clasificación filogenética, aunque por lo regular la identificación se basa, principalmente, en las características morfológicas de las esporas presentes en el suelo (Moreira *et al.*, 2012).

La actividad fúngica y microbiana, las características de la micro y macro fauna y su diversidad son relevantes en la evaluación del suelo. Estos organismos realizan la biotransformación de los residuos orgánicos, un proceso imprescindible para la síntesis de sustancias húmicas y la mineralización de nutrimentos que se reincorporan al suelo y quedan disponibles a las plantas para su reutilización (Álvarez-Solís *et al.*, 2010; Hart y Forsythe, 2012).

Al respecto Dai *et al.*, (2014), determino que había diferencias en la composición de la comunidad de HMA presentes entre los sistemas convencionales y orgánicos de producción de trigo, siendo significativamente más alta en la producción orgánica. Una

mayor abundancia de micorrizas mejoró la humedad, la eficiencia de la absorción de P y de N del suelo y el balance de nutrimentos en las plantas en comparación con los sistemas convencionales. Cavender *et al.*, (2003) encontraron que incrementó la colonización de raíces por HMA con la incorporación de lombricomposta. Mientras que Mbutia *et al.*, (2015) determinaron que la producción orgánica favoreció la diversidad de HMA, ya que la riqueza y abundancia de especies fue significativamente más alta en la producción orgánica. No obstante a estos resultados, Schneider *et al.*, (2015) señalan que es de vital importancia tener en cuenta tanto el tipo de manejo, así como las características en el suelo y las diferencias del paisaje, como variables explicativas a la hora de expresar la diversidad en un sistema agroecológico.

### **1.5 Producción agrícola en el sureste mexicano**

---

El sistema de producción agrícola predominante en el sureste mexicano es la agricultura de roza-tumba-quema, la cual está basada en la rotación de campos de cultivo, alternando un ciclo corto de cultivo (1 a 3 años) y uno largo de descanso con vegetación secundaria en desarrollo (17 o más años) (Hernández X., 1988; Boege y Carranza, 2007). A este método se han incorporado prácticas adoptadas de la producción convencional donde se usan agroquímicos, fertilizantes sintéticos, semillas mejoradas, riego y maquinaria agrícola y organismos genéticamente modificados con el fin de obtener mayores beneficios económicos y rendimientos en diversos productos (Koohafkan *et al.*, 2012). Esta transformación ha afectado la prestación de servicios ecosistémicos que en su momento tuvieron los sistemas de r-t-q, incluyendo la regulación del clima, el suministro de agua e incluso la recuperación de los componentes y nutrimentos contenidos en el suelo (Shiva, 1993; Quinton *et al.*, 2010).

Como alternativa a ello están los sistemas agroecológicos para la producción agrícola, principalmente con el uso de compostas o lobricompostas, que puede ser una opción para mitigar los efectos de la agricultura convencional, sobre todo en áreas que rodean a las zonas de conservación, como ANP's.

Este es el caso de la Reserva de la Biosfera de Calakmul (RBC), ubicada en el municipio del mismo nombre y situada al sur de Campeche, en los límites con el país de Guatemala.

La RBC se ubica en una zona tropical con predominio de selva mediana subperennifolia, alternada con selva baja; es una región rica en diversidad biológica y social habitada por migrantes de otros estados del país y de diferentes etnias, entre las que predominan la Ch'ol, Maya Yucateca, Tzeltal, Kanjobal y Mam (Alayón-Gamboa, 2010; CNDI, 2010). La agricultura que se practica en esta región principalmente es de subsistencia. Sin embargo, se desarrollan cultivos de interés comercial donde se utilizan fertilizantes de síntesis química y maquinaria agrícola obteniendo pobres rendimientos por el manejo convencional y la baja fertilidad del suelo que ha estado sometido a un proceso constante de erosión (Boege y Carranza, 2007; Crittenden *et al.*, 2015).

Los cultivos comerciales representativos de la zona son el chile jalapeño y la calabaza. Sin embargo, otros cultivos como el tomate verde y el limón (*Citrus latifolia*) van teniendo un mayor interés de los productores por su valor comercial y fácil acceso al mercado regional. Alayón-Gamboa, (2010) reportó que el huerto familiar, donde se producen estos y otros cultivos ya sea para autoconsumo o venta, podría ocupar poco más de 48 mil hectáreas en Calakmul, obteniendo de ahí importantes beneficios económicos y nutrimentales para sus habitantes.

## **Justificación.**

---

La identificación y evaluación de diversos aspectos ecológicos que permitan medir la influencia de prácticas agrícolas de bajo impacto ambiental permitirá contar con elementos para proponer el desarrollo de una agricultura sustentable y que represente una opción ante el deterioro ambiental que ha ocasionado la agricultura convencional. La búsqueda de alternativas, como la agricultura orgánica, tiene repercusiones positivas sobre las características del suelo, las condiciones para cierta biodiversidad, menor dependencia tecnológica y económica de los agricultores, mayor diversidad de cultivos y mejor resiliencia del sistema agrícola campesino (Méndez y Gliessman, 2002; Puech *et al.*, 2014)

Al proponer la evaluación de la agricultura orgánica, al incorporar el uso de lombricomposta, se podrán entender diversos fenómenos que podrán mitigar los efectos negativos, antes señalados, de la agricultura convencional y ayudará a dilucidar dudas que aún existen en el conocimiento científico sobre su impacto en las interacciones ecológicas que ocurren en el suelo entre hongos y plantas; la diversidad de HMA, cambios en los nutrientes del suelo y en la producción de biomasa aérea y de raíces y el rendimiento del cultivo (Taylor *et al.*, 2013).

Lo anterior adquiere relevancia cuando su impacto se centra en áreas de amortiguamiento de reservas naturales donde se pretende fomentar prácticas agroecológicas compatibles con la conservación de los recursos biológicos, al mismo tiempo que se pretende lograr un desarrollo socioeconómico de las comunidades con bajo impacto ambiental, como es el caso de la RBC.



## **Hipótesis**

---

El manejo orgánico de tomate verde mejorará las características fisicoquímicas del suelo, la diversidad de micorrizas arbusculares y la calidad del cultivo, pero no influirá significativamente en el rendimiento y la producción obtenida con respecto al manejo convencional.

## **Objetivos**

---

### **General**

Evaluar el efecto de la fertilización orgánica y convencional sobre las características fisicoquímicas del suelo, así como la diversidad de micorrizas arbusculares y rendimiento y producción de tomate verde en Calakmul Campeche.

### **Particulares**

- Evaluar la influencia del manejo orgánico del tomate verde sobre las concentraciones de Fósforo extraíble (P-Olsen), porcentaje de materia orgánica (MO), pH, Nitrógeno total (N), Potasio intercambiable (K), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), textura y densidad aparente (DA) del suelo, en comparación con el manejo convencional.
- Evaluar la influencia de la producción orgánica de tomate verde sobre el porcentaje total de colonización micorrízica, el porcentaje de vesículas, de arbusculos, hifas, esporas y longitud de hifas presentes en las raíces de las plantas de tomate verde en comparación con el manejo convencional.
- Evaluar el rendimiento del manejo orgánico de tomate verde comparado con la producción obtenida con el manejo convencional mediante el número, peso y tamaño de los frutos.
- Evaluar la producción obtenida con el manejo orgánico comparado con el manejo convencional de tomate verde mediante el crecimiento, mortalidad y biomasa de las plantas.

**Capítulo 2. Fertilización orgánica y de síntesis química sobre las propiedades del suelo, la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares y la producción de tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horn.) en Calakmul, México**

---

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y DE SÍNTESIS QUÍMICA SOBRE EL SUELO, LOS HONGOS MICORRÍZICOS, Y PRODUCCIÓN DE TOMATE VERDE**

Yuriko Pilar **Cruz-Koizumi**<sup>1,\*</sup>, José Armando **Alayón-Gamboa**<sup>1</sup>, Alejandro **Morón-Ríos**<sup>1</sup>, Jorge **Castellanos-Albores**<sup>1</sup>, David **Álvarez-Solís**<sup>2</sup>, Ana **Aguilar-Chama**<sup>3</sup>, Roger **Guevara**<sup>3</sup>

**RESUMEN**

La agricultura orgánica se ha planteado como alternativa a la agricultura que usa agroquímicos ya que esta última impacta negativamente la salud de los ecosistemas. Sin embargo, se cuestionan los rendimientos obtenidos con la fertilización orgánica. El objetivo de este estudio fue evaluar la fertilización orgánica como alternativa a la fertilización de síntesis química en el cultivo de tomate verde (*Physalis ixocarpa*). Mediante cuatro tratamientos experimentales: a) Control, (sin fertilización, SF); b) Aplicación de lombricomposta (TOL); c) TOL adicionado con lixiviado de lombricomposta (TOH); y d) Aplicación de fertilizante de síntesis química (TSQ). Se utilizaron parcelas experimentales de 5 x 5 m en condiciones de campo, bajo un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones por tratamiento. Se determinó la tasa de crecimiento relativa (TCR) y se tomaron muestras de suelo para su análisis químico, se obtuvieron muestras de raíces y de suelo para cuantificar la colonización y diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Adicionalmente, se midió y pesó la producción de frutos y la biomasa aérea y de raíces. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la producción de biomasa, el rendimiento

de frutos y las características fisicoquímicas del suelo. El tratamiento TSQ tuvo un menor número de HMA. Mientras que los tratamientos orgánicos (TOL, TOH) favorecieron la diversidad de HMA y estructuras micorrízicas, incluyendo especies únicas asociadas a los tratamientos. Se observó un incremento significativo en la TCR con el tratamiento TOL. Concluyendo que la fertilización orgánica con lombricomposta para el tomate verde permite obtener rendimientos similares que los alcanzados con la fertilización de síntesis química, promueve un rápido crecimiento de las plantas y mejores condiciones en el suelo, al favorecer mayor diversidad de HMA, por lo que podría considerarse una alternativa en zonas agrícolas de la Reserva de la Biósfera Calakmul.

**Palabras Clave:** agricultura orgánica, fertilización química, diversidad, sustentabilidad, lombricomposta, *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horn.

## INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos en la agricultura convencional, que ocupa grandes cantidades de insumos de síntesis química para sostener la producción, ha ocasionado un fuerte impacto sobre la salud de los ecosistemas y comprometido la economía de los productores por los altos costos y la dependencia de los insumos utilizados. Una opción para mitigar los problemas ambientales derivados de la producción de alimentos es la reconversión de sistemas agrícolas convencionales a sistemas de producción basados en principios ecológicos como la agricultura orgánica (Te Pas y Rees, 2014). A pesar de los beneficios demostrados con la agricultura orgánica, persiste la discusión sobre sus desventajas en la obtención de un mayor rendimiento al compararse con la producción obtenida de los sistemas convencionales (Seufert, *et al.*, 2012). Resultados de

investigaciones como las de Patil *et al.* (2012), Arnhold *et al.* (2014) y Te Pas y Rees (2014) sugieren que el efecto de la fertilización orgánica sobre el rendimiento y la producción de alimentos son altamente contextuales, éstas dependen del sistema y tipo de cultivo, del conocimiento tradicional de los agricultores y de las características ambientales donde se realizan los cultivos.

Un aspecto clave en esta diversidad de respuestas observadas es la calidad de suelo donde se establece el cultivo (Khan *et al.*, 2015). La conservación del suelo mediante un buen manejo evita la pérdida de nutrimentos, reduce la erosión (Quinton *et al.*, 2010) y conserva sus cualidades fisicoquímicas y biológicas (Crittenden *et al.*, 2015). Cuando se aplican fertilizantes orgánicos a los cultivos se favorecen estas características en el suelo y ocurren interacciones mutualistas, aumentando la colonización de las raíces y la presencia de estructuras micorrízicas en la raíz y en el suelo, también se incrementa su abundancia y diversidad en comparación con sistemas agrícolas convencionales (Meyer *et al.*, 2015). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) favorecen la disponibilidad de nutrimentos, principalmente del Fósforo (P) y el Nitrógeno (N) y proveen protección contra patógenos, dependiendo de la diversidad de los *taxa* que se encuentran en el sistema agrícola (Dai *et al.*, 2014). Verbruggen *et al.*, (2010) observaron que parcelas fertilizadas con compostas presentaron una mayor riqueza de especies principalmente de los géneros *Glomus* y *Acaulospora*, sin importar el tipo de cultivo. Esta riqueza difirió de la encontrada con fertilización química.

