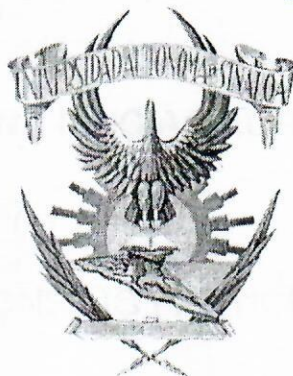


Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Agronomía
Doctorado en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

“Uso de composta, minerales primarios amorfos y microorganismos para la producción y calidad de tomate”

Que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA:
JUAN MARTÍN PARRA DELGADO

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ

CO-DIRECTOR DE TESIS:
DR. EDGAR QUERO GUTIÉRREZ

Culiacán, Sinaloa, México, Agosto de 2015

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **JUAN MARTÍN PARRA DELGADO**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTORA



DRA. TERESA DE JESUS VELÁZQUEZ ALCARAZ

CO-DIRECTOR




DR. EDGAR QUERO GUTIÉRREZ

ASESOR



DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA

ASESOR



DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS

ASESOR



DR. FELIPE AYALA TAFOYA

Culiacán, Sinaloa, México. Agosto de 2015



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán, Sin. el día 13 del mes de Julio del año 2021, el (la) que suscribe Juan Martín Parra Delgado alumno (a) del Programa de Colegio Ciencias Agropecuarias de la UAS con número de cuenta 9666106-2, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz, Edgar Quero Gutiérrez, Leopoldo Partida Ruvalcaba, Tomás Díaz Valdés y Felipe Ayala Tafoya y de acuerdo al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor, cede los derechos del trabajo intitulado "Uso de composta, minerales primarios amorfos y microorganismos para la producción y calidad de tomate", a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su publicación, difusión, edición, reedición, traducción, compilación, distribución y explotación en medios impresos y digitales, con fines académicos y de investigación, la que será titular del mismo, en forma conjunta o separada con el autor.

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de ésta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

En apego al Art. 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor Cedo el derecho de publicación, difusión, edición, reedición, traducción, compilación, distribución y explotación en medios impresos y digitales, con fines académicos y de investigación a la Universidad Autónoma de Sinaloa.

Juan Martín Parra Delgado



UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

DEDICATORIA

A MI ESPOSA: OFELIA

A MIS HIJOS: ITZEL FERNANDA, MARTIN EDUARDO Y VALERIA ANAHY

**A MIS PADRES: VICTOR SALVADOR PARRA MEDRANO (q.e.p.d. †) Y
TERESA DELGADO REYES (q.e.p.d. †)**

**A MIS HERMANOS: ELVIA (q.e.p.d. †), Ma. DE LOS ÁNGELES Y
VICTOR SALVADOR**

POR SU GRAN AMOR Y APOYO DE SIEMPRE

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico para la realización de mis estudios de doctorado.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa y al Colegio de Ciencias Agropecuarias por su apoyo para continuar con mi formación profesional en el programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

A la Facultad de Agronomía por las facilidades otorgadas para realizar estudios de Doctorado, además de facilitarme sus instalaciones para la realización de la presente investigación.

Al Colegio de Michoacán por su apoyo al presente trabajo.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Unidad Culiacán: a la Dra. María Dolores Muy Rangel, al Dr. Raymundo Saúl García Estrada y MC Laura Aracely Contreras Angulo por su apoyo al presente trabajo.

A la Dra. Teresa de J. Velázquez Alcaraz por su dirección en la realización del presente trabajo.

Al Dr. Edgar Quero Gutiérrez por compartir su valiosa experiencia y sus acertadas opiniones para la culminación del presente trabajo.

Al Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba por sus sugerencias y valiosos consejos para culminar el presente escrito.

Al Dr. Tomás Díaz Valdés y Dr. Felipe Ayala Tafoya por sus valiosas sugerencias.

Al M.C. Blás Galván Piña por su apoyo y orientación en los análisis estadísticos.

Al Ing. Ismael Bello Vera por sus certeros consejos y apoyo.

A mis compañeros y amigos de doctorado: Marino Valenzuela López, Juan Ángel García Sañudo, Moisés Gilberto Yañez Juárez y Ricardo López España.

A Ing. Luz LLarely Cázarez Flores, Ing. Julia Velasco Girón, Ing. Juan Carlos Mojardín, Ing. Gerardo López Tapia, C. Marco Antonio Verdugo Alarcón, C. Cuauhtémoc Ruiz López C. Jesús Alfonso Jacobo Melo, por su valiosa y decidida colaboración para la realización del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1. Tratamientos utilizados para la producción de tomate saladette en invernadero. Ciclo agrícola 2011-2012. Culiacán, Sinaloa, México.	25
Tabla 2.2. Características físico-químicas de la composta y minerales primario amorfos y concentraciones utilizadas de las especies del consorcio microbiano.	26
Tabla 2.3. Producción de tomate saladette (extra grande, grande, mediano, chico y producción total), con el uso de solución Steiner, composta, minerales primarios amorfos y microorganismos.	28
Tabla 2.4. pH, acidez titulable y sólidos solubles totales de tomate saladette a los 0, 8 y 16 días de almacenamiento a 20 °C y 85 % de humedad relativa.	29
Tabla 3.1. Tratamientos utilizados para la producción de tomate saladette en invernadero. Ciclo agrícola 2011-2012. Culiacán, Sinaloa, México.	40
Tabla 3.2. Características físico-químicas de la composta y minerales primarios amorfos y concentraciones utilizadas de las especies del consorcio microbiano.	41

Tabla 3.3.	Contenido de macronutrientes del suelo antes del trasplante y después de la cosecha. Ciclo agrícola 2011-2012. Culiacán, Sinaloa, México.	44
Tabla 3.4.	Contenido de micronutrientes y elementos beneficiosos del suelo antes del trasplante y después de la cosecha. Ciclo agrícola 2011-2012. Culiacán, Sinaloa, México.	48
Tabla 3.5.	Variables químicas del suelo antes del trasplante y después de la cosecha. Ciclo agrícola 2011-2012. Culiacán, Sinaloa, México.	52
Tabla 3.6.	Producción y calidad de tomate saladette: extra grande, grande, mediano, chico y producción total, con el uso de solución Steiner, composta, minerales primarios amorfos y consorcio microbiano.	53

RESUMEN GENERAL

Uso de composta, minerales primarios amorfos y microorganismos para la producción y calidad de tomate

JUAN MARTÍN PARRA DELGADO

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar el efecto de la composta bocashi, minerales primarios amorfos y microorganismos en el rendimiento y calidad postcosecha de tomate tipo saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill.), híbrido "Moctezuma". El cultivo se realizó en suelo bajo condiciones de invernadero, durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2011-2012. Se utilizó una densidad de población de 2,5 plantas m², manejadas a un tallo y con una separación de 1,6 m entre hileras. La composta bocashi, minerales primarios amorfos y los microorganismos fueron incorporados al suelo 30 días antes del inicio del cultivo, y estos últimos también se aplicaron después del trasplante. Se evaluó el rendimiento total y de tomates extra grandes, grandes, medianos y chicos de ocho racimos por planta, así como su calidad postcosecha. Para las variables de rendimiento se consideró un diseño experimental de bloques completos al azar conformado por nueve tratamientos, mientras que para el estudio de calidad postcosecha se utilizó un diseño completamente al azar con los mismos tratamientos. El mayor rendimiento (114.0 Mg ha⁻¹) se obtuvo con el tratamiento compuesto por 25 y 6 Mg ha⁻¹ de composta y minerales primarios amorfos, respectivamente, el cual superó en 9,3 % a los rendimientos logrados solo con la solución Steiner, aunque sin diferencia estadísticamente significativa entre ambos promedios. Los tratamientos no tuvieron ningún efecto en el pH, la acidez titulable y los sólidos solubles totales. La composta, minerales primarios amorfos y microorganismos hicieron que el suelo incrementara su fertilidad desde antes del trasplante, y hasta la cosecha se continuara proveyendo de suficientes nutrientes, con excepción del Cl y S, ya que no fueron detectados después de la cosecha. Las deficiencias de Cl y S quizás fueron una de las causas por las que las plantas no produjeron más allá de lo logrado con solución Steiner o con T₈, este último que a su vez permitió manejar más sustentablemente al suelo y plantas que con solución Steiner, ya que con T₈ se aportó materia orgánica y minerales asimilables por las plantas.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., macronutrientes y micronutrientes, elementos beneficiosos, óxido-reducción, sustentabilidad.

GENERAL ABSTRACT

Use of compost, primary amorphous minerals and microorganisms for production and quality of tomato

JUAN MARTÍN PARRA DELGADO

This research was carried out with the aim to determine the influence of the bocashi compost, amorphous primary minerals and microorganisms in post-harvest yield and quality of saladette tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hibrid "Moctezuma". The crop was carried in soil under greenhouse conditions during the agricultural cycle 2011-2012 autumn-winter. A population density of 2.5 plants m² managed to a single stem and a separation of 1.6 m between rows was used. The bocashi compost and amorphous primary minerals were incorporated into the soil 30 days before the start of cultivation. Total and extra large, large, medium and small tomatoes yields of eight clusters per plant and their postharvest quality were evaluated. An experimental design of randomized complete blocks with nine treatments was applied for yield variables, while a completely randomized design was used for postharvest quality variables. The highest yield (114.0 Mg ha⁻¹) was obtained with the treatment consisting of 25 and 6 Mg ha⁻¹ of compost and amorphous primary minerals, respectively, which exceeded 9.3% those achieved with the Steiner solution based treatments, although no significant statistically difference were found between the two averages. pH, titratable acidity and total soluble solids of fruits were not significantly affected by treatments.

Compost, amorphous primary minerals and soil microorganisms caused increase fertility before transplantation and is continued until harvest providing sufficient nutrients except the Cl and S, and which were not detected after harvest. Deficiencies of Cl and S were perhaps one of the reasons why plants did not produce beyond that achieved with Steiner solution or T8, the latter in turn allowed more sustainably manage the soil and plants with Steiner solution, T₈ as with organic matter and assimilable mineral was supplied by plants.

Keywords: *Lycopersicon esculentum* Mill, Macronutrients and micronutrients, beneficial elements, redox, sustainability.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE TABLAS	i
RESUMEN GENERAL	iii
GENERAL ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL Y REVISIÓN DE LITERATURA	1
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
1.2.1. Breve historia de la agricultura	4
1.2.1.1. Julius Hensel	5
1.2.1.2. Justus Liebig	7
1.2.1.3. Rudolf Steiner	8
1.2.1.4. Ehrenfried Pfeiffer	9
1.2.1.5. Norman Borlaug	10
1.3. El Suelo	11
1.3.1. Minerales primarios amorfos	12
1.3.2. Remineralización	13
1.3.3. Fertilidad del suelo	13
1.3.4. Calidad de suelo	14
1.3.5. Salud de suelos	15
1.4. Materia orgánica del suelo (MOS)	15
1.4.1. Mineralización de la MOS	17
1.4.2. Carbono orgánico del suelo (COS)	18
1.5. Microorganismos del suelo	18
1.5.1. Consorcio microbiano	19
1.6. Agricultura sustentable	20
1.6.1. Composta	20

1.7. Agroecosistemas	21
CAPÍTULO 2. USO DE COMPOSTA, MINERALES PRIMARIOS AMORFOS Y MICROORGANISMOS PARA LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE TOMATE	23
2.1. INTRODUCCION	23
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	24
2.3. RESULTADOS	27
2.4. DISCUSIÓN	30
CAPÍTULO 3. RENDIMIENTO DE TOMATE EN UN SUELO TRATADO CON COMPOSTA, MINERALES PRIMARIOS AMORFOS Y MICROORGANISMOS	35
3.1. INTRODUCCIÓN	35
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES	55
4.1. CONCLUSIONES	55
CAPÍTULO 5. LITERATURA CITADA	57

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL Y REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La agricultura sustentable es la gestión exitosa de los recursos naturales para la agricultura y satisfacer las cambiantes necesidades humanas, y mantener o mejorar la base de los recursos naturales para evitar la degradación del medio ambiente (BIFAD, 1988). La función más universalmente reconocida del suelo es su apoyo a la producción alimentaria. Es la base para la agricultura y el medio en el que crecen casi todas las plantas de las que obtenemos los alimentos. De hecho, se estima que el 95% de los alimentos se produce directa o indirectamente en los suelos. Los suelos sanos suministran los nutrientes esenciales, agua, oxígeno y el soporte para las raíces de las plantas productoras de alimentos y hacer frente a las fuertes fluctuaciones de temperatura (FAO, 2015).