Una de las prácticas agrícolas de manejo orgánico más utilizada es la fertilización del suelo con composta y lombricomposta (González-Rosales *et al.*, 2012; Doan *et al.*, 2015). La lombricomposta, por su alto contenido de materia orgánica, macro y micro nutrimentos y una mayor actividad bacteriana y fúngica (Singh *et al.*, 2010; Mbutia *et*

*al.*, 2015), favorece el crecimiento, calidad y rendimiento de hojas, frutos y granos (Singh *et al.*, 2008; Doan *et al.*, 2015). Además, promueve el desarrollo de raíces finas, lo que facilita una mejor absorción de nutrientes, mayor área de contacto para la colonización, abundancia y diversidad de micorrizas (Cavender *et al.*, 2003; Meyer *et al.*, 2015), principalmente de los géneros *Glomus*, *Acaulospora* y *Claroideoglomus* (Dai *et al.*, 2014; Qin *et al.*, 2015).

Los HMA presentes en las raíces de las plantas cultivadas tienen múltiples funciones, mejoran la calidad fisicoquímica del suelo, promueven la estabilización de micro agregados, la movilización y transformación de nutrientes (Palm *et al.*, 2013). También favorecen las interacciones microbianas y de la biota en la rizósfera lo que mejora la calidad biológica del suelo (Cardoso y Kuyper, 2006). Estas relaciones se alteran con el empleo de técnicas de labranza del suelo bajo sistemas de agricultura convencionales que ocupan altas cantidades de fungicidas, insecticidas y fertilizantes de síntesis química (Mbutia *et al.*, 2015; Qin *et al.*, 2015) al cambiar la composición de la comunidad edáfica y favorecer el desarrollo de especies de HMA principalmente del género *Glomus*, descartándose especies más eficientes y favorecer especies menos eficientes o bien más demandantes de carbono del hospedero lo cual afectaría en general, el desarrollo de la planta incluyendo el rendimiento en los cultivos (Dai *et al.*, 2014; Qin *et al.*, 2015). Lo anterior es particularmente sensible en la agricultura que se practica en áreas de amortiguamiento de áreas naturales protegidas (ANP's) en México; donde la agricultura constituye una de las actividades económicas principales que soporta y brinda seguridad alimentaria a las familias de los agricultores que viven aledañas a estas áreas (Koochafkan *et al.*, 2012).

En México, uno de los cultivos agrícolas de interés comercial es el tomate verde (*Physalis ixocarpa*), debido a su alta demanda en la industria alimentaria y su potencial dentro de la industria nutracéutica (CONACyT, 2015). Este cultivo se puede sembrar en diferentes tipos de suelo y responde positivamente en su producción con la aplicación de macronutrientes como P y Potasio (K), y de micronutrientes como Zinc (Zn), Magnesio (Mg) y Manganeso (Mn). Sin embargo, es sensible a suelos con poco N disponible (Islas-Blancas, 2006; Arteaga *et al.*, 2009). Se produce de forma convencional en la mayor parte del territorio mexicano, con la utilización de altas dosis de fertilizantes de síntesis química (Islas-Blancas., 2006) o mediante la utilización de maquinaria e insumos agrícolas (Arteaga *et al.*, 2009). Esto provoca que los costos de producción aumenten, ocasionando que no sea rentable para productores de escasos recursos económicos. Para hacer frente a estos elevados costos de producción se han estudiado la aplicación de diferentes dosis de fertilizantes de síntesis química para obtener un mayor rendimiento (Pérez-Moreno y Granados-Aviles, 2001) pero poco se ha indagado sobre la influencia que ejercen los abonos orgánicos, como la lombricomposta, sobre los cambios en el suelo y los rendimientos que son posibles obtener en el cultivo de tomate verde.

Nuestro estudio evalúa el efecto que tiene la fertilización orgánica, respecto a la agricultura convencional, sobre los cambios en las características fisicoquímicas del suelo, en la diversidad, riqueza y colonización de HMA, y en el rendimiento y producción de tomate verde en Calakmul, Campeche. Teniendo como hipótesis que la fertilización con lombricomposta y uso de lixiviados de lombriz (“humus”) influirá positivamente sobre las características fisicoquímicas del suelo, la diversidad de HMA y la calidad del producto obtenido del cultivo, sin afectar el rendimiento y la producción

obtenida con respecto a la agricultura convencional en zonas cercanas a ANP's, como lo es la Reserva de la Biosfera Calakmul.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Ubicación y área de estudio**

El estudio se realizó en el ciclo agrícola de invierno del período 2014-2015, en la comunidad El Chichonal, a 18°30'52" latitud N, 89°31'24" longitud O. La comunidad se ubica dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera de Calakmul (RBC) patrimonio mixto de la humanidad, en el municipio de Calakmul, Campeche.

En la región predomina la vegetación de la Selva Mediana Subperennifolia y Selva Baja Subperennifolia (INE, 1999). Alrededor de la reserva, se encuentran distribuidas más de 100 comunidades ejidales, todas migrantes de diferentes regiones de México y que conforman un mosaico étnico con 16 lenguas presentes en el territorio (Alayón-Gamboa, 2010). La topografía del terreno es plana y se encuentra a una altitud de 250 msnm. En el área predomina un clima cálido subhúmedo, con temperatura media anual de 25 °C y precipitación anual de 500 a 2,500 mm. Existen dos épocas marcadas, la época de lluvia y la época seca. El material parental de los suelos es roca caliza, muy pobre en Hierro (Fe), Sílice, Aluminio (Al), Fósforo (P) y micronutrientes (Zinc; Zn y Cobre; Cu). El pH del suelo es alcalino con alto contenido de materia orgánica (INE, 1999).

### **Elección y preparación del terreno**

Se eligió una parcela agrícola ubicada a 2 km del poblado de El Chichonal, en los terrenos de un productor que conoce y practica técnicas agrícolas orgánicas en su parcela desde hace más de 8 años. El agricultor y su familia son originarios del estado

de Chiapas, en donde se capacitó para la producción orgánica de café (*Coffea arabica* L.). Estos conocimientos los ha incorporado para el cultivo agrícola de su sistema roza-quema sin tumba, de nuevas áreas forestales para la agricultura, permitiéndole intensificar el uso del suelo mediante sistemas rotativos de cultivo (Morón-Ríos y Alayón-Gamboa, 2014). Los criterios para elegir el terreno de cultivo fueron que el productor utilizara solo técnicas orgánicas y que el terreno presentara una pendiente homogénea (Morón-Ríos y Alayón-Gamboa, 2014). Antes del cultivo de tomate verde, el suelo se sometió a un manejo de fertilización orgánica para el cultivo de maíz (*Zea mays*). Posterior al cultivo de maíz (*Z. mays*) el terreno se sometió a limpieza y deshierbe manual y se instaló un sistema de riego por goteo, con el uso de un poliducto de dos pulgadas que se conectó a un estanque para captar agua de lluvia. La superficie utilizada para el cultivo cubrió un área de 2,400 m<sup>2</sup>.

El tomate verde se sembró en Enero y se cosecho en Abril de 2015. La preparación del terreno y la siembra se realizaron de acuerdo a las técnicas utilizadas por el productor. Se limpió la parcela de forma manual, cortando la vegetación con machete y se delimitaron las unidades experimentales. Se establecieron 20 parcelas experimentales de 5 X 5 m, con cinco repeticiones por tratamiento. Cada parcela experimental consistió de una superficie de 25 m<sup>2</sup> y entre parcelas experimentales se dejaron callejones de separación de 2 m. Para evitar un posible efecto del tratamiento contiguo, se cavó una zanja de 20 cm de profundidad, alrededor de las unidades experimentales. Para el mantenimiento y cuidado del cultivo se siguieron las recomendaciones del manual de cultivo de tomate verde del Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP) (Gûemes-Guillen, *et al.*, 2001).



Durante la preparación del terreno se obtuvieron dos muestras compuestas de suelo para su análisis químico y caracterización, formadas a partir de una muestra de cada parcela experimental, tomada a una profundidad de 15 cm. Las muestras de suelo fueron enviadas al laboratorio para su análisis fisicoquímico; se determinó el porcentaje de materia orgánica (MO; Walkley y Black), pH (agua 2:1), N total (micro-Kjeldahl), P extraíble (Olsen), Potasio (K; acetato de amonio 1N, pH 7), conductividad eléctrica (CE; relación 1:5 con H<sub>2</sub>O), capacidad de intercambio catiónico (CIC; acetato de amonio 1N, pH 7), textura (porcentaje de arcillas, arenas y limos; densímetro de Boucoucos ) y densidad aparente (DA) (Salgado-García *et al.*, 2006; Moreira *et al.*, 2012).

Para el control de las plagas, las parcelas bajo cultivo orgánico se sometieron a tratamiento con Bacillum® 125 mL ha<sup>-1</sup>. Mientras que en el cultivo convencional, las plagas se controlaron con el uso de Falvus® 30 g ha<sup>-1</sup>. Al tratamiento control no se le agregó ninguna sustancia para el control de plagas. El método de deshierbe fue manual para todos los tratamientos.

### **Preparación de fertilizante orgánico**

El fertilizante orgánico se obtuvo por lombricomposta. Para la obtención de la composta inicial se utilizó material vegetal compuesto por rastrojo de maíz (*Z. mays*) 40%, pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) 40%, y hojas y tallos tiernos de Árnica (*Thitonia diversifolia*) 20%. Estos materiales se pesaron con una báscula (marca Torrey modelo MFQ-40) y se trituraron con un molino de martillos (marca Kottler 2500 rpm y 14 Hp); posteriormente se mezcló en proporción 1:1 con estiércol seco de borrego (*Ovis aries*). Esta mezcla se procesó durante un mes en una cama de concreto, humedeciendo y mezclando periódicamente. Una vez que el proceso de compostaje se

estabilizo, se inoculó con 3 kg de lombriz roja (*Lumbricus rubellus*) y se mantuvo 35 días para la formación de lombricomposta. Además se obtuvo lixiviados provenientes de escurrimientos de la lombricomposta que se captaron en un tanque de 200 litros para obtener un fertilizante líquido; “humus”. Concluido el proceso se obtuvo una muestra de la lombricomposta y del “humus” para su análisis químico (Cuadro 1).

**Cuadro1. Análisis químico de los componentes y fertilizantes orgánicos utilizados en los tratamientos evaluados.**

	CE	pH	MO	N	P	K
Rastrojo de maíz	-	-	65.69	0.38	16.22	21.60
<i>P. purpureum</i>	-	-	67.72	0.22	5.83	24.20
<i>T. diversifolia</i>	-	-	72.96	-	-	-
Estiércol de borrego	-	-	48.50	0.50	0.54	1.15
Lombricomposta	-	-	36.59	0.40	18.82	26.80
Humus	13.63	8.80	--	---	20.80*	254.60*

CE= Conductividad eléctrica (ds m), MO= Materia orgánica (%), N= Nitrógeno total (%), P= Fosforo (Cmol kg), K= Potasio (Cmol kg) \*Las unidades utilizadas son mg L

### Tratamientos y Diseño Experimental

Se utilizó semilla comercial marca Westar de tomate verde (variedad “Rendidora”, 90% de germinación). La semilla se sembró de forma directa al suelo a una distancia de 100 cm entre hileras y 50 cm dentro de hileras. Posterior a la siembra se seleccionaron las mejores plantas y se eliminaron plantas con menor desarrollo, dejando entre 3 y 5 plantas por poceta, cada parcela constó de 50 pocetas. Los tratamientos se aplicaron 30 días después de la germinación de las plantas dentro de cada unidad experimental. Los tratamientos evaluados fueron: a) Control, sin aplicación de fertilizante (SF); b) Aplicación de 13 000 kg ha<sup>-1</sup> de abono orgánico (lombricomposta)

equivalente a  $160 \text{ kg N ha}^{-1}$  (TOL); c) Aplicación de lombricomposta (TOL) adicionada con lixiviados (“humus”) a razón de  $20 \text{ L ha}^{-1}$  (TOH) y d) Aplicación de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de fertilizante de síntesis química N-P (convencional) a razón de  $160 \text{ kg N ha}^{-1}$  (TSQ).

Las variables fisicoquímicas y biológicas del suelo se analizaron con un diseño completamente aleatorizado, en un Modelo Lineal General (Gómez y Gómez, 1983).

Las variables fisicoquímicas analizadas en el suelo fueron materia orgánica (MO), pH, Fósforo extraíble (P), Nitrógeno total (N), Potasio (K), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), textura y densidad aparente (DA). Las características biológicas del suelo analizadas fueron el número de esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), la diversidad de especies de HMA presentes en el suelo, el porcentaje de colonización total, el porcentaje de hifas, el porcentaje de vesículas, el porcentaje de arbusculos, y la longitud de hifa de HMA en raíces.

Las variables de rendimiento y producción del cultivo se analizaron con un diseño de bloques completos aleatorizados, considerando la pendiente del terreno como criterio para establecer los bloques, en un Modelo Lineal General (Gómez y Gómez, 1983).

Las variables de respuesta para evaluar el rendimiento del cultivo fueron el número total de frutos, el número y peso de frutos maduros, diámetro ecuatorial y polar del fruto maduro, y el tamaño del fruto. Para las variables de producción se utilizó el porcentaje de mortalidad, la altura de las plantas, la tasa de crecimiento relativo (TCR), el peso de la biomasa aérea y el peso de la biomasa de raíz.

Para la evaluación de la biomasa, la altura, la TCR y el porcentaje de mortalidad se utilizaron todas las plantas de cada parcela, mientras que la evaluación del tamaño del fruto, el diámetro ecuatorial y polar del fruto, el número total de frutos y el peso de

frutos maduros, se efectuó con las plantas dominantes (plantas de mayor altura y mejor follaje) de la línea central de cada parcela.

### **Muestreo y análisis fisicoquímico del suelo**

El suelo de las parcelas experimentales se muestreo a los 50 días después de aplicados los tratamientos. Se realizaron muestreos aleatorios representativos (95% de intervalo de confianza) para cada tratamiento. Obteniendo cuatro muestras de suelo a una profundidad de 15 cm y a 20 cm de distancia de las plantas. El suelo se limpió con una criba de 5 mm, se secó a temperatura ambiente bajo sombra y se envió al laboratorio para la determinación de P extraíble (Olsen), porcentaje de MO (Walkley y Black), pH (agua en relación 2:1), N total (micro-Kjeldahl), K (acetato de amonio 1N, pH 7), CE (relación 1:5 con H<sub>2</sub>O), CIC (acetato de amonio 1N, pH 7), textura (porcentaje de arcillas, arenas y limos; densímetro de Bouyoucos) y DA (probeta). Los análisis se realizaron mediante los procedimientos recomendados por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Salgado-García *et al.*, 2006; Moreira *et al.*, 2012).

### **Muestreo y análisis de la interacción micorrícica**

Para la identificación y análisis morfológico de los HMA se obtuvieron 17 muestras de suelo colectadas aleatoriamente (95% de intervalo de confianza) entre las parcelas experimentales (n=4, SF; n=5, TOH; n=5, TOL y n=3, TSQ) siguiendo los procedimientos descritos por Moreira *et al.* (2012). La cuantificación de las esporas y la diversidad de especies se realizó con una muestra de 100 g de suelo obtenida a 20 cm de la base del tallo de cada planta, a una profundidad de 15 cm. La muestra se limpió con un tamiz, se secó a la sombra y se almacenó en bolsas plásticas bajo refrigeración

a 4 °C hasta su análisis. Junto con las muestras de suelo se obtuvieron muestras de las raíces finas de dos plantas ubicadas en el centro de cada parcela experimental. Las muestras de raíces finas se colocaron en frascos de 100 mL con una solución de ácido acético comercial al 5% sin diluir y se refrigeró a 4 °C hasta su análisis en laboratorio.

En el laboratorio se extrajo y contabilizó las esporas de acuerdo a lo sugerido por Moreira *et al.* (2012). Se utilizaron muestras de 100 g de suelo seco para la obtención de las esporas de HMA por el método de tamizado y decantación en húmedo, con centrifugación en sacarosa. Se separaron las esporas con ayuda de una aguja de disección y bajo microscopio estereoscópico (Marca Nikon Modelo SMZ800). La determinación taxonómica se realizó por observación de características de coloración, forma y tamaño de las esporas un microscopio de luz transmitida (100 x) (Marca Nikon Eclipse modelo E600). Cada muestra se tiñó con reactivo de Melzer en caso de requerirse. Las esporas se montaron en preparaciones fijas usando alcohol polivinílico y se cotejó con las claves propuestas por Moreira *et al.* (2012) y The International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi – INVAM (<http://invam.caf.wvu.edu>). La riqueza de especies se determinó con el número de especies encontradas por tratamiento y se determinaron especies únicas y especies compartidas por tratamiento.

El porcentaje de colonización por HMA presentes en las raíces finas se determinó mediante el método de tinción siguiendo los procedimientos descritos por Moreira *et al.* (2012). El porcentaje total de colonización se determinó en 15 segmentos de raíces finas con un microscopio de luz transmitida (10x) (Marca Nikon Eclipse modelo E600) empleando tres campos visuales equidistantes sobre cada segmento y se registró la presencia o ausencia de estructuras micorrízicas como hifas, vesículas, arbusculos y

esporas, así mismo se midió la longitud de las hifas mediante una cuadrícula de 1 cm<sup>2</sup> de acuerdo a los procedimientos descritos por Vega-Frutis y Guevara (2009).

### **Muestreo y rendimiento de frutos**

El rendimiento del cultivo se registró cuando la mayoría de los frutos maduró a los 73 días después de la siembra. En cada parcela experimental se contabilizaron y pesaron los frutos de 10 plantas, una por poceta, ubicadas en la línea central de cada tratamiento. Para cada planta se cuantificó el número total de frutos y se registró el número de frutos maduros y el peso con una báscula electrónica (marca Torrey modelo MFQ-40). Adicionalmente, se obtuvieron 5 muestras por tratamiento para determinar su contenido de materia seca, mediante secado en estufa de aire forzado. También a cada fruto se le midió el diámetro ecuatorial y polar con un vernier metálico con graduación milimétrica. El tamaño del fruto se calculó por medio de la fórmula

$$V=4/3(\pi*A*2B)$$

Donde A corresponde al radio polar (Alto), B corresponde al radio ecuatorial (Ancho y Profundidad) (Izadi *et al.*, 2014).

### **Evaluación de la producción**

La sobrevivencia de las plantas se determinó con base en el porcentaje de plantas que murieron a lo largo del período de cultivo, con respecto al total de plantas que germinaron al inicio del estudio. El crecimiento de las plantas se midió con una cinta métrica colocada desde la base del suelo hasta la rama más alta de cada planta. El registro del crecimiento se realizó al momento de aplicar los tratamientos

experimentales y posteriormente a los 73 días, antes de la cosecha. La tasa de crecimiento relativo (TCR) se calculó de acuerdo a lo siguiente:

$$\text{TCR} = (\ln A2 - \ln A1) / (t2 - t1)$$

Siendo A2 y A1 la altura de la planta en los tiempos 2 y 1 (T2= Al Final de la cosecha y T1 en la aplicación de los tratamientos, respectivamente) y TCR la tasa de crecimiento relativo (Villar *et al.*, 2004; Torres-Degró, 2011).

También se registró la biomasa aérea y de raíces a través de la cosecha total de las plantas. Para determinar la biomasa aérea se consideraron: tallos, hojas, flores y frutos inmaduros, mientras que para la biomasa de raíces se consideró a las raíces finas y de sostén. La biomasa aérea se obtuvo posterior a la cosecha de los frutos y se registró el peso fresco con una báscula digital (marca Torrey Mod. MFQ-40); y se tomaron 5 muestras por tratamiento de biomasa para determinar su peso seco mediante secado en una estufa de aire forzado. La biomasa de las raíces se obtuvo a partir de la extracción de cubos de suelo de 20 X 20 cm y 10 cm de profundidad, partiendo de la base del tallo. Previo a la extracción del suelo se eliminó el contenido de biomasa muerta y viva depositada sobre la superficie del suelo. El peso fresco de las raíces se registró en una balanza digital (marca Torrey modelo MFQ-40) y posteriormente se tomaron 5 muestras por tratamiento que se sometieron a secado en una estufa, hasta alcanzar peso constante, para determinar la producción de biomasa seca de raíz.

## **Análisis estadísticos**

Los datos de las variables fisicoquímicas del suelo se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía y se comprobaron las medias de tratamiento por comparación múltiple de medias de Tukey con el software estadístico R version 3.1.2 (2014). Los datos de porcentaje de arena, arcilla y limo se transformaron a su arcoseno para su análisis (Gómez y Gómez, 1983).

El porcentaje de colonización micorrízica, de hifas, de vesículas, de arbusculos, y de esporas, así como la longitud de hifas, el número de esporas y la diversidad de especies de HMA se analizaron con una prueba de Kruskal-Wallis y se compararon las medianas de cada tratamiento mediante una prueba de U-Mann-Whitney (Cuadras, 2014).

Los datos del rendimiento de frutos, porcentaje de mortalidad, altura, TCR y producción de biomasa aérea y de raíz se analizaron mediante un análisis de varianza y se compararon las medias de tratamientos por comparación múltiple de medias de Tukey (Gómez y Gómez, 1983).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Características fisicoquímicas del suelo**

El suelo se caracterizó por ser predominantemente franco-arcilloso y la materia orgánica ( $F_{3,12}=1.09$ ;  $p=0.38$ ), pH ( $F_{3,12}=0.29$ ;  $p=0.83$ ), P ( $F_{3,12}=3.46$ ;  $p=0.05$ ), N ( $F_{3,12}=1.20$ ;  $p=0.35$ ), K ( $F_{3,12}=0.19$ ;  $p=0.89$ ), CE ( $F_{3,12}=0.94$ ;  $p=0.44$ ), CIC ( $F_{3,12}=3.36$ ;  $p=0.05$ ), arenas ( $F_{3,12}=1.08$ ;  $p=0.39$ ), arcillas ( $F_{3,12}=2.48$ ;  $p=0.11$ ), limos ( $F_{3,12}=2.34$ ;  $p=0.06$ ) y DA ( $F_{3,12}=0.04$ ;  $p=0.98$ ) no difirieron significativamente entre los tratamientos. Las características fisicoquímicas del suelo tampoco variaron significativamente con



respecto a las condiciones iniciales que presentaba antes del inicio del cultivo. No obstante, se observó una mayor concentración de nutrientes (MO, P y K) con los tratamientos TOL y TOH con respecto al tratamiento TSQ (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Efecto de la fertilización orgánica y química sobre las características fisicoquímicas del suelo con cultivo de tomate verde (*P. ixocarpa*).**

Variable	Tratamientos					F <sub>3,12</sub>	E.E	Valor <i>p</i>
	<sup>1</sup> Antes	SF	TOH	TOL	TSQ			
MO	11.05	11.45	10.08	11.02	9.12	1.09	1.30	0.38
pH (H <sub>2</sub> O)	7.47	7.90	7.83	8.08	7.80	0.29	0.30	0.83
P	19.80	16.77	13.60	16.77	7.96	3.46	2.76	0.05
N	0.55	0.57	0.52	0.55	0.45	1.20	0.06	0.35
K	0.45	0.49	0.56	0.50	0.46	0.19	0.48	0.89
CE	0.14	0.17	0.14	0.15	0.13	0.94	0.02	0.44
CIC	48.78	47.19	48.62	44.71	54.12	3.36	2.66	0.05
Arena (%)	40.30	31.70	27.90	30.20	20.03	1.08	0.11	0.39
Arcilla (%)	31.70	36.30	43.30	33.80	55.30	2.48	7.52	0.11
Limo (%)	28.00	32.00	28.80	36.00	24.66	2.34	0.06	0.12
DA	0.98	0.56	0.54	0.55	0.52	0.04	0.11	0.98

<sup>1</sup> Previo a la aplicación de los tratamientos experimentales. SF=sin fertilización (n=4), TOH= tratamiento orgánico con lombricomposta y “humus”(n=5), TOL= tratamiento orgánico con lombricomposta(n=4) y TSQ= tratamiento de síntesis química(n=3). MO= Materia orgánica (%), P= Fósforo extraíble (mg kg), N= Nitrógeno total (%), K= Potasio (Cmol kg), CE= conductividad eléctrica (dS m), CIC= Capacidad de intercambio catiónico (Cmol kg), DA= Densidad aparente (g mL). E.E.= error estándar de la diferencia de las medias, ( $p_{\alpha}$  0.05).