La investigación y el manejo de la fertilidad del suelo, concierne a la cantidad y disponibilidad de los nutrientes esenciales para la plantas en cantidad y disponibilidad, las reacciones químicas que suceden en el suelo, la pérdida de nutrientes que los hace inaccesibles para las plantas de cultivo, la forma y los medios de reposición (Prasad y Power, 1997) deben ser estudiados. En este sentido los ciclos biogeoquímicos son de vital importancia pues involucran a componentes geológicos (N, C, P, K, Ca, Mg, S, Na, Cl) y biológicos del ecosistema como el agua, los productores, consumidores y degradadores (Curtis y Sue, 2001) y son de fundamental importancia para mantener el equilibrio de naturaleza debido a su participación y reutilización de los elementos en el ecosistema (Fournier, 2003). Todos los organismos vivos contribuyen a los ciclos biogeoquímicos, pero los microorganismos, debido a su gran abundancia, sus enormes capacidades metabólicas y el potencial de adaptación, desempeñan un papel clave en el funcionamiento y la evolución de los ciclos biogeoquímicos. En consecuencia, son fundamentales en la adaptación, resistencia y capacidad de recuperación de los ecosistemas (Bertrand *et al.*, 2015)

Sin embargo, las etapas esenciales de los ciclos globales del H₂O, C, N, P y S que suceden en el suelo, la velocidad del reciclaje y la disponibilidad de estos elementos están siendo alteradas continuamente por las diferentes formas de vida y por la constante búsqueda de fuentes de alimento y energía. Los procesos de descomposición y respiración que suceden en él tienen un papel importante para el mantenimiento del balance entre la producción y el consumo del CO₂ de la biosfera, tanto al reciclar el C atmosférico que está en forma de CO₂, como en la formación de la materia orgánica, la cual es reservorio no solo del C atmosférico sino de otros elementos (Cerón *et al.*, 2005).

Entre las características de los agroecosistemas están: a) los flujos de energía, donde un ecosistema maduro y bien desarrollado es capaz de mantener su productividad de manera sustentable mediante la entrada de energía solar; b) los ciclos de nutrientes, en el cual los elementos circulan dentro del ecosistema, siendo su destino final preferentemente la materia orgánica, c) mecanismos de control de las poblaciones en los ecosistemas naturales que se establece a través de complejas interacciones bióticas y juegos de poder, conducidos por la biodiversidad y determinados por el ambiente y la disponibilidad de espacio y alimento (Labrador, 2001).

Asimismo, los mecanismos de óxido-reducción permiten entender las causas de deficiencias nutricionales en diversos cultivos y por lo tanto también, plantear medidas adecuadas para su remediación de una manera sostenible, lo mismo que recomendar acciones conducentes al incremento de la productividad de terrenos con limitaciones de disponibilidad de nutrientes (Scheffer, 1992).

Los nutrimentos son secuestrados y liberados de la materia orgánica por dos procesos distintos: biológicos (N, P, S) y químicos (Ca, Mg, K) (Meléndez y Soto, 2003).

Una de las funciones más relevantes de la materia orgánica, es que actúa como reservorio de carbono (C) y nutrientes para las plantas; de allí radica la

importancia de mantener una buena fertilidad y elevar la calidad de la misma en el suelo (Pulido *et al.*, 2010).

La disminución del contenido de materia orgánica del suelo puede también provocar una reducción de la capacidad de adsorción e inmovilización de bioelementos y una mayor persistencia, por menor degradación de los ingredientes activos de los agroquímicos (Silva *et al.*, 2006).

El uso de compostas, vermicompostas, humus de lombriz (sólido y líquido), abonos verdes (leguminosas y no leguminosas) representan una alternativa ecológica para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos y sustituir el uso de fertilizantes inorgánicos, especialmente en cultivos orgánicos (Rippy *et al.*, 2004).

El suelo está compuesto por más de 1300 diferentes minerales primarios ricos en silicio (Mg, Ca, K, Fe, P, Zn, Cu, S) etc., los cuales son disueltos, por la materia orgánica y los microorganismos para la nutrición de las plantas. Los suelos con alto contenido de minerales primarios (feldespatos, anfíbolos y piroxenos, etc.) ofrecen una reserva considerable de nutrientes (FitzPatrick, 1996). Así el método de remineralización de suelos, consiste en adicionar minerales primarios amorfos (MPA). Los MPA se caracterizan por ser materiales sólidos que tienen diferente composición y concentración de; Oxígeno (O^{2-}), Silicio (Si^{4+}), Hierro (Fe^{2+}), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Zinc (Zn^{2+}), Potasio (K^+), Sodio (Na^+), Fósforo (P^{5+}), y Carbón (C^{4+}). De estos el oxígeno ocupa más del 50% de la concentración, por lo que los cationes están presentes en el estado oxidado. Los MPA en presencia de agua, forman una fase soluble y otra sólida intemperizada, la velocidad de este proceso puede variar de días a miles de años, la remineralización permite mantener un flujo constante de elementos que emplea la planta en su nutrición (Quero, 2007).

La composición de la fase soluble es influenciada por el tiempo de la exposición de los MPA al agua de lluvia y riego, al bióxido carbono (CO_2) del ambiente o bien producto de la descomposición de la materia orgánica, la actividad biológica del

suelo y al calentamiento del suelo debido a la radiación solar. En la fase soluble, se encuentra el silicio en la forma de ácido ortosilícico (H_4SiO_4) como monómero, y también en diferentes grados de polimerización y coloides, mismos que forman sales con los cationes presentes, dando lugar a silicatos que promuevan la creación de gradientes de concentración de nutrientes minerales desde el suelo a los tejidos de la planta (Quero, 2007). Se pueden formar agroecosistemas resilientes para mantener su estructura organizacional y productividad después de una perturbación. Esta perturbación puede consistir en un estrés frecuente, acumulativo o impredecible. Así la resiliencia contiene dos propiedades: resistencia al shock y capacidad y velocidad de recuperación después del shock. Un agroecosistema resiliente sería capaz de producir alimentos aun después de sufrir los efectos de una sequía o una tormenta, o también de un incremento repentino de los precios del petróleo o de una escasez de insumos externos, etc (Nichols y Altieri, 2012).

1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

1.2.1. Breve historia de la agricultura

Desde la invención de la Agricultura, posiblemente 80 siglos AC hasta el siglo XVIII, la humanidad acumuló gran cantidad de conocimiento empírico sobre el cultivo y el aprovechamiento de plantas y animales, lo que permitió el florecimiento de sus grandes civilizaciones. La fermentación, nixtamalización, irrigación, el arado, la rueda, los arneses para la tracción animal, los estiércoles, los abonos verdes y la cal ya se conocían y se usaban en el cultivo y aprovechamiento de un extenso inventario de especies de cereales, leguminosas, oleaginosas, raíces y tubérculos y otras especies productoras de alimentos y fibras útiles (Turrent-Fernández y Cortés-Flores, 2005).

1.2.1.1 Julius Hensel

"Panes de piedra por la fertilización de los campos", fue el título que Julius Hensel, hace más de un siglo, escogió para su libro. Pero quién lo iría a entender?

Hansel compatriota de Martín Lutero, con sus escritos está revolucionando la agricultura con la remineralización de los suelos. El lema de Hensel fue "las fuerzas nutritivas aún desconocidas de las rocas"

Nosotros no sabemos cuál es la diferencia entre la leche materna y la leche en polvo, ni siquiera conocemos la diferencia entre la leche humana y leche materna, o que la leche de vaca es la leche en polvo.

En el prefacio de Panes de Piedra, escrito el primero de octubre de 1893, Hensel se pregunta ¿Qué se conseguirá al fertilizar con polvo de piedras?

Se conseguirá: 1) convertir las piedras en "alimento" y transformar regiones áridas en fructíferas, 2) alimentar al hambriento, 3) lograr que sean cosechados cereales y forrajes sanos y, de esta manera prevenir epidemias y enfermedades en hombres y animales, d) hacer que la agricultura sea nuevamente un oficio rentable y ahorrar grandes sumas de dinero, que hoy en día son invertidas en fertilizantes que en gran parte son perjudiciales e inútiles y e) hacer que el campesino desempleado regrese a la vida del campo, al instruirlo sobre las inagotables fuerzas nutritivas, hasta ahora desconocidas, que se encuentran conservadas en las rocas, el aire y el agua.

Explica Hansel que, en un principio las plantas crecían en un suelo formado de la desintegración del material de las montañas sin ningún tipo de aditivo artificial. El ácido carbónico del aire combinado con los constituyentes básicos potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro y manganeso, que se encontraban combinados en material rocoso desintegrado con ácido silícico, aluminio, azufre, fósforo, cloro y flúor, y con la cooperación de la humedad y la operación del calor y la luz solar, ocasionó la generación de tejido celular vegetal. Las sustancias gaseosas, ácido carbónico (dióxido de carbono), vapor de agua y el nitrógeno del aire adquieren la

firme forma del tejido celular vegetal y de la proteína vegetal únicamente gracias a la estructura básica de potasio, sodio, calcio y magnesio, sin los cuales ninguna raíz, tallo, hoja o fruta se ha encontrado; ya sea que quememos las hojas de la haya, las raíces del bleo o del sauce, los granos del centeno, o ya sea madera, paja o lino, peras, cerezas o semillas de nabo, siempre queda un residuo de cenizas, las cuales en variadas proporciones consisten en potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, flúor, y sílice. Con respecto al nitrógeno, que se forma con el vapor del agua en presencia del hierro, el cual se encuentra presente en todo los suelos, se transforma de acuerdo a la formula $N_2H_6O_3Fe_2 = N_2H_6Fe_2O_3$ (todo óxido de hierro que se forma con el rocío de la noche a partir del hierro metálico Fe_2O_3 , contiene amoníaco).

También indica que en cualquier lugar donde entre tierra en actividad, como al pie de las montañas puede encontrarse un vigoroso crecimiento de plantas, especialmente cuando el ácido carbónico en abundancia se adhiere a las rocas como en las regiones de Jura. La carretera entre Basilea y Biel es muy instructiva con respecto a esto. Por el contrario, se ha visto que en las regiones muy densamente pobladas como por ejemplo en China y Japón, después de haber cultivado durante varios miles de años, la tierra, agotada de los materiales que forman las células, se vuelve renuente a producir tantas plantas nutritivas como las necesitadas por el hombre y los animales para su sustento.

Para conseguir un suelo fértil no necesitamos esperar mil años hasta que el frío del invierno, la nieve y la lluvia desintegren el material rocoso y lo traigan a los valles. Sólo tenemos que poner a trabajar nuestras manos para obtener las rocas adecuadas, las sustancias necesarias para rejuvenecer el viejo y gastado suelo y conducirlo nuevamente a su virgen estado de fertilidad original. (Hensel, 1894).

1.2.1.2. Justus Liebig

Fueron tantos los originales logros de Liebig en el campo de la química orgánica y sus métodos de análisis, que, como destaca el profesor Segundo Jiménez, con razón se le puede considerar uno de sus fundadores. Pero fue, sobre todo, el propulsor de sus aplicaciones a la fisiología vegetal y animal, a la agricultura y a la patología. Los primeros tres grandes tratados (Liebig 1840, 1840 b y 1842), y los escritos de divulgación en forma de cartas (Liebig 1845 y 1851) van dando forma a lo que hoy conocemos como Química Agraria.

Ya el segundo de aquéllos (la química orgánica aplicada a la fisiología vegetal y a la agricultura) causó un enorme impacto en el mundo de la ciencia, se tradujo a varios idiomas y se tiraron tres ediciones... Con una exposición elegante y un fino sarcasmo -dice el tantas veces citado Russell se dedicó a desdeñar a los fitofisiólogos y agrónomos de su tiempo por su continua adhesión, a pesar de las pruebas acumuladas, a la idea de que las plantas derivaban su carbono del suelo y no del ácido carbónico del aire. "Todas las explicaciones de los químicos quedaron sin fruto e inútiles porque todavía para las grandes cabezas de la fisiología, ácido carbónico, amoníaco, ácidos y bases, son palabras sin significado, palabras sin sentido, términos de un lenguaje que no despiertan pensamientos ni asociaciones. Los experimentos citados por los fisiólogos en apoyo de sus ideas carecen todos de valor para decidir sobre cualquier cuestión. Estos experimentos los consideran ellos como pruebas convincentes y, en realidad, únicamente sirven para despertar piedad. Y los sarcasmos de Liebig hicieron lo que no habían podido conseguir la lógica de Saussure o de Boussingault: acabar completamente con la teoría del humus y afirmar las bases de la teoría mineral".

Con la teoría mineral Liebig no admitía como sustancias indispensables más que aquellas que aparecían en las cenizas de las plantas. El nitrógeno era de importancia secundaria porque, en su opinión, existía casi siempre una cantidad considerable en los suelos por lo que no había lugar a su restitución. La nueva teoría mineral decía también Liebig admite que el alimento de todas las plantas, a

excepción de los hongos, es de naturaleza inorgánica, y que solamente en el organismo vegetal es donde la materia mineral se convierte en una sustancia susceptible de actividad orgánica. Por medio de elementos inorgánicos es como la planta produce todos los principios inmediatos que constituyen su propia sustancia, y que de principios simples nacen los muy complicados de la sangre, de la que todo el organismo animal está formado. Los vegetales, argüía, asimismo, tienen una fuente inagotable de ácido carbónico en el aire, pero se ahorra tiempo en las etapas iniciales del desarrollo vegetal si el ácido carbónico va siendo generado en el suelo, pues entonces -afirmaba erróneamente- penetra en las raíces de las plantas y proporciona una cantidad mucho más elevada de sustancia nutritiva que aquellas que están tomando las pequeñas hojas; por esta razón un aporte de humus, el cual está produciendo continuamente ácido carbónico, es ventajoso. Además, el ácido carbónico ataca y disuelve algunos de los compuestos alcalinos del suelo, incrementando así el suministro de alimento mineral. La verdadera función del humus es generar ácido carbónico.

Con el tiempo desarrolló su tesis y le dio forma cuantitativa: las cosechas en un terreno disminuyen o aumentan en proporción exacta a la disminución o aumento de las sustancias minerales aportadas en el abono. Más adelante añade lo que después había de considerarse como *Ley del mínimo: por la deficiencia o ausencia de un constituyente necesario, estando todos los demás presentes el suelo se convierte en estéril para todos los cultivos en la vida de los cuales aquel especial constituyente es indispensable* (Wallace, 1993).

1.2.1.3. Rodoulf Steiner

En el último año de su vida, el filósofo austríaco Rudolf Steiner desafió la dirección y la práctica de la agricultura contemporánea. Esta fue una respuesta temprana a la proliferación de la agricultura química. Steiner sentó las bases para una agricultura alternativa, una que haría "sanar la tierra"; en el curso de agricultura donde impartió, ocho conferencias en Koberwitz (ahora Kobierzyce, Polonia) en

“organismo” y asentó “en verdad, la granja es un organismo vivo”. También señaló que una granja es fiel a su naturaleza esencial, en el mejor sentido de la palabra, si se concibe como una especie de entidad individual y autónoma. Cada granja debe aproximarse a esta condición lo que se necesita para la producción agrícola está dentro de ella, dentro de la finca en sí. También indicó que sus recomendaciones agrícolas deben ser probadas experimentalmente, que la eficacia de los métodos deben ser probados y demostrables y posteriormente publicados. Así, Steiner puso en marcha un proceso que condujo al desarrollo, la articulación, y la denominación de la agricultura biodinámica, que culminó con la publicación de Agricultura Biodinámica y Jardinería por Ehrenfried Pfeiffer en 1938. (Paull, 2011).

La agricultura biodinámica despierta hoy gran interés en numerosas personas. Podemos preguntarnos cómo puede ella contribuir a la producción agrícola de manera que produzca suficientes alimentos para las presentes generaciones y futuras; alimentos que aseguren la buena salud del cuerpo y del espíritu, exentos de residuos químicos nocivos, cultivados sin contaminar el ambiente, sin devastar los paisajes ni destruir las comunidades animales y vegetales; alimentos, en fin; cuya producción no precise un gasto abusivo de las materias primas y de la energía de nuestro planeta. Hoy tras más de 70 años, este nuevo método agrícola se practica en miles de granjas de ambos hemisferios. Asimismo La ordenación biológica significa reconciliar las condiciones vitales de un sistema sano, estable y productivo con las necesidades económicas y con los conocimientos y el interés del grájero o del hortelano (Koeopf, 2001).

1.2.1.4. Ehrenfried Pfeiffer

Pfeiffer fue un pionero de la agricultura biodinámica en Europa, Gran Bretaña y América. Él es más conocido por su trabajo innovador fue el compostaje. Llevó a cabo una amplia investigación sobre la preparación y uso de composta biodinámica y fue el inventor de “Compost Starter”, un inoculante para la

composta. Durante muchos años Pfeiffer fue consultor de compostas en centros de compostaje municipales, sobre todo de Oakland, California, así como en los países del Caribe, Europa y el Lejano Oriente. Una dificultad técnica con el composta fue que no se podía esparcir rápidamente con la abonadora de uso común, por lo cual el proyecto finalmente fracasó.

Pfeiffer inventó dos métodos antroposóficos que formaban una imagen. Uno de ellos fue la cromatografía en papel, método que utiliza papel filtro (cromatografía circular). Los patrones de cromatografía circulares que pueden ser "leídos" se basan en muestras conocidas. Se requiere mucha práctica para "leer" e interpretar las imágenes.

Pfeiffer consideró que las imágenes mostraban la presencia de fuerzas vitales o fuerzas formativas etéricas y se podrían utilizar para medir la calidad o la vitalidad en los alimentos, como producidos por el método biodinámico (Brinton, 1997)

1.2.1.5. Norman Borlaug

No es exagerado decir que Norman Borlaug inventó la agricultura moderna - la *revolución verde* de los años sesenta, pero él creía que debía ser más moderna aún. La biotecnología, según él, era la forma de aumentar la producción de alimentos sin invadir más terrenos para hacer cultivos, evitando los riesgos de erosión, de inundaciones catastróficas y de mermas de biodiversidad. De 1964 a 1979 dirigió el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo mexicano. Ya desde los años cuarenta, su trabajo en programas de investigación desarrollados en México sentó las bases de la llamada *revolución verde*, un gran salto en la tecnología de mejora y selección de semillas que permitió a muchos países del Tercer Mundo alcanzar la autosuficiencia en la producción agrícola. Las semillas fueron facilitadas libres de cargos a los países en desarrollo.

Norman Borlaug desarrolló programas similares por todo el mundo. Enviado por la FAO a la India, entre 1960 y 1965 logró multiplicar por diez las cosechas de trigo de este país mediante cruces de variedades orientales y occidentales. Diversos

países asiáticos que aplicaron sus métodos, como Bangladesh, Pakistán y Turquía, llegaron a duplicar o triplicar su producción. Llamado "el cerebro de la revolución verde", Borlaug defendió siempre la necesidad de priorizar agricultura y la ganadería sobre los demás sectores para acabar con el hambre. Además del premio Nobel de 1970, la labor de Norman Borlaug fue reconocida con numerosos premios y galardones internacionales.

Norman Borlaug encontró, con la Revolución Verde, la solución a un problema, pero con el paso del tiempo, la intensificación de forma insostenible de la producción agraria generó otros problemas. El uso excesivo y descontrolado de agroquímicos, la erosión de los suelos y la expansión desmesurada de algunos regadíos son problemas que han llevado a criticar a la Revolución Verde. El hecho de que la agricultura de grandes áreas de África no haya seguido la trayectoria de la de los demás continentes y se haya estancado en las últimas décadas, también se atribuye a un fracaso de la Revolución Verde aplicada a África. Borlaug diagnosticó de forma certera los problemas de la agricultura africana y desde 1986 trabajó activamente a través de distintas instituciones, tales como la Fundación Sasakawa en promover una intensificación sostenible de la agricultura de los pequeños productores del África Subsahariana, un desafío mucho más complejo y sólo parcialmente relacionado con los aspectos científicos y técnicos de la agricultura moderna (Ferreeres, 2010).

1.3. El suelo

El suelo tiene un comportamiento dinámico, desde el origen de la vida se han extraído los nutrientes requeridos por la biota del suelo, que ha desarrollado procesos de mineralización, que emplea como mecanismos de protección y desarrollo. El suelo está compuesto por más de 1300 diferentes minerales primarios ricos en Si, Mg, Ca, K, Fe, P, Zn, Cu, S, etc., los cuales son disueltos por la materia orgánica y los microorganismos para la nutrición de las plantas. Los suelos con alto contenido de minerales primarios (feldespatos, anfíbolos y piroxenos, etc.) ofrecen una reserva considerable de nutrientes (FitzPatrick, 1996).

1.3.1. Minerales primarios amorfos

Son aquellos que se encuentran presentes en el material parental y han sufrido meteorización, formados a temperatura elevada y heredados de la roca ígnea. El 99% de los minerales consiste en ocho elementos: O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K y Mg, los cuales varían según su magma de origen, dando minerales distintos por su estructura y composición química, siendo las más importantes las rocas ígneas silicatadas ya que forman más del 95 % de la corteza terrestre (Porta *et al.*, 1999).

Los minerales silicatados más importantes son: feldespatos, micas, olivino, piroxenas, anfíbolos, cuarzo, plagioclasa y minerales de arcillas. Poseen una composición química definida, materialmente homogéneos y amorfos (no presenta ningún tipo de ordenación entre las partículas átomos o moléculas que lo forman) (Porta *et al.*, 2003). Las riquezas minerales del suelo pueden ser disueltos por el agua para satisfacer las demandas que la planta requiere, estimándose que en promedio, se extraen en la solución del suelo, nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P), silicio (Si) y micronutrientes, 200-300, 250-350, 60-85, 25-35, 30-50, 200-400, 10-25 kg ha⁻¹ respectivamente, por ciclo de cultivo (Quero, 2009). Aunque la concentración de Silicio es variable en cada uno de los más de 1300 minerales descritos en la literatura, se puede considerar que aquellos que contienen entre 15 y 30% de Si en su composición química son adecuados para el desarrollo de la agricultura (Quero, 2008). La liberación a la fracción soluble del suelo forma parte del proceso productivo de los cultivos y tiene impactos en la certidumbre de cosecha, el rendimiento, sanidad del cultivo y calidad de cosecha. El silicio que se libera de los MPA por la acción del agua y del CO₂, forman el ácido ortosilícico (H₄SiO₄), el cual es un gran intercambiador y transportador de cationes, tanto en el suelo como en los tejidos de la planta. Adicionalmente se conoce que la diversidad y desarrollo de la flora microbiana benéfica del suelo, es estimulada por la presencia del silicio soluble, el ácido ortosilícico (H₄SiO₄) (Quero, 2010).

La concentración de algunos elementos en suelos es fuertemente dependiente del tipo de suelo. Por ejemplo los Andosoles tienen un contenido relativamente alto de elementos máficos, lo que es el reflejo de la composición de la roca madre (Takkeda, *et al.* 2004).

1.3.2. Remineralización

El método de remineralización de suelos, consiste de adicionar minerales primarios amorfos (MPA). Los MPA se caracterizan por ser materiales sólidos que tienen diferente composición y concentración de Oxígeno (O^{2-}), Silicio (Si^{4+}), Hierro (Fe^{2+}), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Zinc (Zn^{2+}), Potasio (K^+), Sodio (Na^+), Fósforo (P^{5+}), y Carbón (C^{4+}). De estos el oxígeno ocupa más del 50% de la concentración, por lo que los cationes están presentes en el estado oxidado. Los MPA en presencia de agua, forman una fase soluble y otra sólida intemperizada, la velocidad de este proceso puede variar de días a miles de años, la remineralización permite mantener un flujo constante de elementos que emplea la planta en su nutrición (Quero, 2007). La composición de la fase soluble es influenciada por el tiempo de la exposición de los MPA al agua de lluvia y riego, al CO_2 del ambiente o bien producto de la descomposición de la materia orgánica, la actividad biológica del suelo y al calentamiento del suelo debido a la radiación solar. En la fase soluble, se encuentra el silicio en la forma de ácido ortosilícico (H_4SiO_4) como monómero, y también en diferentes grados de polimerización y coloides, mismos que forman sales con los cationes presentes, dando lugar a silicatos que promuevan la creación de gradientes de concentración de nutrientes minerales desde el suelo a los tejidos de la planta (Quero, 2007).

1.3.3. Fertilidad del suelo

Es la capacidad de un suelo para suministrar todos y cada uno de los nutrientes que necesitan las plantas en el momento, cantidad y forma adecuados. La fertilidad del suelo implica condiciones de presencia, cantidad y asimilabilidad de

elementos nutritivos que hagan frente regularmente a las necesidades de las plantas. En un sentido amplio, la fertilidad integra los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo (Huerta *et al.*, 2008). Los factores físicos que condicionan el desarrollo del sistema radicular y su aporte hídrico son: textura, estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención hídrica, estabilidad de agregados, etc.; en tanto que los factores químicos hacen referencia a la reserva de nutrientes y su aporte a las plantas se caracterizan por: capacidad de cambio de cationes, pH, materia orgánica, macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (B, Fe, Mo, Mn, Zn, Cu, Na y Cl) y sus formas químicas en el suelo que condicionan su biodisponibilidad. Los biológicos son determinados por la actividad de los microorganismos del suelo, quienes utilizan la materia orgánica como sustrato y fuente de energía, interviniendo en la producción de enzimas, ciclo de C y de N, transformaciones biológicas de nutrientes y procesos de humificación y mineralización (García, 2008).

1.3.4. Calidad de suelo

Un suelo de calidad es aquel que tiene la capacidad de que en él se puedan producir cultivos sanos y alimentos nutritivos en forma sostenida a largo plazo, y de promover, al mismo tiempo, la salud humana y animal, sin deterioro de los recursos naturales o del medio ambiente (Astier *et al.*, 2002). La calidad de suelo se resume en tres principios: a) la fertilidad del suelo, que se refiere a la habilidad del mismo para promover la productividad del ecosistema o agroecosistema, sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas, b) la calidad medio ambiental, entendida como la capacidad de un suelo para atenuar los contaminantes ambientales, los patógenos, y cualquier posible daño hacia el exterior del sistema, incluyendo también los servicios ecosistémicos que ofrece (reservorio de carbono, mantenimiento de la biodiversidad, recarga de acuíferos, etc.), y la salud, que se refiere a la capacidad de un suelo para producir alimentos sanos y nutritivos para los seres humanos y otros organismos (Navarrete *et al.*, 2011).