El manejo orgánico de un sistema agrícola permite mantener las características químicas, la calidad y cantidad de los nutrientes en el suelo (Verbruggen *et al.*, 2010); tal y como se observó en el presente estudio, inclusive en el suelo que no recibió fertilización. Esto último pudo deberse a que la parcela donde se realizó el experimento

se había manejado previamente con prácticas orgánicas. La similitud en la composición química de la MO, N, K, y pH en el suelo entre los tratamientos orgánicos y químico coinciden con los hallazgos de Williams y Hedlund (2013), donde se comparó el cultivo de pastos con manejo orgánico y convencional. El tipo de manejo al que se somete el suelo determina su calidad, mineralización de la materia orgánica, incluso la composición de macro y micronutrientes disponibles para la producción (Quinton *et al.*, 2010; Bedada *et al.*, 2014). Con un manejo agrícola que utiliza agroquímicos se reduce los procesos de mineralización y la calidad del suelo, impactando en los contenidos de MO, N, P, K (Te Pas y Rees 2014). Este efecto no fue claro en el presente estudio, sin embargo el tratamiento TSQ ocasionó una tendencia a reducir la concentración en el suelo de MO, P, N, K y CE. Lo anterior concuerda con otros estudios en donde Dai *et al.*, (2014) y Tian *et al.* (2015) concluyen que la calidad del suelo sujeto a manejo orgánico se mejora debido a un aumento en sus concentraciones de N, K y P disponibles, en comparación con el suelo sujeto a manejo convencional. Probablemente parte de la respuesta encontrada en este estudio pudo estar influida por un incremento en la actividad de los microorganismos presentes en la lombricomposta (Tian *et al.*, 2015), que favorecen la disponibilidad de nutrimentos (N y P) y mejoran la estructura y funcionalidad del suelo (Bedada *et al.*, 2014; Crittenden *et al.*, 2015). La mayor disponibilidad de N y P en el suelo es especialmente un factor limitante para la producción agrícola en los suelos de la Península de Yucatán (Boege y Carranza, 2007) y determinan el crecimiento y desarrollo de la planta (Baum, El-Tohamy y Gruda, 2015). Las concentraciones de estos elementos, principalmente el P, se redujo con la aplicación de fertilizantes de síntesis química, a diferencia de la aplicación de fertilizantes orgánicos. Al respecto se ha observado que la aplicación de abonos

orgánicos en el suelo tienen impactos favorables a corto plazo en la comunidad microbiana y en especial en los HMA (Lazcano *et al.*, 2013).

### **Diversidad y colonización de hongos micorrízicos arbusculares (HMA)**

Se encontraron en total 24 especies y 16 morfoespecie de HMA, 12 especies y 3 morfotipos se asociaron al tratamiento SF, 19 especies y 10 morfoespecie al tratamiento TOH, 10 especies y 11 morfoespecie se asociaron al tratamiento TOL y 7 especies y 4 morfoespecie al tratamiento TSQ (Cuadro 3). Los géneros mejor representados en todos los tratamientos fueron *Glomus* y *Acaulospora*. En el tratamiento TOL se encontraron 11 especies del genero *Glomus* y 4 del genero *Acaulospora*, sobresaliendo entre ellas como especies únicas, *Glomus caledonius*, *Glomus* sp. 4, *Acaulospora* sp. 1, *Ambispora* sp., *Claroideoglomus* sp., *Glomus* sp. 6, y *Rizopagus* sp. Por su parte el tratamiento TOH tuvo 14 *Glomus* spp. y 6 *Acaulospora* spp., entre las que sobre salen como especies únicas asociadas al tratamiento, *Claroideoglomus claroideum*, *Claroideoglomus luteum*, *Funneliformis caledonium*, *Funneliformis coronatum*, *Glomus atricola*, *Glomus geosporum*, *Glomus* sp. 5, *Racocetra* sp., *Acaulospora denticulata* y *Archaeospora* sp. Mientras que en el tratamientos SF solo se encontró *Acaulospora rehmi* como especie única y para el tratamiento TSQ no se encontraron especies únicas. Tanto el tratamiento TSQ como SF tuvieron el menor número total de especies. El tratamiento TSQ tuvo 8 especies del genero *Glomus* y 2 de *Acaulospora* spp. y en el tratamiento SF se registraron 9 *Glomus* spp. y 3 especies del genero *Acaulospora*, respectivamente (Cuadro 3). Las especies que estuvieron presentes en todos los tratamientos fueron: *Funneliformis geosporum*, *Glomus glomerulatum*, *Glomus intraradices*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus* sp. 2,

*Glomus* sp. 3, de las cuales *Glomus macrocarpum* y *Glomus intraradices* fueron las más abundantes.

**Cuadro 3. Especies, morfoespecie y número de esporas de hongos micorrízicos arbusculares presentes en el suelo bajo cuatro tratamientos para el cultivo de tomate verde (*P. ixocarpa*).**

Especies	Tratamientos			
	SF	TOH	TOL	TSQ
<i>Acaulospora delicata</i>	5	0	0	12
<i>Acaulospora denticulata</i>	0	4	0	0
<i>Acaulospora laevis</i>	0	19	0	4
<i>Acaulospora mellea</i>	0	19	5	0
<i>Acaulospora morrowiae</i>	6	13	0	0
<i>Acaulospora rehunii</i>	2	0	0	0
<i>Acaulospora</i> sp. 1	0	0	12	0
<i>Acaulospora</i> sp. 2	0	8	6	0
<i>Acaulospora</i> sp. 3	0	5	4	0
<i>Ambispora</i> sp.	0	0	3	0
<i>Archaeospora</i> sp.	0	2	0	0
<i>Archaeospora trappei</i>	0	3	18	0
<i>Claroideoglomus claroideum</i>	0	18	0	0
<i>Claroideoglomus luteum</i>	0	8	0	0
<i>Claroideoglomus</i> sp.	0	0	5	0
<i>Funneliformis caledonium</i>	0	6	0	0
<i>Funneliformis coronatum</i>	0	6	0	0
<i>Funneliformis geosporum</i>	2	54	8	17
<i>Gigaspora</i> sp.	4	7	0	0
<i>Glomus aggregatum</i>	9	7	0	0
<i>Glomus atricola</i>	0	7	0	0
<i>Glomus aureum</i>	29	0	4	0
<i>Glomus caledonius</i>	0	0	50	0

<i>Glomus etunicatum</i>	51	29	0	0
<i>Glomus fasciculatum</i>	10	22	0	47
<i>Glomus geosporum</i>	0	2	0	0
<i>Glomus glomerulatum</i>	23	1	17	12
<i>Glomus intraradices</i>	3	27	44	24
<i>Glomus macrocarpum</i>	18	62	69	42
<i>Glomus multicaule</i>	0	1	5	0
<i>Glomus</i> sp. 1	0	3	3	8
<i>Glomus</i> sp. 2	18	2	2	7
<i>Glomus</i> sp. 3	24	18	2	13
<i>Glomus</i> sp. 4	0	0	19	0
<i>Glomus</i> sp. 5	0	3	0	0
<i>Glomus</i> sp. 6	0	0	5	0
<i>Glomus</i> sp. 7	0	8	0	1
<i>Racocetra</i> sp.	0	7	0	0
<i>Rizophagus</i> sp.	0	0	3	0
<i>Septoglomus constrictum</i>	6	0	5	0
Total de esporas	210	371	289	187

SF=sin fertilización, TOH= tratamiento orgánico con lombricomposta y “humus”, TOL= tratamiento orgánico con lombricomposta y TSQ= tratamiento síntesis química.

A pesar de que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en el número de especies ( $p=0.50$ ) y de esporas presentes en el suelo ( $p=0.65$ ) (Cuadro 4); se observó un mayor número de especies y morfoespecie en los tratamientos TOH y TOL (29 y 21 respectivamente) y de especies específicas, al igual que un mayor número de esporas (371 y 289 respectivamente). Mientras que con el tratamiento TSQ se obtuvo el menor número de especies y morfoespecie (11) y de esporas (187) y no se presentó ninguna especie única, incluso por debajo de total de especies, morfoespecie y esporas encontradas en el suelo sin fertilizar (15 especies y 210 esporas) (Cuadro 3).

El efecto de los tratamientos orgánicos sobre la colonización total de HMA en las raíces finas de las plantas de tomate verde difirió significativamente ( $p=0.03$ ). Los porcentajes de las vesículas ( $p=0.02$ ), los arbusculos ( $p=0.03$ ) y la longitud de hifas ( $p=0.02$ ) difirió significativamente entre tratamientos (Cuadro 4). Presentando un mayor porcentaje de colonización y la longitud de hifas en las raíces de las plantas que recibieron los tratamientos orgánicos, con respecto a la respuesta obtenida con las plantas sin fertilización y fue similar a la respuesta observada con el tratamiento TSQ. También, el porcentaje de vesículas y arbusculos fue significativamente ( $p<0.05$ ) mayor en los tratamientos TOL y TOH respecto a la colonización obtenida con el tratamiento de TSQ (Cuadro 4). Pero no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de esporas en la raíz ( $p=0.70$ ).

**Cuadro 4. Efecto de la fertilización orgánica y de síntesis química sobre la colonización, el número de especies y esporas de hongos micorrízicos arbusculares presentes en el suelo y en la raíz de tomate verde (*P. ixocarpa*).**

Variable	Tratamientos				Valor $p$ *
	SF	TOH	TOL	TSQ	
Colonización Total (%)	9.56 <sup>**b</sup>	20.95 <sup>a</sup>	21.80 <sup>a</sup>	15.17 <sup>ab</sup>	0.03
Longitud de Hifas ( $\mu\text{m}/\text{mm}$ )	10.19 <sup>b</sup>	21.20 <sup>a</sup>	22.45 <sup>a</sup>	12.83 <sup>ab</sup>	0.02
Vesículas (%)	12.44 <sup>b</sup>	21.60 <sup>a</sup>	21.80 <sup>a</sup>	10.25 <sup>b</sup>	0.03
Arbusculos (%)	13.13 <sup>bc</sup>	20.80 <sup>ab</sup>	22.30 <sup>a</sup>	9.83 <sup>c</sup>	0.03
<sup>1</sup> Esporas (%)	15.56 <sup>a</sup>	18.05 <sup>a</sup>	16.60 <sup>a</sup>	20.67 <sup>a</sup>	0.70
<sup>2</sup> Esporas	7.00 <sup>a</sup>	11.20 <sup>a</sup>	8.60 <sup>a</sup>	8.67 <sup>a</sup>	0.65
<sup>2</sup> Especies	7.75 <sup>a</sup>	11.80 <sup>a</sup>	8.30 <sup>a</sup>	7.17 <sup>a</sup>	0.50

SF=sin fertilización (n=8), TOH= tratamiento orgánico con lombricomposta y “humus” (n=10), TOL= tratamiento orgánico con lombricomposta (n=10) y TSQ= tratamiento síntesis química (n=6). \*Prueba de Kruskal-Wallis; \*\* valor de rango medio; <sup>abc</sup> literales diferentes en la misma fila son significativamente ( $p<0.05$ ) diferentes (Prueba U Mann-Whitney). <sup>1</sup> Porcentajes de colonización intraradical por esporas. <sup>2</sup> Promedio del número de esporas y especies en el suelo de hongos micorrízicos arbusculares

La aplicación de fertilizantes orgánicos (TOL, TOH) favorece una mayor diversidad y riqueza de especies y esporas de HMA en el suelo (Verbruggen *et al.*, 2010; Dai *et al.*, 2014; Schneider *et al.*, 2015) mientras que la aplicación de fertilizantes químicos impacta negativamente sobre su diversidad, debido a que algunos *taxa* son más sensibles a la influencia de los químicos que afectan su viabilidad y crecimiento, modificando la composición de la rizósfera (Druille *et al.*, 2013; Qin *et al.*, 2015). Estos cambios pueden ser observados, inclusive, en cultivos de ciclos cortos (Lazcano *et al.*, 2013), como el del tomate verde en este estudio, donde la aplicación de fertilizante químico (TSQ) ocasionó una reducción en el número de especies y esporas, mientras que la aplicación de fertilizantes orgánicos (TOH, TOL) aumentó, la riqueza de especies de HMA; adicionalmente influyó en un mayor número de especies de HMA que solo se encontraron dentro de dichos tratamientos; mientras que con el tratamiento TSQ no se presentaron especies exclusivas. Esto sugiere que la fertilización por síntesis química disminuye la riqueza de especies y que afecta la funcionalidad de los HMA (Druille *et al.*, 2013; Cuadro 3). Mientras que la fertilización con lombricomposta favorece las interacciones en la rizósfera y mejora la fertilidad de suelo (Lazcano *et al.*, 2013) e induce el crecimiento radicular que proporciona una mayor área de contacto para la colonización de HMA. Las especies más abundantes en todos los tratamientos fueron *Glomus macrocarpum* y *Glomus intraradices*. La dominancia de especies del género *Glomus* y *Acaulospora* en los tratamientos con fertilización orgánica y de síntesis química obedece a que son generalistas y pueden establecerse aun con un manejo convencional o distintas técnicas de labranza y concuerdan con los hallazgos de Jefwa *et al.*, (2012), quienes encontraron una mayor predominancia de estos géneros al evaluar cultivos de maíz, café, hortalizas y plantaciones forestales bajo distintas formas

de manejo agrícola. No obstante, es importante considerar que la abundancia de algunas especies del género *Glomus* encontradas con fertilización orgánica están relacionadas con una reducción en la eficiencia de absorción de N y P, favoreciendo una asociación parasitaria más que simbiótica con la planta, reflejando sus efectos en una reducción del rendimiento por hectárea en comparación con un sistema que usa fertilización de síntesis química (Dai *et al.*, 2014).