1.3.5. Salud de suelos

La salud del suelo se ha definido como su capacidad para funcionar como un sistema vivo. Los suelos sanos mantienen una comunidad variada de organismos del suelo que ayudan a controlar las enfermedades de las plantas, insectos y malezas, forman asociaciones simbióticas beneficiosas con las raíces, reciclan nutrientes esenciales para las plantas, mejoran la estructura del suelo con efectos positivos para el agua del suelo y la capacidad de retención de nutrientes, y en última instancia mejoran la producción agrícola. Un suelo sano también contribuye a la mitigación del cambio climático, manteniendo o aumentando su contenido de carbono (FAO, 2015). La función más universalmente reconocida del suelo es su apoyo a la producción alimentaria. Es la base para la agricultura y el medio en el que crecen casi todas las plantas de las que se obtienen alimentos. De hecho, se estima que el 95% de nuestros alimentos se produce directa o indirectamente en los suelos. Los suelos sanos suministran los nutrientes esenciales, agua, oxígeno y el soporte para las raíces que las plantas productoras de alimentos necesitan para crecer y prosperar. Los suelos también sirven como protección para las delicadas raíces de las plantas frente a las fuertes fluctuaciones de temperatura (FAO, 2015).

1.4. Materia orgánica del suelo (MOS)

La MOS es el material orgánico de origen biológico, que procede de alteraciones bioquímicas de los restos de animales, plantas, microorganismos y de la propia actividad vegetal y microbiana; se encuentra localizada en el interior de macro o microagregados, en la solución y superficie del suelo, y presenta distintos estados de transformación derivados de la dinámica del medio vivo y la interacción con el medio mineral, los factores ambientales, el tipo de suelo y las prácticas del cultivo (Labrador, 2008). Es un importante indicador de la calidad del mismo, la cual se compone por residuos de plantas y animales con diferentes niveles de degradación, además de sustancias orgánicas sintetizadas química y

microbiológicamente, éstas últimas constituidas por materiales no humificados y materiales humificados, o sustancias húmicas. Estas sustancias húmicas son importantes por ser fuente de nutrimentos, mejorar la estructura y favorecer la aireación, la capacidad de retención de agua, la permeabilidad del suelo y la penetración de las raíces de las plantas, así como el suministro continuo y adecuado del oxígeno que requieren para respirar y crecer (Aguirre, 2009). Con todo ello, la MOS absorbe y retiene una cantidad sustancial de agua, la cual penetra y filtra en forma lateral y hacia abajo sin arrastrar fácilmente las partículas de suelo, es fuente de energía para los organismos del suelo, puede tener un efecto fisiológico directo en el crecimiento de la planta, debido a la presencia de algunos compuestos como las auxinas, actúa como amortiguador en un amplio intervalo de pH, está directamente relacionada con la adsorción de la mayoría de los herbicidas, y puede favorecer el crecimiento de organismos saprófitos en relación con los parásitos y con ello reducir las poblaciones de estos últimos (Aguirre, 2009). Una de las contribuciones más importante de la materia orgánica a la fertilidad de suelo es su capacidad de suplir nutrimentos, especialmente nitrógeno, fósforo y azufre. Los nutrimentos son secuestrados en y liberados de la materia orgánica por dos procesos distintos: biológicos (N, P, S) y químicos (Ca, Mg, K) (Meléndez y Soto, 2003).

En consecuencia, la materia orgánica ejerce una serie de efectos benéficos sobre la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, no sólo a través de la suplencia de nutrimentos, sino además por sus efectos favorables sobre las propiedades físicas (tiende a mejorar la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua), químicas (aumenta la capacidad de intercambio catiónico, mejora la capacidad amortiguadora de pH) y biológicas (fuente de nutrimentos y energía para los microorganismos) (Sánchez *et al.*, 2005).

En la materia orgánica del suelo (MOS) se distingue una fracción lábil, disponible como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos) y una

fracción húmica más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Martínez *et al.*, 2008). Estas sustancias húmicas son importantes por ser fuente de nutrimentos, mejoran la estructura al facilitar la formación de agregados estables, con lo que favorece la aireación, la capacidad de retención de agua, la permeabilidad del suelo, aumenta la fuerza de cohesión a los suelos arenosos y disminuye está en suelos arcillosos, su acción quelatante contribuye a disminuir los riesgos carenciales y favorecer la disponibilidad de algunos micronutrientes (Fe, Cu, y Zn), la penetración de las raíces de las plantas, así como el suministro continuo y adecuado del oxígeno que requieren para respirar y crecer (Félix, *et al.*, 2008).

1.4.1. Mineralización de la MOS

La mineralización de la materia orgánica es un factor de suma importancia en el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, puesto que a través de este proceso se reciclan nutrimentos como nitrógeno, fósforo, azufre y carbono. En este proceso influyen el clima, la mineralogía de las arcillas, el estado de los nutrientes del suelo, la actividad de la biota edáfica y la calidad de los recursos en descomposición (León *et al.*, 2006). Un aspecto importante a ser considerado en la transformación de la materia orgánica es la relación C/N. El nitrógeno es un elemento esencial requerido para el crecimiento microbiano y la degradación de la materia orgánica. Cuando la materia orgánica tiene alto contenido de nitrógeno, los microorganismos tienen suficiente sustrato para inducir mayor mineralización, ya que la microflora (bacterias, hongos y actinomicetos) satisfacen plenamente sus necesidades de N, por lo que no es factor limitante para ellos. Por el contrario, si el contenido de nitrógeno es bajo, la tasa de mineralización de la materia orgánica disminuye drásticamente y la tasa de mineralización de carbono orgánico dependerá de la adición de fuentes nitrogenadas (Ferrera y Alarcón, 2001). Los residuos orgánicos con una baja relación C/N presentan una mineralización mayor del N que aquellos con alta relación C/N, lo que causa una inmovilización del N durante la descomposición (Bouzo y Astegiano, 2012).

1.4.2. Carbono orgánico del suelo (COS)

La acumulación de COS es un proceso importante para mitigar efectos del cambio climático, ya que el suelo es un reservorio de carbono estabilizado (Arnalds, 2004). El uso antrópico del suelo es el principal responsable de la reducción de sus reservas orgánicas; se han estimado pérdidas entre 30 y 50% del carbono orgánico edáfico en la capa arable, después de 20 a 30 años de cultivo. Sin duda, el laboreo intensivo es la práctica del sistema productivo que más afecta la reducción del COS, al alterar el ciclo de C y, por consiguiente, modificar la calidad del humus y desproteger la materia orgánica del suelo (MOS) que se encuentra ocluida en pequeños poros de los agregados edáficos tras ser destruidos, sea un suelo arcilloso, arenoso o limoso y promover su oxidación. Una disminución de las reservas orgánicas del suelo trae como consecuencia, a corto plazo, una reducción del rendimiento potencial de los cultivos, una baja actividad biológica y el encostramiento; a mediano plazo, el suelo se hace vulnerable a la compactación, modifica su estructura, lo que causa un inadecuado drenaje y una menor capacidad de retención hídrica y se reduce la capacidad de restauración de nutrimentos, exponiendo el sistema a la acción erosiva (Silva *et al.*, 2006).

El COS se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos. El COS se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N, cuyo aporte mineral es normalmente deficitario. Además, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el COS aumenta la solubilidad de varios nutrientes (Martínez *et al.*, 2008).

1.5. Microorganismos del suelo

En el suelo existe gran variedad de microorganismos, como bacterias, protozoarios, nemátodos, ácaros y hongos, que intervienen en los procesos de

transformación de la materia orgánica del suelo, liberan nutrientes que son reutilizados en descomposición y mineralización. Estos microorganismos son de gran importancia actuando como descomponedores y como reservorio de nitrógeno, que eventualmente se liberan con su muerte o depredación (Celaya *et al.*, 2011). Los microorganismos del suelo son de gran importancia al transformar compuestos orgánicos a inorgánicos disponibles para las plantas, con su actividad de descomposición y mineralización de nitrógeno (Whitford, 2002). Ellos intervienen en los procesos de infiltración, aireación e incorporación de materia orgánica en el suelo (Huerta *et al.*, 2008), al mismo tiempo intervienen en distintos procesos: agregación y estructura del suelo, textura y consistencia del suelo, movimiento y retención del agua, intercambio gaseoso y en las propiedades químicas y nutricionales del mismo (Huerta *et al.*, 2008).

1.5.1. Consorcio microbiano (CM)

Un consorcio microbiano es una asociación natural de dos o más poblaciones microbianas de diferentes especies, que actúan conjuntamente como una comunidad en un sistema complejo, donde todos se benefician de las actividades de los demás. La asociación refleja estilos de vida sinérgicos o sintróficos (que significa "comiendo juntos"), en el que el crecimiento y el flujo cíclico de nutrientes se conduce más efectiva y eficientemente que en poblaciones individuales (Ochoa *et al.*, 2010).

Los consorcios microbianos intervienen activamente en los ciclos biogeoquímicos y en muchos casos son los únicos agentes biológicos capaces de regenerar un recurso, haciéndolo disponible para el uso de otros microorganismos y organismos superiores. Un ciclo biogeoquímico es la transformación sucesiva de un elemento químico (C, N, S, P, Fe, etc.) efectuada por diversos agentes bióticos y abióticos, en la que se producen formas aprovechables del mismo, necesarias para el crecimiento y la reproducción de los seres vivos (Plante, 2007). Mejorar el contenido de materia orgánica y el consorcio microbiano, tal como el que se

encuentra presente en el rumen de los bovinos, o bien desarrollar un consorcio formado por bacterias y hongos con alta capacidad de degradar la celulosa y lignina, provee la producción de sustancias húmicas. Se conoce que algunos microorganismos, para su mejor actividad, requieren de ácido ortosilícico (H_4SiO_4), tal como las bacterias fotosintéticas y fijadoras de nitrógeno, las cianófitas, que abundan en los suelos ricos en silicio, y las micorrizas que mejoran la solubilidad y movilidad de los minerales (Quero, 2009).

1.6. Agricultura Sustentable

Es una combinación de métodos genéticos, agronómicos, biotecnológicos y químicos en un sistema de producción, el cual optimiza la calidad del producto y protege el medio ambiente y la salud humana. Dicha agricultura deberá ser: a) suficientemente productiva, capaz de alimentar a una población en aumento, consecuentemente mayores rendimientos deben ocurrir y serán el resultado de mejores sistemas de manejo de suelos; b) económicamente viable (evaluando todos los costos); c) ambientalmente o ecológicamente adecuada (que conserve la base de recursos naturales y preserve la integridad del ambiente a nivel local, regional y global; d) cultural y socialmente aceptable; y e) técnicamente apropiado (Perales *et al.*, 2009). Una de las principales corrientes de la agricultura sustentable es la agricultura orgánica (Cano *et al.*, 2004).

1.6.1. Composta

Es una transformación de residuos orgánicos por acción microbiana en condiciones controladas (Olivares *et al.*, 2012). Se ha comprobado que la composta mejora una gran cantidad de características del suelo, como la fertilidad, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para la agricultura, evita cambios extremos en la temperatura, fomenta la actividad microbiana y controla la erosión (Nieto *et al.*, 2002). Los efectos mencionados permiten mejorar los suelos

agrícolas, incluyendo los suelos de zonas áridas y semiáridas, que en general presentan pobreza de fertilidad, materia orgánica, nutrientes, capacidad de retención de agua y pH alcalino (Nieto *et al.*, 2002). Una opción para disminuir este problema es reutilizar el estiércol para la elaboración de composta o vermicomposta (Lamas *et al.*, 2003). Estos materiales representan una alternativa ecológica para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos y sustituir el uso de fertilizantes inorgánicos, especialmente en cultivos orgánicos (Rippy *et al.*, 2004).

1.7. Agroecosistemas

Los ecosistemas agrícolas son sistemas antropogénicos, es decir, su origen y mantenimiento van asociados a las actividades del hombre, que ha transformado la naturaleza para obtener principalmente alimentos (Sans, 2007). Un agroecosistema sustentable debe ser capaz de mantener su productividad en condiciones de estrés: promover la calidad del medio ambiente y los recursos base de los cuales depende la agricultura; proveer las fibras y alimentos necesarios para el ser humano; ser económicamente viable y mejorar la calidad de vida de los agricultores y la sociedad (Astier *et al.*, 2002). Entre las características de los agroecosistemas están: a) los flujos de energía, donde un ecosistema maduro y bien desarrollado es capaz de mantener su productividad de manera sustentable mediante la entrada de energía solar, b) los ciclos de nutrientes, en el cual los elementos circulan dentro del ecosistema, siendo su destino final preferentemente la materia orgánica, c) mecanismos de control de las poblaciones en los ecosistemas naturales, que se establece a través de complejas interacciones bióticas y juegos de poder, conducidos por la biodiversidad y determinados por el ambiente y la disponibilidad de espacio y alimento (Labrador, 2001). La intensificación excesiva de las actividades agrícolas ha ocasionado, en muchos casos, la drástica transformación del paisaje, el empobrecimiento de los suelos y la aceleración de los procesos irreversibles de erosión (Sans, 2007).

Existe una urgente necesidad de impulsar un nuevo paradigma agrícola de manera de poder asegurar suficientes alimentos sanos y accesibles para la creciente población mundial, aunque tendrá que hacerse sobre la misma base de tierra arable, con menos petróleo, menos agua, nitrógeno y otros recursos, y dentro de un escenario de cambio climático e incertidumbre económica y social (Rosset *et al.*, 2006).