Por otro lado, a diferencia de los reportes de Schneider *et al.*, (2015) que señalan una mayor abundancia de *Funneliformis* spp. en sistemas de cultivo convencionales, en este estudio solo estuvo presente la especie *Funneliformis geosporum* asociada al tratamiento TSQ, junto con *Glomus fasciculatum* lo que podía reflejar una mayor aptitud de la especie a mantenerse con bajas concentraciones de P en el suelo (Dai *et al.*, 2014). Por otro lado Schneider *et al.*, (2015) reportan que los suelos donde se cultivan forrajes perenes con un manejo orgánico poseen una mayor abundancia de *Claroideoglomus* spp. lo cual concuerda con nuestros hallazgos, donde además se observó que *Claroideoglomus* spp. especies únicas en los tratamientos de fertilización orgánica, lo que puede indicar que estas *taxa* son más sensibles a un manejo convencional y responden favorablemente cuando hay mayor disponibilidad de recursos en el suelo (Dai *et al.*, 2014; Schneider *et al.*, 2015).

Los efectos positivos de la fertilización orgánica sobre la colonización y en la formación de estructuras fúngicas encontradas en este estudio concuerdan con los estudios realizados por Druille *et al.* (2013), Dai *et al.*, (2014) y Meyer *et al.*, (2015) donde señalan que la colonización de las raíces y el número de estructuras fúngicas disminuye en presencia de fertilizantes sintéticos o agroquímicos, debido en parte a que un manejo convencional reduce la eficiencia de la simbiosis en la absorción de N y P,



entre otros elementos y altera la composición de la comunidad micorrízica y la eficacia de la colonización (Qin *et al.*, 2015). Posiblemente esto explique, en parte, los resultados obtenidos en este estudio con la aplicación del tratamiento TSQ en comparación con los tratamientos TOL y TOH, que presentaron un mayor porcentaje de colonización y especialmente de vesículas y arbusculos. Estudios (Cavender *et al.*, 2003; Khan *et al.*, 2015) demuestran que el uso de lombricomposta como fertilizante favorece la colonización micorrízica, el incremento de la longitud de hifas y la formación de estructuras auxiliares, debido a una mayor disponibilidad de nutrientes que estimulan el crecimiento de raíces finas de las plantas, provocando una mayor área de contacto con los HMA y favoreciendo la interacción hongo-planta.

### **Rendimiento y desarrollo de frutos de tomate verde**

No se encontraron diferencias significativas debido al bloque ( $p > 0.05$ ) para las variables analizadas. Tampoco se encontraron diferencias significativas ( $F_{3,12} = 0.87$ ;  $p = 0.47$ ) en el número total de frutos entre los tratamientos; aunque el tratamiento TSQ produjo en promedio una mayor cantidad de frutos (69.29 frutos). No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para el número de frutos maduros ( $F_{3,12} = 2.30$ ;  $p = 0.11$ ), peso de frutos maduros ( $F_{3,12} = 1.36$ ;  $p = 0.28$ ), diámetro ecuatorial ( $F_{3,12} = 1.20$ ;  $p = 0.33$ ), diámetro polar ( $F_{3,12} = 1.04$ ;  $p = 0.40$ ) y tamaño ( $F_{3,12} = 0.98$ ;  $p = 0.39$ ), respectivamente. No obstante, se observó que los tratamientos TSQ y TOL produjeron el mayor número, peso y tamaño de frutos maduros por planta (23.09, 21.48 g y 11.02 cm<sup>3</sup> para TSQ; 17.08, 17.29 g y 11.04 cm<sup>3</sup> para TOL, respectivamente) (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Efecto de la fertilización orgánica y de síntesis química sobre el rendimiento promedio, en base seca, por planta del tomate verde (*P. ixocarpa*) cultivado en Calakmul, Campeche.**

Variable	Tratamientos				F <sub>3,12</sub>	E.E.	Valor <i>p</i>
	SF	TOH	TOL	TSQ			
Total de frutos (número)	57.33	53.19	55.83	69.29	0.87	10.54	0.47
Frutos maduros (número)	14.30	11.78	17.08	23.09	2.30	4.52	0.11
Peso de frutos (g)	14.81	12.59	17.29	21.48	1.36	4.90	0.28
Diámetro ecuatorial (cm)	2.69	2.79	2.83	2.85	1.20	0.09	0.33
Diámetro polar (cm)	2.33	2.36	2.46	2.43	1.04	0.08	0.40
Tamaño (cm <sup>3</sup> )	9.47	10.27	11.04	11.02	0.98	1.05	0.39

SF=sin fertilización (n=20), TOH= tratamiento orgánico con lombricomposta y “humus”(n=20), TOL= tratamiento orgánico con lombricomposta (n=20) y TSQ= tratamiento síntesis química (n=20). E.E. error estándar de la diferencia de las medias de tratamientos, ( $p < 0.05$ )

La falta de respuesta entre tratamientos sobre el rendimiento de los frutos de tomate verde pudo estar influenciada por las condiciones del suelo donde se realizó el cultivo, el cual presentó una buena calidad en sus valores químicos. Así mismo, estos resultados concuerdan con los encontrados por Singh *et al.*, (2008) quienes señalaron que se produce similar número de frutos de fresa con distintas dosis de lombricomposta y con fertilización inorgánica. También es probable que algunos *taxa* de *Glomus* spp. asociados a los tratamientos orgánicos afectaran tanto la producción de frutos como su retraso en la maduración (Dai *et al.*, 2014), resultando en una tendencia hacia una menor producción de frutos totales y frutos maduros.

Por otro lado, el resultado encontrado en este estudio sobre el peso de los frutos maduros, por la influencia de la fertilización orgánica, difiere de los reportados por

Carrubba (2014), Morón-Ríos y Alayón-Gamboa, (2014) y Campiglia *et al.* (2015) quienes señalan diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización orgánica con respecto a la fertilización por síntesis química, tanto en el rendimiento de cilantro (*Coriandrum sativum*), chile (*Capsicum annuum* L.) y trigo (*Triticum aestivum*), respectivamente. También se encontraron divergencias de nuestros resultados sobre el tamaño y desarrollo del fruto con respecto a lo encontrado por Singh *et al.*, (2010) quienes utilizaron humus de lombriz en cultivos de fresa y obtuvieron una mejor calidad, dada por el tamaño del fruto, con respecto al tratamiento de fertilización inorgánica. Estas divergencias pueden obedecer al carácter contextual y multifactorial que se presenta en los estudios que comparan los efectos de la fertilización orgánica con respecto a la fertilización inorgánica en los cultivos (Patil *et al.*, 2012).

No obstante que el tratamiento TOL presento una tendencia a producir frutos más grandes, el tratamiento TSQ fue el que produjo frutos de mayor peso, quizá por un mejor balance en el aporte de nutrimentos con los fertilizantes químicos, como lo prueban Bedada *et al.*, (2014) quienes señalan que con la fertilización de síntesis química es posible lograr un mayor peso y rendimiento de frutos, sin embargo, el uso de estos compuestos químicos aumentará la dependencia de insumos externos y no se tendría una agricultura sustentable (Koochafkan, *et al.*, 2012). En contraposición, es posible mantener producciones similares a las logradas con fertilización de síntesis química usando lombricompostas, que brinden los requerimientos nutrimentales esenciales, permitiendo menor dependencia externa y mayor integración de diversos componentes agroecológicos dentro del sistema (Crittenden *et al.*, 2015).

## Mortalidad, crecimiento y producción de biomasa

La mortalidad de las plantas fluctuó de 18.84 a 22.66 % y no se observaron diferencias significativas ( $F_{3,12}=0.11$ ;  $p=0.95$ ) entre tratamientos. Así mismo, la altura final alcanzada por las plantas no difirió significativamente ( $F_{3,12}=0.11$ ;  $p=0.95$ ) entre los tratamientos (Cuadro 6). Pero la tasa de crecimiento relativa fue influenciada significativamente ( $F_{3,12}=3.75$ ;  $p=0.03$ ) por el tratamiento. El tratamiento TOL presentó una mayor TCR (10.47 cm) respecto a los tratamientos TOH y SF, y fue similar al observado con el tratamiento TSQ (8.18 cm) (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Efecto de la fertilización orgánica y de síntesis química sobre el promedio de la sobrevivencia, la altura, la tasa de crecimiento y la producción de biomasa del tomate verde (*P. ixocarpa*) en Calakmul Campeche.**

Variable	Tratamientos				$F_{3,12}$	E.E.	Valor $p$
	SF	TOH	TOL	TSQ			
Mortalidad (%)	22.62	18.84	20.76	20.08	0.11	6.71	0.95
Altura (cm)	36.22	35.72	37.64	37.39	0.11	3.84	0.95
TCR	7.49 <sup>b</sup>	7.526 <sup>b</sup>	10.47 <sup>a</sup>	8.18 <sup>ab</sup>	3.75	1.62	0.03
<sup>1</sup> Biomasa aérea	186.73	212.52	235.75	341.18	2.83	56.95	0.07
<sup>1</sup> Biomasa de raíz	41.32	50.86	54.47	45.48	0.37	13.37	0.77

<sup>1</sup> Promedio por línea de riego en peso seco (gr); SF=sin fertilización (n=20), TOH= tratamiento orgánico con lombricomposta y “humus”(n=20), TOL= tratamiento orgánico con lombricomposta (n=20) y TSQ= tratamiento síntesis química (n=20). E.E. error estándar de la diferencia de las medias de tratamientos, ( $p_{\alpha}0.05$ ). TCR= Tasa de crecimiento relativo en un periodo de 43 días (cm). <sup>abc</sup> literales diferentes en la misma fila son significativamente ( $p<0.05$ ) diferentes.

Por otro lado, la biomasa aérea y de raíces no difirió significativamente entre los tratamientos ( $F_{3,12}=2.83$ ;  $p=0.07$  y  $F_{3,12}=0.37$ ;  $p=0.77$ , respectivamente). No obstante, el tratamiento TSQ tendió a promover una mayor biomasa aérea (341.18 g) pero con una

menor producción de raíces (45.48 g). Por su parte, los tratamientos TOL y TOH tendieron a promover una mayor producción de raíces finas y una menor biomasa aérea con respecto al tratamiento TSQ (Cuadro 6).

Aun cuando no se observaron diferencias significativas en la mortalidad de las plantas, el tratamiento TOH tuvo un 4% menos de mortalidad. Posiblemente por el efecto que ejercen los ácidos húmicos, que favorecen la absorción de micro y macronutrientes a nivel foliar, además de que tienen el potencial para controlar infecciones virales, brindan un amortiguamiento al estrés hídrico y favorecen la asociación con los HMA, lo que reduce la mortalidad de las plantas (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008).

Por otro lado, a pesar de que el crecimiento final de las plantas no se afectó entre los tratamientos, existe una tasa de crecimiento diferencial, especialmente cuando se aplica fertilización orgánica con lombricomposta (TOL). Posiblemente debido a que la lombricomposta promueve una aceleración en el crecimiento de las plantas por la acción de ácidos húmicos y hormonas liberadas por la acción de los microorganismos que facilitan la disponibilidad de nutrimentos y por el efecto simbiótico de los HMA, los cuales favorecen la absorción de otros minerales esenciales para el crecimiento (Arancon *et al.*, 2008; Baum, El-Tohamy y Gruda, 2015). La aplicación de fertilizantes orgánicos en ocasiones provoca una baja asimilación de carbono en las plantas y al combinarse esto con la presencia de algunas micorrizas del género *Glomus* spp. no se favorece la producción de biomasa aérea en las plantas, en comparación con la obtenida con la fertilización de síntesis química (Dai *et al.*, 2014), quizá a esto se deba en este estudio la falta de efectos positivos de la fertilización orgánica sobre la producción de la biomasa aérea, al compararse con la producción obtenida con el

tratamiento TSQ. Los hallazgos de este estudio concuerdan, en parte, con lo reportado por Carrubba, (2014), Dai *et al.*, (2014) y Khan *et al.*, (2015) quienes señalan que existe una mayor producción de biomasa aérea al aplicar fertilizantes de síntesis química en comparación con los fertilizantes orgánicos, en cultivos de cilantro, trigo y de plantas medicinales respectivamente, probablemente porque algunas asociaciones de HMA en vez de que funcionen como simbiosis se transforman en parásitos, lo que puede verse reflejado en una reducción en la producción de biomasa (Dai *et al.*, 2014). Contrario a la menor producción de biomasa aérea en las plantas, se observó que la fertilización orgánica tiende a favorecer el desarrollo de las raíces, principalmente con el tratamiento TOL. Este hallazgo concuerda con Cavender *et al.*, (2003) y Dai *et al.*, (2014), quienes encontraron que el sorgo produce más biomasa de raíces y de mayor longitud al aplicarse fertilizante de lombricomposta debido a la mayor disponibilidad de los nutrientes en el suelo para las plantas.

## **CONCLUSIONES**

El cultivo de tomate verde con fertilización orgánica favorece el mantenimiento de nutrientes y condiciones fisicoquímicas del suelo que son importantes para el crecimiento y producción de las plantas. Especialmente el uso de lombricomposta y la adición de “humus” favorecen una mayor concentración de P, además de que promueven una mayor diversidad, colonización y desarrollo de estructuras auxiliares de hongos micorrízicos arbusculares, las cuales tienen mayor posibilidad de interactuar con la planta en la rizósfera debido a una mayor producción de raíces. Dando como resultado mayores tasas de crecimiento relativo y similares respuestas en el crecimiento final de las plantas, en el desarrollo del producto y en el volumen de producción

obtenida con la aplicación de fertilización química. Lo anterior hace competitivo el empleo de lombricomposta como fertilizante orgánico y podría tener repercusiones positivas para la producción de tomate verde en zonas de amortiguamiento de áreas naturales protegidas, como la Reserva de la Biósfera de Calakmul, donde se aspira por un manejo agroecológico de los sistemas de producción agrícola.

## **AGRADECIMIENTOS**

La autora principal agradece al CONACYT por la beca otorgada (588020) para realizar sus estudios de posgrado. Un especial reconocimiento a la Comunidad El Chichonal y a la Familia Arcos por el apoyo y facilidades brindadas para la ejecución de la investigación en campo, a El Colegio de la Frontera Sur y Al Instituto de Ecología, por la facilidades brindadas en la investigación y los análisis de laboratorio. A los árbitros anónimos por las acertadas recomendaciones para mejorar el presente manuscrito.

## **REFERENCIAS**

- Alayón-Gamboa, J., 2010. Los huertos familiares en Calakmul: Diversidad y Contribución. FOmlx CAmpChe Rev. 7–9.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Babenko, A., Cannon, J., Galvis, P., Metzger, J.D., 2008. Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Appl. Soil Ecol.* 39, 91–99.  
doi:10.1016/j.apsoil.2007.11.010
- Arnhold, S., Lindner, S., Lee, B., Martin, E., Kettering, J., Nguyen, T.T., Koellner, T., Ok, Y.S., Huwe, B., 2014. Conventional and organic farming: Soil erosion and conservation potential for row crop cultivation. *Geoderma* 219-220, 89–105.  
doi:10.1016/j.geoderma.2013.12.023

- Arteaga, R., López-López, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M., López-Cruz, I., and Sánchez-Cohen, I., 2009. Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego. *Chapingo Ser. Hortic.* 15, 83–89.
- Baum, C., El-Tohamy, W., Gruda, N., 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 187, 131–141. doi:10.1016/j.scienta.2015.03.002
- Bedada, W., Karlton, E., Lemenih, M., Tolera, M., 2014. Long-term addition of compost and NP fertilizer increases crop yield and improves soil quality in experiments on smallholder farms. *Agric. Ecosyst. Environ.* 195, 193–201. doi:10.1016/j.agee.2014.06.017
- Boege, E., Carranza, T., 2007. Vivir con la selva: agricultura sostenible campesino-indígena en el contexto de la selva en el municipio de Calakmul, Campeche., in: *La Experiencia de Los Promotores Conservacionistas de La Región de Calakmul*. p. 86.
- Campiglia, E., Mancinelli, R., De Stefanis, E., Pucciarmati, S., Radicetti, E., 2015. The long-term effects of conventional and organic cropping systems, tillage managements and weather conditions on yield and grain quality of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the Mediterranean environment of Central Italy. *F. Crop. Res.* 176, 34–44. doi:10.1016/j.fcr.2015.02.021
- Cardoso, I.M., Kuyper, T.W., 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agric. Ecosyst. Environ.* 116, 72–84. doi:10.1016/j.agee.2006.03.011
- Carrubba, A., 2014. Organic and chemical n fertilization on coriander (*Coriandrum sativum* L.) in a Mediterranean environment. *Ind. Crops Prod.* 57, 174–187. doi:10.1016/j.indcrop.2014.03.030
- Cavender, N.D., Atiyeh, R.M., Knee, M., 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expense of plant growth. *Pedobiologia (Jena)*. 47, 85–89. doi:10.1078/0031-4056-00172
- CONACyT, A.I., 2015. Evalúan el tomate verde para obtener pectinas [WWW Document]. *Reconoc. 4.0 Int. Creat. Commons*. URL <http://conacytprensa.mx/index.php/ciencia/quimica/3084-evaluacion-del-tomatillo-o-tomate-verde-para-obtener-pectinas> (accessed 10.27.15).



- Crittenden, S.J., Poot, N., Heinen, M., van Balen, D.J.M., Pulleman, M.M., 2015. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. *Soil Tillage Res.* 154, 136–144. doi:10.1016/j.still.2015.06.018
- Cuadras, C.M., 2014. Nuevos métodos de análisis multivariante, C.M. Cuadr. ed. Monacor 30, Barcelona, Spain.
- Dai, M., Hamel, C., Bainard, L.D., Arnaud, M. St., Grant, C.A., Lupwayi, N.Z., Malhi, S.S., Lemke, R., 2014. Negative and positive contributions of arbuscular mycorrhizal fungal taxa to wheat production and nutrient uptake efficiency in organic and conventional systems in the Canadian prairie. *Soil Biol. Biochem.* 74, 156–166. doi:10.1016/j.soilbio.2014.03.016
- Druille, M., Omacini, M., Golluscio, R. a., Cabello, M.N., 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi are directly and indirectly affected by glyphosate application. *Appl. Soil Ecol.* 72, 143–149. doi:10.1016/j.apsoil.2013.06.011
- Gómez, K., Gómez, A., 1983. Statistical procedures for agricultural research, Econd Edi. ed. JOHN WILEY & SONS, New, NY, USA.
- González-rosales, G., Nieto, A., Murillo-amador, B., Villavicencio, E.A., Hernández-medina, J.D., Guerrero-medrano, Z.E., 2012. Guía técnica para la producción de lombricomposta, 1a ed. La Paz, Baja California Sur, México.
- Gûemes-Guillen, M.J., Palacios-Álvarez, A., Ramírez-Rojas, S., García-Pérez, F., Salazar-Pedroza, A., Inoue, K., 2001. Guía para cultivar tomate de cáscara en el estado de morelos. INIFAP. Cent. Investig. Reg. del Cent. campo Exp. “Zacatepec” Zacatepec, Morelos, México 19.
- Gutiérrez-Miceli, F.A., García-Gómez, R.C., Rincón Rosales, R., Abud-Archila, M., María Angela, O.L., Cruz, M.J.G., Dendooven, L., 2008. Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) using vermicompost leachate. *Bioresour. Technol.* 99, 6174–80. doi:10.1016/j.biortech.2007.12.043
- INE, 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Calakmul.
- Islas-Blancas., 2006. Efecto de la fertilización y riego con aguas negras en la calidad poscosecha de tomate de cáscara, (*Physalis ixocarpa Brot.*) Var. Titán. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Izadi, H., Kamgar, S., Raufat, M., Samsami, S., 2014. Mass and volume modeling of

- tomato based on physical characteristics. *Sci. J. Crop Sci.* 3(1), 1–8.  
doi:10.14196/sjcs.v3i1.1122
- Jefwa, J.M., Okoth, S., Wachira, P., Karanja, N., Kahindi, J., Njuguni, S., Ichami, S., Mung'atu, J., Okoth, P., Huising, J., 2012. Impact of land use types and farming practices on occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) Taita-Taveta district in Kenya. *Agric. Ecosyst. Environ.* 157, 32–39. doi:10.1016/j.agee.2012.04.009
- Khan, K., Pankaj, U., Verma, S.K., Gupta, A.K., Singh, R.P., Verma, R.K., 2015. Bio-inoculants and vermicompost influence on yield, quality of *Andrographis paniculata*, and soil properties. *Ind. Crops Prod.* 70, 404–409.  
doi:10.1016/j.indcrop.2015.03.066
- Koohafkan, P., Altieri, M. a., Gimenez, E.H., 2012. Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *Int. J. Agric. Sustain.* 10, 61–75. doi:10.1080/14735903.2011.610206
- Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., Revilla, P., Domínguez, J., 2013. Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function. *Biol. Fertil. Soils* 49, 723–733. doi:10.1007/s00374-012-0761-7
- Mbuthia, L.W., Acosta-Martínez, V., DeBryun, J., Schaeffer, S., Tyler, D., Odoi, E., Mpheshea, M., Walker, F., Eash, N., 2015. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. *Soil Biol. Biochem.* 89, 24–34. doi:10.1016/j.soilbio.2015.06.016
- Meyer, A.H., Wooldridge, J., Dames, J.F., 2015. Effect of conventional and organic orchard floor management practices on arbuscular mycorrhizal fungi in a “Cripp”s Pink/M7 apple orchard soil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 213, 114–120.  
doi:10.1016/j.agee.2015.07.026
- Moreira, F., Huising, E.J., Bignell., D.E., 2012. *Manual de biología de suelos tropicales*, Instituto. ed, Instituto Nacional de Ecología, México. México DF.
- Morón-Ríos, A., Alayón-Gamboa, J., 2014. Productividad del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con manejo orgánico o convencional en Calakmul, Campeche, México. *Av. EN Investig. Agropecu.* 18, 35–40.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P., 2013. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agric. Ecosyst. Environ.* 10.010,

19. doi:10.1016/j.agee.2013.10.010

Patil, S., Reidsma, P., Shah, P., Purushothaman, S., Wolf, J., 2012. Comparing conventional and organic agriculture in Karnataka, India: Where and when can organic farming be sustainable? *Land use policy* 37, 40–51.

doi:10.1016/j.landusepol.2012.01.006

Pérez-Moreno, L., Granados-Aviles, J., 2001. Fertilización nitro-fosfórica en tomate de cáscara. *Acta Univ.* 11, 19–25.

Qin, H., Lu, K., Strong, P.J., Xu, Q., Wu, Q., Xu, Z., Xu, J., Wang, H., 2015. Long-term fertilizer application effects on the soil, root arbuscular mycorrhizal fungi and community composition in rotation agriculture. *Appl. Soil Ecol.* 89, 35–43.

doi:10.1016/j.apsoil.2015.01.008

Quinton, J.N., Govers, G., Van Oost, K., Bardgett, R.D., 2010. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nat. Geosci.* 3, 311–314.

doi:10.1038/ngeo838

R version 3.1, 2, 2014. “Pumpkin Helmet”. Package *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research* y Copyright (C) 2014 The R Foundation for Statistical.

Salgado-García, S., Palma-López, D.J., Lagunes-Espinoza, J., Castelán-Estrada, M., 2006. Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis. [WWW Document]. Col. Postgraduados, Campus Tabasco-ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. URL <http://es.scribd.com/doc/110836442/Primer-Libro-de-Analisis-de-Suelo-Agua-y-Planta#scribd> (accessed 10.28.15).