La investigación agrícola históricamente practicada en México se ha enfocado a la productividad de los recursos naturales aprovechados en la agricultura (suelo, agua, germoplasma) de las regiones más productivas, y ha desatendido a la investigación para conocimiento de los recursos naturales *per se*. También ha desatendido a la investigación en las regiones de agricultura marginal y de etnoagricultura. Es necesario aprender y aplicar la experiencia de los países industriales sobre las externalidades ecológicas de su agricultura industrial y su granja familiar del último tercio del Siglo XX, así como de la revolución verde en los países en desarrollo, para formular un marco jurídico para el uso sostenible de los recursos naturales en la actividad agrícola de México. Es recomendable para México abrazar, desarrollar y aplicar el paradigma de la agricultura alterna como solución que reconcilia a la seguridad alimentaria, a la agricultura en pequeño y a la protección del agroecosistema. Los problemas más urgentes del deterioro de los recursos agua, suelo y biota de uso agropecuario, erosión hídrica, eutrofización de cuerpos de agua superficiales, contaminación de acuíferos profundos y pérdida de germoplasma de las especies nativas de uso agrícola han sido ignorados hasta la fecha por el marco jurídico mexicano (Turrent-Fernández y Cortés-Flores, 2005).

CAPÍTULO 2. USO DE COMPOSTA, MINERALES PRIMARIOS AMORFOS Y MICROORGANISMOS PARA LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE TOMATE

2.1. INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de fertilizantes inorgánicos de N, P y K en la agricultura moderna ha provocado la degradación de los suelos y la contaminación de mantos freáticos y la atmósfera (Villarreal *et al.*, 2006). En México, el contenido de materia orgánica en los suelos es bajo (Ortiz y Amado, 2003). Lo anterior ha provocado que la agricultura sea cada vez más dependiente de agroinsumos.

El uso de composta es una alternativa para la producción de cultivos, ya que mejora una gran cantidad de características del suelo como la fertilidad, la densidad aparente, la capacidad de almacenamiento de agua, la capacidad de intercambio catiónico y la mineralización del nitrógeno, el fósforo y potasio. Además, disminuye el lavado de nitratos, mantiene valores de pH óptimos para la agricultura, evita cambios extremos en la temperatura, fomenta la actividad microbiana, reduce microorganismos patógenos, controla la erosión y fomenta la eliminación de semillas de malezas por las altas temperaturas generadas por la actividad microbiana durante el composteo y la degradación de plaguicidas (Nieto *et al.*, 2002).

Se deben aprovechar los recursos existentes en cada región para insertarlos en los ciclos de producción, evitar que se conviertan en fuentes de contaminación de mantos freáticos y del suelo (Olivares *et al.*, 2012). Los abonos orgánicos pueden satisfacer la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos (Rodríguez *et al.*, 2009) y mejorando la fertilidad del suelo, por el efecto que genera la biodiversidad microbiana, que actúan conjuntamente como una comunidad en un sistema complejo donde todos se benefician (Ochoa y Montoya, 2010). A lo anterior también se suma el creciente interés por utilizar fuentes alternas de nutrimentos, como las rocas silicatadas que

varían en su disponibilidad y potencial de liberación de nutrientes (Da Silva *et al.*, 2010), además de aumentar la fertilidad del suelo (Guelfi *et al.*, 2012).

La utilización de roca pulverizada es un proceso práctico que reduce el consumo de energía y aumenta la disponibilidad de nutrientes al combinarse con microorganismos que solubilizan los minerales primarios amorfos (MPA) (Stamford *et al.*, 2009).

El tomate es la segunda hortaliza que más se produce en el mundo (aproximadamente 164 millones de t), correspondiendo a México el 2% de la producción mundial. En Sinaloa (México) las dosis de fertilizantes que se aplican están por encima de los requerimientos del cultivo, como es el caso del nitrógeno, que fluctúa entre 350 y 400 kg ha⁻¹ (Villarreal *et al.*, 2006). La nutrición de esta hortaliza se puede satisfacerse con composta, MPA y microorganismos con un mínimo impacto ambiental y mayor propiedad energética (Nicholls y Altieri, 2012).

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto que ocasionan la composta bocashi, los MPA y los microorganismos en la producción y calidad postcosecha de tomate cultivado en suelo.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó en un invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicado en el kilómetro 17,5 de la carretera Culiacán-Eldorado (24° 48' 28" latitud norte y 107° 24' 30" longitud oeste), en un suelo vertisol crómico. Según García (1988) el clima es semiseco, muy cálido, extremo, con lluvias en verano, con temperatura media anual de 25,9 °C y precipitación media anual de 772 mm.

Se utilizó el híbrido 'Moctezuma' de tomate saladette (*Lycopersicum esculentum* Mill., 1768) con hábito de crecimiento indeterminado, el cual se cultivó en surcos separados a 1,6 m y una densidad de población de 2,5 plantas m⁻². El aporte de

agua y nutrientes se realizó a través de un sistema de riego por goteo y en cada surco se colocó doble manguera con goteros cada 30 cm. El trasplante se realizó el 12 de diciembre de 2011 y las plantas se manejaron a un tallo.

Se estableció el experimento bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y los tratamientos indicados en la Tabla 2.1, los cuales se definieron con base en lo recomendado por Steiner (1961) y teniendo en cuenta que la composta contiene de 1-3 % de N, con mineralización del 18 % (Egbahall, 2002), mientras que el consorcio microbiano y los MPA se formularon en base a lo recomendado por los distribuidores (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Tratamientos utilizados para la producción de tomate saladette en invernadero. Ciclo agrícola 2011-2012. Culiacán, Sinaloa, México.

Tratamientos y control	Abrev.	Sustancias/mezclas
Control (Tratamiento 1)	T ₁	Solución Steiner 100 %
Tratamiento 2	T ₂	15 Mg ha ⁻¹ composta bocashi + 3 Mg ha ⁻¹ MPA
Tratamiento 3	T ₃	15 Mg ha ⁻¹ composta + 3 Mg ha ⁻¹ MPA + 2 L ha ⁻¹ de M
Tratamiento 4	T ₄	15 Mg ha ⁻¹ composta + 6 Mg ha ⁻¹ MPA
Tratamiento 5	T ₅	15 Mg ha ⁻¹ composta + 6 Mg ha ⁻¹ MPA + 2 L ha ⁻¹ de M
Tratamiento 6	T ₆	25 Mg ha ⁻¹ composta + 3 Mg ha ⁻¹ MPA
Tratamiento 7	T ₇	25 Mg ha ⁻¹ composta + 3 Mg ha ⁻¹ MPA + 2 L ha ⁻¹ de M
Tratamiento 8	T ₈	25 Mg ha ⁻¹ composta + 6 Mg ha ⁻¹ MPA
Tratamiento 9	T ₉	25 Mg ha ⁻¹ composta + 6 Mg ha ⁻¹ MPA + 2 L ha ⁻¹ de M

MPA= Minerales Primarios Amorfos; M=Microorganismos

La composta bocashi (rastroyo de maíz, estiércol de bovino, salvado de arroz, cascarilla de arroz, melaza, levadura de pan, carbón vegetal triturado, tierra de aluvión y agua) y los MPA se aplicaron al suelo un mes (ADT), manteniéndose a capacidad de campo durante 30 días; posteriormente el suelo se removió y mezcló antes del trasplante (ADT). La solución Steiner se aplicó desde el trasplante hasta el fin de cosecha, en tanto que en las parcelas donde se asignaron los otros tratamientos sólo se aplicó agua, y los microorganismos se aplicaron en los

tratamientos correspondientes cada ocho días a través del riego. Las variables de respuesta fueron la producción total (considerándose la cosecha de ocho racimos por planta), y la producción de frutos clasificada en extra grande (>150 g), grande (125-149 g), mediano (100-124 g) y chico (75-99 g) (USDA, 1992).

Tabla 2.2. Características físico-químicas de la composta y minerales primarios amorfos y concentraciones utilizadas de las especies del consorcio microbiano.

Característica	Composta	Característica	Minerales primarios amorfos	Consortio microbiano	Concentración
pH	9.30	pH	8.9	<i>Bacillus subtilis</i>	1×10^{18} ufc ml ⁻¹
CE (dS m ⁻¹)	12.0	CE (dS m ⁻¹)	4.5	<i>Trichoderma harzianum</i>	2×10^8 ufc g ⁻¹
MO (%)	10.78	SiO ₂ (%)	34	<i>Azotobacter spp</i>	1×10^6 ufc g ⁻¹
N-total (%)	0.78	P ₂ O ₅ (%)	9.6	<i>Azospirillum brasilense</i>	1×10^6 ufc g ⁻¹
P ₂ O ₅ (%)	0.34	K ₂ O (%)	2.5	<i>Glomus intraradices</i>	20 esporas g ⁻¹
K ₂ O (%)	1.90	CaO (%)	13		
Ca (%)	1.48	MgO (%)	2.0		
Mg (%)	0.93	Fe (mg kg ⁻¹)	18		
Fe (mg kg ⁻¹)	1.9	Zn (mg kg ⁻¹)	16		
Cu (mg kg ⁻¹)	16	Mn (mg kg ⁻¹)	5		
Zn (mg kg ⁻¹)	65				
Mn (mg kg ⁻¹)	390				
B (mg kg ⁻¹)	120				

Para la variable de calidad postcosecha se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones y los mismos tratamientos que se describen en la Tabla 2.1. Se determinó pH, acidez titulable y sólidos solubles totales (°Brix). Los frutos fueron cosechados a los 93 DDT, en grado dos de madurez fisiológica, se lavaron con agua clorada a 100 mg kg⁻¹ y se secaron a temperatura ambiente; posteriormente se almacenaron a 20 °C y 85 % de humedad relativa, y las

evaluaciones se realizaron a los cero, ocho y dieciséis días de almacenamiento. Para el pH y la acidez titulable se utilizó un titulador automático DL 50 (Metler, Toledo), se disolvieron 10 g de muestra en 50 mL de agua destilada a pH=7,0. Posteriormente se filtró y se obtuvo el extracto, del cual se tomaron 20 mL y se tituló con NaOH 0,1 N hasta pH de 8,2. Para los sólidos solubles totales se utilizó un refractómetro RE 40D (Metler Toledo) donde se colocaron gotas del extracto y se tomó la lectura (AOAC, 1975). Los valores de pH, acidez titulable y sólidos solubles totales se reportaron como iones de hidrógeno, porcentaje de ácido cítrico y °Brix, respectivamente.

Los resultados de producción fueron sometidos al análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias con la prueba de Duncan ($\alpha=0,05$), mientras que a los valores de calidad postcosecha se les realizó análisis de varianza y para la separación de medias se empleó la prueba de Tukey ($p\leq 0,05$), mediante el programa SAS Versión 5 (1985).

2.3. RESULTADOS

Con el tratamiento 8 (T_8) se obtuvo una producción de tomate extra grande sin diferencia estadística con respecto a la que se obtuvo con la solución Steiner, pero superó en 155,3, 198,6, 152,8, 300,2, 136,4, 250,5 y 46,1 % a los tratamientos, T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , T_7 y T_9 respectivamente. Sin embargo, con la solución Steiner (T_1) los incrementos fueron de 174,2, 220,7, 171,5, 329,8, 153,9, 276,4, 7,4 y 56,9 % (Tabla 2.3). Con respecto al tamaño grande, T_8 ocasionó una producción que estadísticamente sólo superó a lo cosechado en las parcelas fertilizadas con T_3 , T_5 y T_7 (diferencias de 44,2, 39,9 y 46,2 %, respectivamente). Con relación a los frutos de tamaño mediano, se cosecharon 27,1 Mg ha⁻¹ con el tratamiento T_2 , superando estadísticamente la producción obtenida mediante los tratamientos T_1 , T_5 y T_9 (diferencias de 62,9, 56,8 y 40,2 %, respectivamente) (Tabla 2.3).

En la misma tabla se denota que con T_2 y T_7 se cosecharon, respectivamente, 14,8 y 14,7 Mg ha⁻¹ de tomate de tamaño chico, de tal forma que con T_2 el

rendimiento superó en 176,2, 35,5 y 39,6 % los obtenidos con T₁, T₈ y T₉, respectivamente. Con T₇ los incrementos fueron de 174,2, 34,5 y 38,6 %. La mayor producción total (113,97 Mg ha⁻¹) se logró con el T₈, que incluyó 26 Mg ha⁻¹ de composta y 6 Mg ha⁻¹ de MPA. Dicha producción superó en 23,0, 57,2, 42,5, 74,50, 40,8, 54,3 y 26,6 % las obtenidas, en su orden, con T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇ y T₉. Sin embargo, el promedio de 113,97 Mg ha⁻¹ fue estadísticamente igual al de 104,282 Mg ha⁻¹ que se obtuvo en las parcelas fertilizadas con la solución Steiner.

Tabla 2.3. Producción de tomate saladette (extra grande, grande, mediano, chico y producción total), con el uso de solución Steiner, composta, minerales primarios amorfos y microorganismos.

Tratamientos	Extra grande (Mg ha ⁻¹)	Grande (Mg ha ⁻¹)	Mediano (Mg ha ⁻¹)	Chico (Mg ha ⁻¹)	Total (Mg ha ⁻¹)
T ₁	50,117 a*	32,184 ab	16,630 b	5,351 d	104,282 ab
T ₂	18,280 c	32,496 ab	27,084 a	14,781 a	92,641 bc
T ₃	15,626 c	23,068 c	20,534 ab	13,278 abc	72,505 cd
T ₄	18,460 c	26,293 abc	21,617 ab	13,603 ab	79,972 cd
T ₅	11,660 c	23,775 bc	17,277 b	12,793 abc	65,505 d
T ₆	19,739 c	27,113 abc	21,239 ab	12,834 abc	80,923 cd
T ₇	13,313 c	22,743 c	23,113 ab	14,671 a	73,839 cd
T ₈	46,668 a	33,255 a	23,141 ab	10,905 bc	113,970 a
T ₉	31,942 b	28,187 abc	19,313 b	10,584 c	90,025 bc

*Medias con la misma letra en la columna no son significativamente diferentes, Duncan (P > 0,05).

Con relación a los análisis químicos de postcosecha (día cero) el pH de los frutos disminuyó en un 4,4 % en los tomates cosechados mediante el tratamiento T₄ y 4,7 % en aquéllos cultivados en el T₅, mientras que con T₈ la disminución fue del 6,2 % en relación a los cosechados de las plantas que recibieron la solución Steiner (testigo) (Tabla 2.4). A los ocho días de almacenados también se observó variación del pH, pero éste tuvo incrementos de 2,5 % sólo en aquellos frutos que fueron cosechados de plantas tratadas con T₅ y T₈, en comparación con el promedio del testigo; sin embargo, a los 16 días el pH de los frutos ya fue igual para todos los tratamientos. En la misma tabla se puede observar que la acidez titulable no varió a los cero u ocho días de almacenamiento, pero a los 16 días

para todos los tratamientos. En la misma tabla se puede observar que la acidez titulable no varió a los cero u ocho días de almacenamiento, pero a los 16 días dicha acidez se incrementó 28 % en los frutos de plantas cultivadas con T₃ y T₄, en comparación con la acidez en frutos de plantas manejadas con T₇ y T₈, sin que dicha característica en las plantas cultivadas con T₃ y T₄ fuera estadísticamente diferente a la que se obtuvo con la Solución Steiner. En la Tabla 2.4 también se puede observar que a los ocho días después del almacenamiento de frutos, los grados Brix fueron superiores (45,3 %) en aquellos producidos por plantas tratadas con solución Steiner, en comparación con el promedio estimado para los frutos de plantas sometidas al tratamiento T₈.

Tabla 2.4. pH, acidez titulable y sólidos solubles totales de tomate saladette a los 0, 8 y 16 días de almacenamiento a 20 °C y 85 % de humedad relativa.

Trat.	pH			Acidez titulable			Sólidos solubles totales (°Brix)		
	Días								
	0	8	16	0	8	16	0	8	16
T ₁	4.49 a*	4.48 ab	4.47 a	0.27 a	0.32 a	0.31 ab	4.02 a	4.62 a	5.22 a
T ₂	4.0 ab	4.51 a	4.56 a	0.28 a	0.30 a	0.30 ab	4.20 a	3.78 ab	4.80 a
T ₃	4.35 abc	4.45 ab	4.58 a	0.28 a	0.35 a	0.32 a	3.78 a	4.02 ab	4.98 a
T ₄	4.29 bc	4.44 ab	4.48 a	0.28 a	0.36 a	0.32 a	3.60 a	4.20 ab	4.62 a
T ₅	4.28 bc	4.37 b	4.52 a	0.31 a	0.36 a	0.29 ab	3.78 a	3.78 ab	4.38 a
T ₆	4.33 abc	4.47 ab	4.50 a	0.36 a	0.30 a	0.30 ab	3.78 a	3.78 ab	4.62 a
T ₇	4.33 abc	4.42 ab	4.52 a	0.32 a	0.33 a	0.25 b	3.78 a	3.60 ab	3.78 a
T ₈	4.21 c	4.37 b	4.51 a	0.37 a	0.34 a	0.25 b	3.60 a	3.18 b	4.20 a
T ₉	4.40 abc	4.44 ab	4.46 a	0.37 a	0.31 a	0.29 ab	4.02 a	4.02 ab	4.38 a

*Medias con la misma letra en la columna no son significativamente diferentes. Tukey ($p \leq 0,05$).

De igual manera que respecto a la producción, en la calidad postcosecha de los frutos no fue perceptible la acción de los microorganismos adicionados (Tabla 2.2), ya que los promedios de pH, acidez titulable y sólidos solubles fueron estadísticamente similares en todos los pares de tratamientos que incluyeron la misma cantidad de composta y MPA, y sólo discreparon en aquellos tratamientos

con diferencias en la cantidad de microorganismos aplicados.

2.4. DISCUSIÓN

Con el tratamiento T₈ se obtuvieron frutos extra grandes, grandes y medianos en una cantidad similar a la que se logró con la solución Steiner (T₁), lo que quizá pudo deberse a que con ambos tratamientos se proporcionaron similares nutrientes. Como lo menciona Lewin (1996), probablemente estos nutrientes fueron metabolizados en más compuestos orgánicos, como las enzimas necesarias para transcribir por más tiempo el material genético, entre otras, y formar más moléculas del ácido ribonucleico mensajero y, en consecuencia, generar más proteínas que forman parte de la materia seca que constituye los frutos. Lo anterior puede ser debido a que los procesos de mineralización de la composta y solubilización de los MPA ocurrieron a una velocidad tal que permitieron la aportación de nutrimentos en cantidades muy similares a lo aportado por la solución Steiner, ya que, como lo reportaron Eghball *et al.* (2002), al utilizar composta de estiércol de bovino, en el primer año la mineralización de nitrógeno fue de 18 %, mientras que cuando se utilizó composta de estiércol de cerdo o de gallina dicha mineralización fue del 55 %, en tanto que el potasio estuvo disponible en su totalidad, la mineralización del Ca y Mg fue de 55 % y la de B, S, Cu, Mn y Zn fue de 40 %. En este sentido, el potencial de la combinación de materiales orgánicos junto con los fertilizantes de roca en las estrategias de reposición de la fertilidad del suelo se acentúa (Van, 2006).

La mayor producción de frutos chicos se obtuvo en las parcelas cultivadas con aquellos tratamientos diferentes a T₈ y la solución Steiner, lo que a su vez se puede atribuir a la insuficiente disponibilidad de nutrimentos metabolizados para formar la materia seca, alcanzando solamente para inducir ese tamaño de frutos, ya que de otra manera las plantas hubieran formado frutos extra grandes, grandes y medianos, en promedios similares a los que se lograron con T₈ y la solución Steiner, puesto que aparte de los tratamientos, las plantas fueron del mismo genotipo y todas las parcelas fueron manejadas de la misma manera. Esto indica

sustancias orgánicas y, por tanto, más producción de frutos extra grandes, grandes y medianos, como lo mencionan Rotenberg *et al.* (2007), al plantear que los fertilizantes orgánicos ejercen un efecto multilateral sobre las propiedades agronómicas de los suelos y, cuando se utilizan correctamente, elevan de manera adecuada la cosecha de los cultivos. A esto último hay que añadir que a partir de la vermicomposta se generan ácido indolacético, giberelinas y citoquininas, los cuales ocasionan efectos significativos en el crecimiento de las plantas, toda vez que pueden ser adsorbidos en los humatos y actuar en conjunto con ellos sobre dicho crecimiento (Atiyeh *et al.*, 2002). Por todo lo anterior, como lo dicen Ruiz *et al.* (2009), con los bioproductos que se generan a partir de fertilizantes orgánicos es posible inducir buen crecimiento y desarrollo de plantas con bajas aplicaciones de fertilizantes de origen industrial. Además, como lo indica Hallmann (2012), los frutos de tomate que se producen bajo sistema orgánico contienen alto nivel de antioxidantes, vitamina C, polifenoles (incluso flavonoides) y carotenoides (como el licopeno y β -caroteno).

La producción total ($113,97 \text{ Mg ha}^{-1}$) que se obtuvo de las parcelas donde se aplicó T₈ (25 Mg ha^{-1} de composta + 6 Mg ha^{-1} de MPA) no sólo superó a la que se cosechó en aquellas parcelas en las que aplicaron otras dosis de fertilizantes que incluyeron composta, MPA y M, sino que también fue superior a los rendimientos reportados por Preciado *et al.* (2011), que fueron de 12,8, 6,09, 10,16 y $5,46 \text{ kg m}^{-2}$, cuando cultivaron tomate saladette con solución Steiner, té de composta, té de vermicomposta y lixiviado de vermicomposta, respectivamente. También superó la producción que obtuvieron Cun *et al.* (2008), al combinar el biofertilizante EcoMic® (hongos micorrizógenos del género *Glomus*) y el humus de lombriz, obteniendo $8,4 \text{ kg m}^{-2}$. Asimismo, se superó el rendimiento informado por De la Cruz *et al.* (2009), quienes obtuvieron $39,8 \text{ Mg ha}^{-1}$, al aplicar composta generada de estiércol de bovino, rastrojo de maíz, zacate elefante y tierra negra (CEMZT) al 75 % + arena y la vermicomposta de estiércol, pasto bahía y tierra negra (VEPT) al 100 y 50 % + arena. La producción que se obtuvo en esta investigación también fue superior a la que reportaron De la Cruz *et al.* (2010),

quienes con la mezcla (1:1:1, V:V:V) de vermicomposta de estiércol de ganado vacuno + rastrojo de maíz y tierra negra (75 % + 25 % de arena) obtuvieron 57,4 Mg ha⁻¹ de tomate.

La producción resultante de este experimento fue inferior a la que reportaron Ortega *et al.* (2010), al cultivar tomate (6 plantas m⁻²) en sustrato formado por aserrín de pino composteado + composta de estiércol de ovino y solución Steiner, con lo que se obtuvo una producción total de 25 kg m⁻². También fue inferior a la producción reportada por Cruz *et al.* (2012), quienes obtuvieron 146,33 Mg ha⁻¹ al cultivar el híbrido 'Charleston' en una mezcla de tezontle + vermicomposta de estiércol bovino y desechos vegetales. Márquez *et al.* (2013) al usar las variedades de tomate Big Beef y Bosky cultivadas con una solución inorgánica y composta + macro y micro elementos inorgánicos, reportaron una producción promedio de 136,7 Mg ha⁻¹, superando también la producción obtenida en la presente investigación. La influencia del consorcio microbiano no fue perceptible, quizás porque la intensidad del metabolismo de nutrientes en las plantas de tomate no requirió de mayor cantidad de nutrimentos que aquella que se logró con la mineralización en el bocashi y MPA.

Con respecto a la calidad postcosecha, para que los frutos de tomate tengan buen sabor y se facilite su industrialización, el pH debe ser de 4,4 (Hidalgo *et al.*, 1998), de tal forma que los resultados de esta investigación indican que los frutos obtenidos después de la aplicación de solución Steiner, composta, MPA y M, cumplen con este requerimiento. Además, estos resultados coinciden con los promedios reportados por Aldrich *et al.* (2010), quienes al medir pH en frutos de tomate de diferentes cultivos en sistemas de producción orgánica reportaron valores entre 4,2 y 4,4, coincidentes con los reportados por Vinha *et al.* (2014), quienes al medir el pH de frutos que se manejaron bajo sistema de producción orgánica y convencional obtuvieron lecturas de 4,38 y 4,46, respectivamente. Asimismo, Migliori *et al.* (2012) encontraron valores de 4,27 y 4,30. Esto último deja entrever que la expresión del pH de los frutos es una característica que se debe a la interacción genotipo-ambiente.

La acidez titulable de los frutos de tomate a los 16 días de almacenamiento coincide con lo reportado por Navarro *et al.* (2012), quienes usando agua residual y de pozo para la producción de tomate y almacenando los frutos a diferentes temperaturas y porcentajes de humedad relativa durante 0, 10, 20, 30 y 40 días, encontraron que a los 20 días dicha variable presentó diferencias estadísticamente significativas, reportando valores similares a los registrados en esta investigación. Peña *et al.* (2013) evaluaron sustratos a base de cascarilla cruda, cascarilla quemada en mezcla con escoria de carbón, fibra de coco y zeolita, cascarilla cielo abierto con escoria y fibra de coco con zeolita. Los registros de acidez titulable reportados fluctuaron entre 0,3 y 0,38 %, lo que concuerda con los datos reportados en esta investigación.

En cuanto a sólidos solubles totales, De la Cruz *et al.* (2010) mencionan que al aplicar vermicomposta, entre otros sustratos, se incrementa el contenido de dichos sólidos en tomate, y que este carácter oscila entre 4,63 y 4,96 °Brix. Por su parte Aldrich *et al.* (2010) reportan datos que fluctúan entre 3,52 y 4,79 °Brix, lo que a su vez concuerda con los resultados de esta investigación. Resultados semejantes reportaron Preciado *et al.* (2011), quienes evaluaron la producción de tomate cultivado con solución Steiner, té de composta, té de vermicomposta y lixiviado de vermicomposta, encontrando valores de 4,1; 4,4; 4,5 y 4,6 °Brix, respectivamente. Ochoa *et al.* (2009) evaluaron cuatro fuentes de nitrógeno aplicados en arena: a) fertilización inorgánica con solución nutritiva en sustrato de arena, b) té de composta en sustrato de arena, c) té de composta diluido, en una relación té: agua de 1:3, aplicado en un sustrato de arena + composta en proporción 1:1 en volumen y d) incorporación gradual de la mezcla arena + composta: 50 % del volumen de la maceta al inicio, 25 % a los 75 días después del trasplante (ddt) y el 25 % restante a los 150 ddt. Para estas cuatro fuentes de nitrógeno, estos autores encontraron valores de 3,71, 4,41, 4,33 y 4,59 °Brix, respectivamente. Por su parte Rodríguez *et al.* (2009) estudiaron el sustrato arena: composta (1:1; v:v) + té de composta diluido (1:3; v:v) y registraron 4,5 °Brix en los frutos de tomate. Otros

efectos ambientales, el método de cultivo y la selección de cultivares que influyen en la calidad y las propiedades antioxidantes de los tomates, lo que es fundamental para la producción de alimentos frescos de alta calidad (Aldrich *et al.*, 2010).