Schneider, K.D., Lynch, D.H., Dunfield, K., Khosla, K., Jansa, J., Voroney, R.P., 2015. Farm system management affects community structure of arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Soil Ecol.* 96, 192–200. doi:10.1016/j.apsoil.2015.07.015

Seufert, V., Ramankutty, N., Foley, J. a., 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485, 229–232. doi:10.1038/nature11069

Singh, R., Gupta, R.K., Patil, R.T., Sharma, R.R., Asrey, R., Kumar, A., Jangra, K.K., 2010. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Sci. Hortic.* (Amsterdam). 124, 34–39. doi:10.1016/j.scienta.2009.12.002

Singh, R., Sharma, R.R., Kumar, S., Gupta, R.K., Patil, R.T., 2008. Vermicompost

- substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Bioresour. Technol.* 99, 8507–11. doi:10.1016/j.biortech.2008.03.034
- Te Pas, C.M., Rees, R.M., 2014. Analysis of Differences in Productivity, Profitability and Soil Fertility Between Organic and Conventional Cropping Systems in the Tropics and Sub-tropics. *J. Integr. Agric.* 13, 2299–2310. doi:10.1016/S2095-3119(14)60786-3
- Tian, W., Wang, L., Li, Y., Zhuang, K., Li, G., Zhang, J., Xiao, X., Xi, Y., 2015. Responses of microbial activity, abundance, and community in wheat soil after three years of heavy fertilization with manure-based compost and inorganic nitrogen. *Agric. Ecosyst. Environ.* 213, 219–227. doi:10.1016/j.agee.2015.08.009
- Torres-Degró, A., 2011. Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial. *CIDE Digit.* 2, 142 –160.
- Vega-Frutis, R., Guevara, R., 2009. Different arbuscular mycorrhizal interactions in male and female plants of wild *Carica papaya* L. *Plant Soil* 322, 165–176. doi:10.1007/s11104-009-9903-6
- Verbruggen, E., Rölting, W.F.M., Gamper, H., Kowalchuk, G., Verhoef, H., van der Heijden, M.G. 2010. Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: Large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. *New Phytol.* 186, 968–979. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03230.x
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J.L., Poorter, H., Valladares, F., Marañón, T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas, *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* .
- Williams, A., Hedlund, K., 2013. Indicators of soil ecosystem services in conventional and organic arable fields along a gradient of landscape heterogeneity in southern Sweden. *Appl. Soil Ecol.* 65, 1–7. doi:10.1016/j.apsoil.2012.12.019

### Capítulo 3. Conclusiones

---

La aplicación de fertilizantes orgánicos en comparación con los fertilizantes de síntesis química favorece el mantenimiento de los nutrimentos en el suelo tales como P, N, MO, y K. Especialmente el uso de lombricomposta, evita la disminución de P, lo cual podría vincularse con una mayor riqueza de especies de HMA y de las interacciones en la rizósfera. Los tratamientos orgánicos favorecen la diversidad de HMA, incrementan el número de especies únicas, sensibles a compuestos de síntesis química. El uso de fertilizantes de síntesis química disminuye la diversidad y abundancia de HMA, promoviendo solo especies cosmopolitas como *Glomus intraradices*, *Glomus macrocarpum* y *Funneliformis geosporum*, o especies más resistentes a un manejo convencional como *Acaulospora delicata*. Por otro lado, la colonización de las raíces y la formación de estructuras auxiliares como arbuscúlos y vesículas y la longitud de hifas aumento con los tratamientos de lombricomposta y humus, en parte porque la fertilización orgánica influye en la producción de mayor biomasa de raíces finas, que son de vital importancia en las plantas ya que aumentan la posibilidad de absorción y exploración de las plantas para absorber nutrimentos. A pesar de este efecto, los cambios solo se hacen evidentes en el crecimiento de las plantas, ya que no son evidentes en variables productivas como la biomasa aérea del cultivo, el volumen de producción y el peso obtenido de los frutos. Esto podría deberse a la rápida disponibilidad de N proveniente de la aplicación de síntesis química en el tratamiento convencional. Por otro lado, el empleo de tratamientos de síntesis química para el cultivo de tomate verde en zonas de reservas naturales, como en la reserva de la biósfera de Calakmul, donde se aspira a conseguir una producción más agroecológica, podría tener repercusiones negativas, principalmente en la calidad del suelo, ya que

influye en la diversidad y cantidad de especies de hongos micorrízicos presentes por lo que se podría esperar que a mediano o largo plazo se deteriore la estructura y las relaciones funcionales en el suelo. Por el contrario, la aplicación de fertilizantes orgánicos, tales como la lombricomposta y la adición de lixiviados favorecen la diversidad y la colonización por HMA, así como el incremento en estructuras auxiliares micorrízicas, brindando múltiples beneficios a la planta. Es por esto que es importante indagar más sobre los beneficios de la utilización de este tipo de fertilizantes sobre los procesos de incorporación de nutrimentos y determinar los procesos de mejora en su calidad que permitan impactar el desempeño en otros indicadores como la producción. También se identifica la necesidad de continuar con estudios sobre otros organismos como artrópodos o insectos claves que pudieran ser utilizados como bioindicadores en sistemas de producción orgánicos. Sería conveniente ampliar los estudios sobre la abundancia y diversidad de HMA tanto en sistemas agrícolas de la RBC como en áreas en recuperación y en conservación como son los acahuales y selvas. Con el fin de conocer el impacto de la transformación del uso del suelo y sobre todo que los productores conozcan los resultados obtenidos de esta investigación y consideren la opción de poner en práctica más técnicas de producción orgánica con miras a mejorar sus sistemas de producción mediante una menor inversión económica y con la posibilidad de crear empleos mediante la ocupación de mano de obra local en la elaboración de las compostas o lombricompostas.

## **Aspectos éticos de la investigación**

---

El presente estudio respetó y tomó en cuenta el valor que tiene el conocimiento tradicional que poseen las personas de la comunidad, ajustándose a los lineamientos establecidos en el protocolo de Nagoya que entró en vigor en México en 2014 (Diario Oficial de la Federación, 2014). Se procuró una participación justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de sus recursos en esta investigación y se evitó la biopiratería. Brindando los resultados de esta investigación a quienes compartieron su conocimiento, previo consentimiento informado de los objetivos, metas, alcances e implicaciones de la investigación. Dando con ello cumplimiento a los objetivos del Convenio sobre la Diversidad Biológica descritos en su artículo 1º (ONU, 1992). Se respetaron los derechos a proteger sus conocimientos y recursos genéticos, y se acordó que en todo momento se hizo saber de los avances, filiaciones institucionales o de información que sea requerida de la investigación. Los resultados que derivan de esta investigación se devolverán al productor, con el fin de poner a su disposición la información relevante de sus parcelas para que lo utilice en su beneficio y bajo su propio criterio, con el propósito de fortalecer sus prácticas de manejo orgánico.

## Referencias

---

- Alayón-Gamboa, J., 2010. Los huertos familiares en Calakmul: diversidad y contribución. *Fomix Campeche Revista*, Apr., pp.7–9.
- Altieri, M., 2004. Agroecology versus Ecoagriculture: balancing food production and biodiversity conservation in the midst of social inequity. [online] Commission on Environmental, Economic & Social Policy CEESP Occasional Papers(3). Available at: <<http://www.wildfarmalliance.org/resources/ECOAG.pdf>>.
- Álvarez-Solís J., Díaz-Pérez E., y León-Martínez N., G.-V.J., 2010. Organic Amendments and Soil Metabolic Activity in Corn Yield. *Terra Latinoamericana*, [online] 28, pp.239–245. Available at: <<http://www.redalyc.org/pdf/573/57316064006.pdf>>.
- Arnhold, S, Lindner, S., Lee, B., Martin, E., Kettering, J., Nguyen, T.T., Koellner, T., Ok, Y.S. y Huwe, B., 2014. Conventional and organic farming: Soil erosion and conservation potential for row crop cultivation. *Geoderma*, [online] 219-220, pp.89–105 <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706114000020>>
- Arteaga, R., López-López, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M., López-Cruz, I., y Sánchez-Cohen, I., 2009. Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego. *Chapingo Serie Horticultura*, 15(1), pp.83–89.
- Baum, C., El-Tohamy, W., y Gruda, N., 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Scientia Horticulturae*, [online] 187, pp.131–141. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423815001211>>
- Bedada, W., Karlun, E., Lemenih, M., y Tolera, M., 2014. Long-term addition of compost and NP fertilizer increases crop yield and improves soil quality in experiments on smallholder farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [online] 195, pp.193–201. Available at: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880914003375>>
- Bender, S.F., y van der Heijden, M.G. a., 2015. Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses. *Journal of Applied Ecology*, [online] 52(1), pp.228–239. Available at: <<http://doi.wiley.com/10.1111/1365-2664.12351>>.



- Boege, E. y Carranza, T., 2007. Vivir con la selva: agricultura sostenible campesino-indígena en el contexto de la selva en el municipio de Calakmul, Campeche. En La experiencia de los Promotores Conservacionistas de la Región de Calakmul. pp.86.
- Borie, F., Rubio, R., Morales, A. y Castillo, C., 2000. Relación entre la densidad de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y producción de glomalina con las características físicas y químicas de suelos bajo cero labranza. *Revista Chilena de Historia*, 73, pp.749–756.
- Cavender, N.D., Atiyeh, R.M., y Knee, M., 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expense of plant growth. *Pedobiologia*, [online] 47(1), pp.85–89. Available at: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031405604701821>>.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2009. Manual para la producción orgánica en áreas naturales en México. Dirección de Actividades Productivas Alternativas Subdirección de Proyectos Productivos Alternativos. México pp20.
- Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. 2010. Nombres de lenguas, pueblos y distribución. Unidad de Planeación y Consulta. Dirección de Información e Indicadores Coyoacán México. Tomado de <http://www.cdi.gob.mx/localidades2005/estados/camp.htm>
- Crittenden, S.J., Poot, N., Heinen, M., van Balen, D.J.M., y Pulleman, M.M., 2015. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. *Soil and Tillage Research*, [online] 154, pp.136–144. Available at: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016719871500135X>>.
- Dai, M., Hamel, C., Bainard, L.D., Arnaud, M. St., Grant, C. a., Lupwayi, N.Z., Malhi, S.S. y Lemke, R., 2014. Negative and positive contributions of arbuscular mycorrhizal fungal taxa to wheat production and nutrient uptake efficiency in organic and conventional systems in the Canadian prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, [online] 74, pp.156–166. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071714001059>>
- Diario Oficial de la Federación, 2014. Protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos y participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de su

- utilización al convenio sobre la diversidad biológica. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, P. de las N.U., Secretaría. pp.16.
- Doan, T.T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J.-L., y Jouquet, P., 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: a three year mesocosm experiment. *The Science of the total environment*, [online] 514, pp.147–54. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715001370>> [Accessed 13 Sep. 2015].
- FAO, 2014. Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional de América Latina y el Caribe. *Hambre en América Latina y el Caribe: acercándose a los Objetivos del Milenio*. pp73 ISBN [978-92-5-308048-9] tomado de <http://www.fao.org/docrep/019/i3520s/i3520s.pdf>
- García-Hernández, J., Valdez Cepeda, R., Servín-Villegas, R., Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, E., Salazar-Sosa, E., Vázquez-Vázquez, E. y T.-D.E., 2009. Manejo de plagas en la producción de hortalizas orgánicas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, [online] 10, pp.15–28.
- González-Rosales, G., Nieto-, A., Murillo-amador, B., Villavicencio-, E.A., Hernández-medina, J.D., y Guerrero-medrano, Z.E., 2012. Guía Técnica para la Producción de Lombricomposta. 1a ed. La Paz, Baja California Sur, México.
- Gutiérrez-Oliva, V.F., Abud-Archila, M., Flores-Pérez, A., Alvarez-Solis, J.D. y Gutiérrez-Miceli, F.A., 2009. Influencia de los hongos micorrizicos arbusculares sobre el crecimiento de vitro plántulas de piña (*Ananas comosus*) con diferentes niveles de fosforo. *Gayana Bot*, 66(1), pp.1–9.
- Gyaneshwar, P., G. Naresh Kumar, L. K. Parekh y P. S. Poole. 2002. Role of Soil microorganisms in improving nutrition of plants. *Plants and Soil*, 245, pp.83-93.
- Hart, M.M. y Forsythe, J.A., 2012. Using arbuscular mycorrhizal fungi to improve the nutrient quality of crops; nutritional benefits in addition to phosphorus. *Scientia Horticulturae*, [online] 148, pp.206–214. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423812004530>>
- Hernández X., E., 1988. La agricultura tradicional en México. *Comercio Exterior*, 38(8), pp.673–678.