CAPÍTULO 3. RENDIMIENTO DE TOMATE EN UN SUELO TRATADO CON COMPOSTA, MINERALES PRIMARIOS AMORFOS Y MICROORGANISMOS.

3.1. INTRODUCCIÓN

El suelo tiene un comportamiento dinámico, desde el origen de la vida se han extraído los nutrientes requeridos por la biota del suelo, que ha desarrollado procesos de mineralización, y que se emplea como mecanismos de protección y desarrollo. El suelo está compuesto por más de 1300 diferentes minerales primarios ricos en Si, Mg, Ca, K, Fe, P, Zn, Cu, S, etc., los cuales son disueltos por la materia orgánica y los microorganismos para la nutrición de las plantas. Los suelos con alto contenido de minerales primarios (feldespatos, anfíbolos y piroxenos, etc.) ofrecen una reserva considerable de nutrientes (FitzPatrick, 1996), lo cual también se logra con roca pulverizada mediante un proceso práctico que reduce el consumo de energía y aumenta la disponibilidad de nutrientes al combinarse con microorganismos que solubilizan los minerales primarios amorfos (Stamford *et al.*, 2009).

El suelo es uno de los ecosistemas más complejos de la naturaleza y uno de los hábitats más diversos de la tierra, alberga una infinidad de organismos diferentes que interactúan entre sí y contribuyen a los ciclos globales que hacen posible la vida (FAO, 2015). Los ciclos biogeoquímicos involucran a componentes geológicos (N, C, P, K, Ca, Mg, S, Na, Cl) y biológicos del ecosistema que involucran al agua, a los productores, consumidores y degradadores (Curtis y Sue 2001), y son de fundamental importancia para mantener el equilibrio de la naturaleza debido a la participación y reutilización de los elementos en el ecosistema (Fournier y Luis, 2003).

Todos los organismos vivos contribuyen a los ciclos biogeoquímicos, pero los microorganismos, debido a su gran abundancia, enormes capacidades metabólicas y el potencial de adaptación, desempeñan un papel clave en el

Todos los organismos vivos contribuyen a los ciclos biogeoquímicos, pero los microorganismos, debido a su gran abundancia, enormes capacidades metabólicas y el potencial de adaptación, desempeñan un papel clave en el funcionamiento y la evolución de los ciclos biogeoquímicos. En consecuencia, son fundamentales en la adaptación, resistencia y capacidad de recuperación de los ecosistemas (Bertrand *et al.*, 2015).

Los componentes del entorno geológico son: 1) la atmósfera, constituida fundamentalmente por gases, que incluyen el vapor de agua, 2) la litosfera, la corteza sólida de la tierra, y 3) la hidrósfera, que comprende los océanos, lagos y ríos que cubren las tres cuartas partes de de la superficie terrestre. Los componentes biológicos de los ciclos biogeoquímicos incluyen a productores, consumidores y degradadores (Curtis y Barnes, 2001).

La óxido-reducción cambia drásticamente el comportamiento de los elementos en el suelo. En la naturaleza, la óxido-reducción siempre ocurre de manera simultánea y no quedan electrones libres, y su importancia radica en que es un proceso que origina las reacciones de energía dada por la transferencia de electrones. El oxígeno (O), carbono (C), nitrógeno (N), azufre (S), hierro (Fe) y manganeso (Mn), son los elementos involucrados en la capacidad redox y determinan en gran parte la génesis de suelos sulfatados ácidos (Hinrich, 2002).

La óxido-reducción con $mV > 400$ es un indicador de una fuerte oxidación que limita la productividad agrícola (Gómez *et al.*, 2005).

Originalmente el término óxido-reducción fue aplicado a las reacciones en las cuales una sustancia se combinaba con el oxígeno, pero actualmente el concepto tiene un significado más amplio, ya que la reacción no requiere necesariamente la presencia de oxígeno, de tal manera que oxidación se define como la pérdida de electrones, o un aumento en el número de oxidación de un elemento hacia un valor más positivo, en tanto que reducción se refiere a la ganancia de electrones o

Actualmente para la producción agrícola se emplean insumos que provienen de la energía fósil, pero en cultivos como el tomate, las demandas de una fertilización con N son altas (300-550 kg ha⁻¹). Sin embargo, el N al igual que el P actúan como contaminantes en los flujos y fuentes de agua en Sinaloa, en el orden de 178,438 y 9,890 t año⁻¹, respectivamente, y los sectores que más contribuyen en su contaminación son la agricultura y la ganadería (Paez, 2007). Además, en el ámbito de la producción de alimentos vegetales, el tomate es la segunda hortaliza que más se produce en el mundo (aproximadamente 164 millones de t), correspondiendo a México el 2% de la producción mundial (FAO, 2015).

Actualmente es urgente la necesidad de impulsar un nuevo paradigma agrícola, para asegurar suficientes alimentos sanos y accesibles para la creciente población mundial, aunque tendrá que hacerse sobre la misma base de tierra arable, con menos petróleo, menos agua, nitrógeno y otros recursos, y dentro de un escenario de cambio climático y de incertidumbre económica y social (Rosset *et al.*, 2006). Asimismo, urge generar alternativas tecnológicas para mantener o recuperar la capacidad productiva de la tierra, así como preservar los recursos naturales y el ambiente (Espinoza, 1996).

Los fertilizantes orgánicos aportan grandes cantidades de materia orgánica, microorganismos y minerales, rehabilitando las características físicas, químicas y biológicas de los suelos (Martínez *et al.*, 2008). Por lo anterior la agricultura moderna e intensiva debe tender a utilizar menos fertilizantes minerales y complementarse con el uso de biofertilizantes, debido a que los procesos microbiológicos implicados en su acción ofrecen ventajas de ser tecnologías que no contaminan el medio ambiente (Novella *et al.*, 2001).

De acuerdo con Pocknee y Sumner (1997), a partir de los tipos de materiales vegetales que se utilicen en la remediación de un suelo, por mineralización se liberan N y bases de cambio contenidas en compuestos orgánicos que afectan al pH, de tal manera que el N contenido en los materiales vegetales originales

provocaría un aumento inicial de pH asociado a la formación de NH_4^+ que consume protones. La posterior nitrificación del NH_4^+ en NO_3^- resultaría en una disminución del pH debido a liberación de los protones a la solución del suelo.

Los objetivos de esta investigación consistieron en determinar la condición química inicial y final del suelo, después de haber sido tratado con composta, minerales primarios amorfos y microorganismos, así como la respuesta del tomate saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en esas condiciones durante un periodo de 150 días, bajo el supuesto de que si al suelo se le aporta materia orgánica, minerales primarios amorfos y microorganismos, se puede satisfacer la demanda de nutrientes del tomate en todo su ciclo vegetativo y productivo.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó en un invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicado en el kilómetro 17,5 de la carretera Culiacán-Eldorado, con coordenadas $24^\circ 48' 28''$ N y $107^\circ 24' 30''$ O, en un suelo vertisol crómico con $\text{pH}=7.3$, $\text{CE}=0.92 \text{ dS m}^{-1}$, $\text{MO}=0.86 \%$, $\text{RAS}=1.1$, $\text{N}=147 \text{ kg ha}^{-1}$ y $\text{P}=28.7 \text{ kg ha}^{-1}$. Según García (1988), el clima es semiseco, muy cálido, extremo, con lluvias en verano, con temperatura media anual de 25.9°C y precipitación media anual de 772 mm.

Se utilizó tomate saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv 'Moctezuma' con hábito de crecimiento indeterminado, el cual se cultivó en surcos separados a 1,6 m y una densidad de población de $25,000 \text{ plantas ha}^{-1}$. El trasplante se realizó el 12 de diciembre de 2011 y las plantas se manejaron a un tallo, en diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y los tratamientos indicados en la Tabla 2.1. La solución Steiner se definió con base en lo recomendado por Steiner (1961), mientras que los otros tratamientos se construyeron teniendo en cuenta que la composta contiene de 1-3 % de N, con mineralización del 18 % (Egbahall, 2002), así como lo recomendado por los distribuidores de minerales primarios amorfos (MPA) y de microorganismos para definir el consorcio

microbiano (Tabla 2.2). En la parcela testigo, la solución Steiner se aplicó desde el trasplante hasta el fin de cosecha a través de un sistema de riego por goteo con doble manguera por cada surco con goteros cada 30 cm, en tanto que en las parcelas donde se asignaron los otros tratamientos sólo se aplicó agua con el mismo sistema, y donde se planeó la aplicación de microorganismos, éstos se aplicaron cada ocho días a través de dicho sistema de riego.

La composta bocashi (rastroyo de maíz, estiércol de bovino, salvado de arroz, cascarilla de arroz, melaza, levadura de pan, carbón vegetal triturado, tierra de aluvión y agua) y los MPA se aplicaron al suelo un mes antes del trasplante (adt), manteniéndose a capacidad de campo durante 30 días, posteriormente el suelo se removió y mezcló adt.

Se realizó un muestreo de suelo a una profundidad de 0-30 cm antes del trasplante y otro al final del cultivo. Las muestras de suelo se secaron a 40 °C y se molieron a un tamaño de partícula de 1.0 µm, y se compactaron con prensa hidráulica para obtener una pastilla con una superficie homogénea y liza (Quero, 2010). Posteriormente, se leyeron en un equipo compuesto por un espectrómetro de rayos X, acoplados a un microscopio electrónico de barrido (MEB) marca Jeol modelo JSM-6390 LV LGS.

Tabla 3.1. Tratamientos utilizados para la producción de tomate saladette en invernadero. Ciclo agrícola 2011-2012. Culiacán, Sinaloa. México

Tratamientos y control	Abrey.	Sustancias/mezclas
Control (Tratamiento 1)	T ₁	Solución Steiner 100 %
Tratamiento 2	T ₂	15 Mg ha ⁻¹ composta + 3 Mg ha ⁻¹ MPA
Tratamiento 3	T ₃	15 Mg ha ⁻¹ composta + 3 Mg ha ⁻¹ MPA + 2 L ha ⁻¹ de M
Tratamiento 4	T ₄	15 Mg ha ⁻¹ composta + 6 Mg ha ⁻¹ MPA
Tratamiento 5	T ₅	15 Mg ha ⁻¹ composta + 6 Mg ha ⁻¹ MPA + 2 L ha ⁻¹ de M
Tratamiento 6	T ₆	25 Mg ha ⁻¹ composta + 3 Mg ha ⁻¹ MPA
Tratamiento 7	T ₇	25 Mg ha ⁻¹ composta + 3 Mg ha ⁻¹ MPA + 2 L ha ⁻¹ de M
Tratamiento 8	T ₈	25 Mg ha ⁻¹ composta + 6 Mg ha ⁻¹ MPA
Tratamiento 9	T ₉	25 Mg ha ⁻¹ composta + 6 Mg ha ⁻¹ MPA + 2 L ha ⁻¹ de M

MPA= Minerales Primarios Amorfos; M=Microorganismos

Tabla 3.2. Características físico-químicas de la composta y minerales primarios amorfos y concentraciones utilizadas de las especies del consorcio microbiano.