- Ibave-González, J.L., 2007. Cuantificación de los diferentes folatos presentes en tomatillo (*Physalis ixocarpa*) por cromatografía de líquidos de alta resolución. *Tecnociencia*, 1(1), pp.9–16.
- Islas-Blancas, A., 2006. Efecto de la fertilización y riego con aguas negras en la calidad poscosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*). Titán. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, pp.90.
- Jiménez-Argüello, M. 2004. Rendimiento y costo de producción de tomate de cascara (*Physalis philadelphica* .Lam) bajo dos sistemas de producción. Tesis profesional. Instituto tecnológico de Comitan, Chiapas México. p 81
- Knudsen, M.T., Meyer-Aurich, A., Olesen, J.E., Chirinda, N. y Hermansen, J.E., 2014. Carbon footprints of crops from organic and conventional arable crop rotations – using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, [online] 64, pp.609–618. <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652613004708>>
- Koohafkan, P., Altieri, M. a., y Gimenez, E.H., 2012. Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 10(1), pp.61–75.
- Ley de productos orgánicos, 2006. El congreso general de los Estados Unidos Mexicanos, decreta en el Diario Oficial de la Federación el 7 de febrero de 2006. Tomada de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPO.pdf>
- López-Uribe, A., 2013. Efecto de suelos quemados sobre las lombrices de tierra (*Oligochaeta*) y la fertilidad del suelo en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. El Colegio de la Frontera Sur.
- Macías, A.M., 2009. Mallas de valor global en la agricultura de hortalizas en México. El caso de Sayula, Jalisco. *Región y Sociedad.*, [online] XXI, pp.113–144. Available at: <<http://www.redalyc.org/pdf/102/10212161005.pdf>>.
- Mbuthia, L.W., Acosta-Martínez, V., DeBryun, J., Schaeffer, S., Tyler, D., Odoi, E., Mpheshea, M., Walker, F., y Eash, N., 2015. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, [online] 89, pp.24–34. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071715002217>>

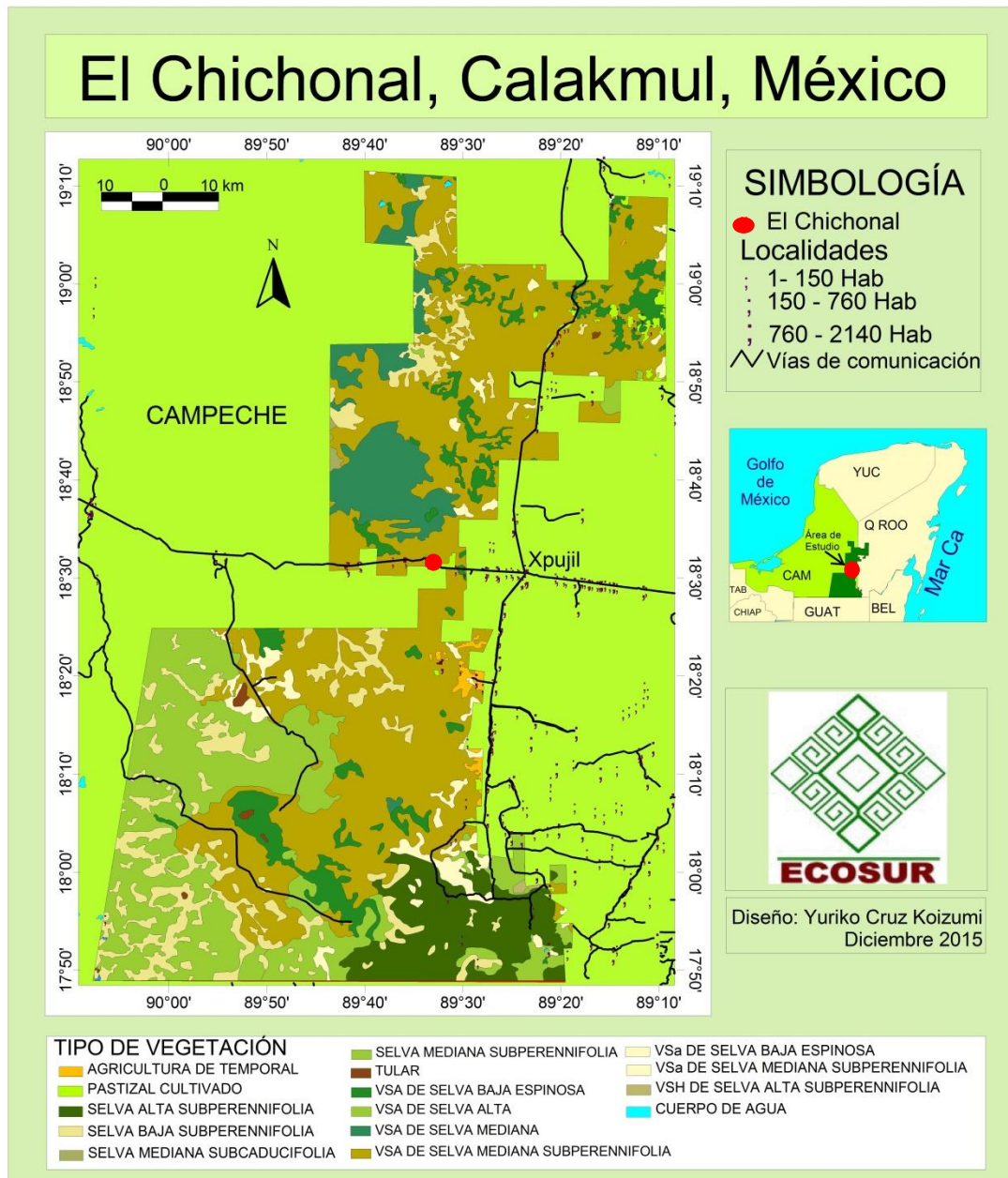
- Méndez, E. y Gliessman, S.R., 2002. Un enfoque interdisciplinario para la investigación en agroecología y desarrollo rural en el trópico latinoamericano. pp.5–16.
- Moreira, F., Jeroen-Huising, A. y Bignell D. 2012. Manual de biología de suelos tropicales Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. Primera Edición. México pp. 360
- ONU. 1992. Convenio sobre la diversidad biológica. Cumbre de la Tierra, Rio de Janeiro, Brasil pp. 36
- Patil, S., Reidsma, P., Shah, P., Purushothaman, S., and Wolf, J., 2012. Comparing conventional and organic agriculture in Karnataka, India: Where and when can organic farming be sustainable? *Land Use Policy*, [online] 37, pp.40–51. Available at: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837712000087>>.
- Pava, I. 2011. Degradación del suelo: problemática mundial y local. CESPCA - Centro de Estudios Políticos y Socioculturales del Caribe. Tomado de [http://www.cepsca.org/cariboost\\_files/Degradacion\\_Suelos.pdf](http://www.cepsca.org/cariboost_files/Degradacion_Suelos.pdf)
- Puech, C., Baudry, J., Joannon, A., Poggi, S., and Aviron, S., 2014. Organic vs. conventional farming dichotomy: Does it make sense for natural enemies? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [online] 194, pp.48–57. Available at: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880914002795>>
- Quinton, J.N., Govers, G., Van Oost, K. y Bardgett, R.D., 2010. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience*, [online] 3(5), pp.311–314.
- Schneider, K.D., Lynch, D.H., Dunfield, K., Khosla, K., Jansa, J., y Voroney, R.P., 2015. Farm system management affects community structure of arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology*, [online] 96, pp.192–200. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139315300512>> [Accessed 3 Sep. 2015].
- Scialabba, N.E.-H., y Müller-Lindenlauf, M., 2010. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*, [online] 25(02), pp.158–169. Available at: <[http://www.journals.cambridge.org/abstract\\_S1742170510000116](http://www.journals.cambridge.org/abstract_S1742170510000116)> [Accessed 27 May 2014].

- Secretaría Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. 2013. Curiosidades del tomate de cáscara. Modificado por, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas – SNICS. México DF. <http://snics.sagarpa.gob.mx/2013-B033.aspx>
- Seufert, V., Ramankutty, N. y Foley, J. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, [online] 485(7397), pp.229–32 Available at: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22535250>>.
- Shiva, V., 1993. *The Violence of the Green evolution*. London, UK: Zed Books Ltd. pp 257.
- Singh, R., Sharma, R.R., Kumar, S., Gupta, R.K., y Patil, R.T., 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Bioresource technology*, [online] 99(17), pp.8507–11. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408002599>>.
- Singh, R., Gupta, R.K., Patil, R.T., Sharma, R.R., Asrey, R., Kumar, A., y Jangra, K.K., 2010. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*, [online] 124(1), pp.34–39. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423809005196>>.
- Taylor, P., Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N. y Harwood, R., 2003. Agroecology: The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22:3(September 2013), pp.99–118.
- Taylor, P., Muramoto, J. y Gliessman, S.R., 2013. Encyclopedia of Environmental Management Bioindicators: Farming Practices and Sustainability Bioindicators: Farming Practices and Sustainability. In: *Encyclopedia of Environmental Management Bioindicators: Farming Practices and Sustainability*. pp.352–365.
- Tian, W., Wang, L., Li, Y., Zhuang, K., Li, G., Zhang, J., Xiao, X., y Xi, Y., 2015. Responses of microbial activity, abundance, and community in wheat soil after three years of heavy fertilization with manure-based compost and inorganic nitrogen. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [online] 213, pp.219–227. Available at: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880915300530>>.

- Williams, A. y Hedlund, K., 2013. Indicators of soil ecosystem services in conventional and organic arable fields along a gradient of landscape heterogeneity in southern Sweden. *Applied Soil Ecology*, [online] 65, pp.1–7. Available at: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0929139312002971>>
- Zamilpa Mejía N. 2013, Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012. FAO México. P287 ISBN 978-92-5-307622-2
- Zhang, X., Wu, X., Zhang, S., Xing, Y., Wang, R. y Liang, W., 2014. Catena Organic amendment effects on aggregate-associated organic C, microbial biomass C and glomalin in agricultural soils. *Catena*, [online] 123, pp.188–194. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.011>>.

## Anexos

### Anexo 1: Ubicación de la RBC y del área de estudio



## Resumen Curricular

---

### Información Personal

Nombre: **Yuriko Pilar Cruz Koizumi**

Fecha de Nacimiento Distrito Federal, México, 5 de Septiembre, 1988

Nacionalidad: Mexicana

Emails: ypcruz@ecosur.edu.mx,

### Licenciatura en Biología

Titulado con Mención Honorífica

Cedula Profesional: 7124869

Área de Estudio: CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

Institución Educativa: UNAM, Facultad de Estudios Superiores Iztacala

Del: 01-08-2006 hasta el: 30-08-2010

### EXPERIENCIA:

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México

Cargo: Profesor asistente en la FES -Cuautitlán UNAM, Lab de Bioquímica

Fecha: 06- 2013 al 12- 2013

Oficina Municipal: Desarrollo agrario y medio ambiente

Puesto: Asesor y promotor agrícola en Teoloyucan, Estado México

Del: 10-02- 2013- al 01-05- 2013

Educación: Programa de Agricultura Urbana para inclusión laboral con jóvenes con Síndrome de Down

Institución: Kandinsky

Puesto: Clases de Hidroponía y agricultura orgánica

Del: 15-10-12 al 15-12-2012

Proyecto: Inventario Nacional Forestal y de Suelos

Empresa: Diaaproy S.A de CV

Puesto: Prestador de Servicios Profesionales de para el INFyS como Auxiliar de Campo y Campamento.

Del: 01-02-12 al 01-10-12

Institución: INIFAP, Lab. Desarrollo Forestal Sustentable de la CENID COMEF

Proyecto: Validación de un modelo predictivo para la producción de esporomas comestibles silvestres en bosques de *Pinus ssp.* en Tlaxco, Tlaxcala

Puesto: Auxiliar de Campo.

Del: 01-07-10 al 01-8-11

Institución: INIFAP, Lab. de Geomántica de la CENID COMEF

Proyecto: Comparación entre 3 modelos MCG y uno regional de cambio climático para estimar el Balance Hídrico del estado de Coahuila en 2030, 2050 y 2080".

Puesto: Asistente de Investigación, Tesista

Del: 01-09-2009 al 29-04-11