Característica	Composta	Característica	Minerales primarios amorfos	Consortio microbiano	Concentración
pH	9.30	pH	8.9	<i>Bacillus subtilis</i>	1x10 ¹⁸ ufc ml ⁻¹
CE (dS m ⁻¹)	12.0	CE (dS m ⁻¹)	4.5	<i>Trichoderma harzianum</i>	2x10 ⁸ ufc g ⁻¹
MO (%)	10.78	SiO ₂ (%)	34	<i>Azotobacter spp</i>	1x10 ⁶ ufc g ⁻¹
N-total (%)	0.78	P ₂ O ₅ (%)	9.6	<i>Azospirillum brasilense</i>	1x10 ⁶ ufc g ⁻¹
P ₂ O ₅ (%)	0.34	K ₂ O (%)	2.5	<i>Glomus intraradices</i>	20 esporas g ⁻¹
K ₂ O (%)	1.90	CaO (%)	13		
Ca (%)	1.48	MgO(%)	2.0		
Mg (%)	0.93	Fe (mg kg ⁻¹)	18		
Fe (mg kg ⁻¹)	1.9	Zn (mg kg ⁻¹)	16		
Cu (mg kg ⁻¹)	16	Mn (mg kg ⁻¹)	5		
Zn (mg kg ⁻¹)	65				
Mn (mg kg ⁻¹)	390				
B (mg kg ⁻¹)	120				

El espectrómetro de energía dispersiva de rayos X modelo LK-IE250 OXFORD INCA ENERGY 250 permite, por emisión de un haz de electrones primarios que inciden en la muestra y generan electrones secundarios que son colectados por un detector de electrones, la cuantificación total de elementos químicos que se encuentran en una concentración superior al 0.1% del peso seco de la muestra de suelo, con lo que se analizó el contenido de C, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cl, Mn, Na, Fe, Ti, Al y Si. Asimismo, el pH, CE, CIC y el potencial óxido-reducción (ORP) presente en dichos sitios.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los porcentajes de C que se observan en la Tabla 3.3 indican que antes del trasplante se aportó menos energía con T₈ y donde posteriormente se aplicaría solución Steiner para el crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate, mientras que con el resto de tratamientos la aportación fue mayor, ya que los altos valores de C que se detectaron, comparados con los porcentajes encontrados donde se aplicaron solución Steiner y T₈, quizás fueron producto de la mineralización de la materia orgánica por los microorganismos adicionados al suelo con la composta en conjunto con los ya existentes en dicho recurso natural. Sin embargo, posterior a la cosecha el C ya no fue detectado donde se aplicó solución Steiner, pero donde se incorporó T₈ dicho elemento sólo disminuyó ligeramente (5.1 %) en relación a lo estimado en las mismas parcelas antes del trasplante. Lo anterior coincide con lo reportado por Martínez *et al.* (2008), ya que ellos refieren que con la mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS) se liberan diversos nutrientes para las plantas, muchos de los cuales son aportados en forma deficitaria por los minerales del suelo, y que el C orgánico del suelo (COS) interviene en las propiedades biológicas, básicamente actuando como fuente energética para los organismos heterótrofos del suelo. Asimismo, que el COS, a través de los efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo ha resultado ser el principal determinante de su productividad. Además, estos resultados confirman lo declarado por la FAO (2002) y lo descubierto por Craswell y Lefroy (2001), en el sentido de que la agricultura de conservación, abonos verdes, cultivos de cobertura, compostas y abonos orgánicos son una fuente importante para la captura de carbono.

La cantidad de oxígeno antes del trasplante fue estadísticamente superior en un rango de 0.3 a 7.1 % en las parcelas donde se aplicó solamente solución Steiner (Tabla 3.3) en comparación a lo encontrado donde se aplicaron los demás tratamientos; asimismo, después de la cosecha, pero el rango de incrementos osciló de 1.1 a 5.7 %, de tal manera que como lo señalan Singer y Munns (1996),

esto significa que el oxígeno no fue un factor limitante en el suelo para que la descomposición de la materia orgánica se produjera en parte por respiración, y que de acuerdo al estado oxidativo del suelo el C mineralizado pudo adoptar las formas oxidada (CO_2) o reducida (CH_4).

A diferencia del C y O, los porcentajes de N que se encontraron antes del trasplante en todas las parcelas fueron muy variables, de tal manera que las mayores cantidades se obtuvieron en aquellas áreas tratadas con solución Steiner, T_4 , T_6 , T_8 y T_9 , con los respectivos incrementos de 82.7, 63.1, 80.4 y 82.7 % en relación a lo estimado en la unidades experimentales tratadas con T_5 . No obstante, los porcentajes fueron mucho más elevados después de la cosecha, a tal grado que ya no se encontraron valores menores a la unidad porcentual, sino de 2.4 a 4.2 unidades; sin embargo, con T_3 y T_5 los porcentajes se incrementaron 20.3 y 25.5 % con respecto a lo encontrado donde se trató con solución Steiner, aunque los valores no fueron estadísticamente diferentes; en cambio, con T_6 y T_7 los porcentajes fueron 25.2 y 29.3 % inferiores a lo alcanzado con solución Steiner. Según Pocknee y Sumner (1997), estos valores de N antes del trasplante y después de la cosecha podrían explicarse por la liberación por mineralización de las bases de cambio contenidas en los compuestos orgánicos y por el contenido inicial de N en los materiales vegetales utilizados en la composta.

En la concentración de P también se encontraron cantidades muy variables antes del trasplante (Tabla 3.3), de tal forma que el mayor incremento (132.8 %) se dio con T_7 comparado a lo obtenido con solución Steiner; mientras que con T_8 disminuyó 39.9 %. Después de la cosecha, el mayor contenido de P se obtuvo donde se aplicó solución Steiner, lo cual superó a los demás valores en un rango de 0.9 a 69.1 %, sin que se notaran diferencias estadísticas entre las porcentajes. Lo cual de acuerdo con Oades *et al.* (1989) y Krull *et al.* (2004), fue favorecido por la unión de iones con ligandos provenientes de la materia orgánica aplicada, lo que a su vez mejoró la fertilidad del suelo con la disponibilidad de P por bloqueo

de potenciales sitios de reacción con Fe, Al y Ca. Máxime que los valores fueron superiores al rango de 0.01-0.15 % reportado por Cajuste (1977), así como al de 0.02-0.08 % reportado por Fassbender y Bornemiza (1987).

Tabla 3.3. Contenido de macronutrientes del suelo antes del trasplante y después de la cosecha. Ciclo agrícola 2011-2012, Culiacán, Sinaloa, México.

Trat.	C (%)		O (%)		N (%)		P (%)	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
T ₁	3.183 b	0.000 c	56.010 a	56.125 a	0.243 a	3.372 abc	0.183 ab	0.350 a
T ₂	9.313 a	7.220 a	52.292 c	53.075 c	0.206 ab	3.882 ab	0.290 ab	0.242 a
T ₃	7.465 a	5.368 ab	53.390 bc	54.485 abc	0.183 ab	4.070ab	0.363 ab	0.240 a
T ₄	7.423 a	6.985 a	53.902 b	53.382 c	0.217 a	3.415 abc	0.366 ab	0.297 a
T ₅	9.713 a	8.165 a	52.432 bc	53.902 bc	0.133 b	4.232 a	0.243 ab	0.277 a
T ₆	8.418 a	6.170 ab	53.130 bc	54.492 abc	0.240 a	2.522 c	0.366 ab	0.347 a
T ₇	9.613 a	4.850 ab	52.677 bc	54.275 abc	0.206 ab	2.385 c	0.426 a	0.235 a
T ₈	3.183 b	3.020 bc	55.860 a	55.527 ab	0.247 a	3.157 bc	0.110 b	0.207 a
T ₉	9.870 a	6.925 a	52.377 bc	54.032 bc	0.243 a	3.185 abc	0.360 ab	0.307 a
DMSH	3.934	3.753	1.569	1.902	0.078	1.069	0.309	0.177

Medias con diferente letra en la columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Continúa.....

En lo correspondiente al K se observó que este elemento estuvo presente en el suelo de una forma variable, pero sin diferencia estadística entre los porcentajes antes del trasplante y después de la cosecha (Tabla 3.3); en cuanto al Ca ocurrió algo parecido antes del trasplante, pero después de la cosecha los porcentajes variaron estadísticamente y el mayor valor porcentual se encontró donde se aplicó solución Steiner, lo que a su vez superó en 11.6, 15.8, 14.1, 16.0 y 13.8 % a los valores obtenidos donde se aplicaron T₂, T₃, T₅, T₈ y T₉, respectivamente. El Mg varió estadísticamente antes del trasplante, pero el porcentaje donde se aplicaría solución Steiner sólo se incrementó en 23.5 % comparado con el valor porcentual estimado donde el suelo fue tratado con T₇, mientras que posterior a la cosecha el

porcentaje en las mismas parcelas superó en 30.6, 25.8, 32.8, 44.9 y 17.9 % a los valores porcentuales encontrados donde se incorporaron los respectivos T₂, T₃, T₄, T₅, y T₆.

Tabla 3.3. Continuación.

Trat.	K (%)		Ca (%)		Mg (%)		S (%)	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
T ₁	1.053 a	0.946 a	2.033 a	2.305 a	1.683 a	1.820 a	0.226 a	0.0
T ₂	1.263 a	1.146 a	2.080 a	2.065 b	1.416 ab	1.393 bcd	0.010 a	0.0
T ₃	1.110 a	1.150 a	2.360 a	1.990 b	1.430 ab	1.447 bcd	0.027 a	0.0
T ₄	1.216 a	1.133 a	2.260 a	2.085 ab	1.417 ab	1.370 cd	0.033 a	0.0
T ₅	1.170 a	1.007 a	2.093 a	2.020 b	1.440 ab	1.256 d	0.033 a	0.0
T ₆	0.990 a	1.063 a	2.233 a	2.147 ab	1.383 ab	1.543 bc	0.077 a	0.0
T ₇	1.193 a	1.190 a	2.263 a	2.110 ab	1.363 b	1.566 abc	0.067 a	0.0
T ₈	0.946 a	0.950 a	1.945 a	1.987 b	1.597 ab	1.606 abc	0.203 a	0.0
T ₉	1.090 a	0.950 a	2.173 a	2.025 b	1.370 ab	1.630 ab	0.200 a	0.0
DMSH	0.280	0.274	0.642	0.385	0.213	0.222	0.251	0.0

Medias con diferente letra en la columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El azufre no varió estadísticamente antes del trasplante, pero los porcentajes más elevados se obtuvieron en las parcelas donde se aplicaría solución Steiner y donde se aplicaron T₈ y T₉, siendo con mucho superior a lo estimado en las demás parcelas; sin embargo, después de la cosecha este elemento ya no se encontró en las muestras de suelo. Los resultados en K, Ca, Mg y S, coinciden con lo reportado por Meléndez y Soto (2003), quienes descubrieron que los nutrientes son secuestrados en la materia orgánica y liberados de ésta por dos procesos distintos: biológicos (N, P, S) y químicos (Ca, Mg, K). Asimismo, que después de la cosecha el contenido de S en el suelo de las parcelas experimentales de esta investigación fue inferior al 0.1 % que recomienda Takkar (1988), mientras que el contenido de K estuvo dentro del rango de 0.5-2.5 % informado por Tisdale *et al.*

(1991), en tanto que los de Ca fueron muy superiores al rango de 0.1-0.3 % referido por Prasad y Power (1997) y al 0.12 % que Nuez (2001) recomienda para que en el suelo no se presenten deficiencias en tomate. De igual manera sucedió con el Mg, ya que según Fassbender y Bornemiza (1987) mencionan que el Mg en suelos no calcáreos varía de 0.1 a 1%.

El contenido de Zn antes del trasplante se indica en la Tabla 3.4, donde se puede notar que el mayor porcentaje se obtuvo con T₂, lo que a su vez superó en 2.85 veces a lo encontrado donde se aplicaría solución Steiner, sin que entre ambos valores hubiera diferencia estadística; sin embargo, donde se aplicaron T₅ y T₈ el equipo de rayos x no detectó a este elemento. Después de la cosecha se observó que los valores disminuyeron 46.1, 76.0, 63.6, 25.6, 100 y 100 %, en las parcelas donde se aplicaron T₁, T₂, T₃, T₄, T₇ y T₉, respectivamente, en tanto que con T₆ y T₈ los valores no variaron, pero con T₅ este elemento se detectó en el porcentaje que se indica en la tabla. No obstante, el contenido de Zn encontrado antes del trasplante en esta investigación fue muy inferior a lo recomendado por Prasad y Power (1997), ya que ellos refieren que el contenido de Zn en el suelo debe ser de aproximadamente 0.5-70 mg Mg⁻¹, puesto que las plantas de tomate requieren este nutriente para la síntesis del ácido B-indolacético, una de las hormonas de crecimiento, que de acuerdo con Navarro (2003), aumenta o disminuye de forma paralela con el contenido de triptófano que es uno de sus precursores, y que de acuerdo con Vallee (1976) dicho aminoácido debe ser sintetizado con ayuda de una de las 80 enzimas que contienen Zn.

El Cl fue uno de los elementos que el sistema de rayos x sólo detectó antes del trasplante en las parcelas que recibieron tratamiento con T₈ (Tabla 3.4), lo que significa que los porcentajes de Cl encontrados en esta investigación antes del trasplante no fueron suficientes para satisfacer las necesidades de las plantas de tomate, ya que Navarro (2003) indica que los requerimientos fisiológicos son de 5 ppm, toda vez que de acuerdo con Navarro y Navarro (2013) el contenido medio de Cl en las plantas es de 2-20 mg g⁻¹ en peso seco, aunque también refieren que

para un crecimiento óptimo de la mayoría de las plantas, el contenido debe estar en un rango de 0.2-0.4 mg g⁻¹ peso seco. Sin embargo, esta cantidad muy baja de Cl en las parcelas con T₈ debió tener consecuencias en el rendimiento de tomate, porque justamente con este tratamiento fue con el que se obtuvo la mayor producción total.

El Mn estuvo presente con diferencias estadísticas antes del trasplante, con incrementos que fueron desde 12.0-32.5 % con todos los tratamientos que incluyeron composta, con respecto al valor obtenido con T₁; no obstante, después de la cosecha ya no se observaron incrementos con diferencias estadísticas, por lo que de acuerdo con Salisbury y Ross (2000) las plantas de tomate tuvieron suficiente Mn para la activación de enzimas importantes en la respiración, en reacciones del metabolismo del nitrógeno y la fotosíntesis, así como para el metabolismo de la hormona ácido indolacético, aunque el papel más importante del manganeso en la fotosíntesis quizás fue en la secuencia de reacciones para derivar electrones del agua y liberar oxígeno. De no haber estado el Mn en cantidades suficientes, en las plantas se hubieran observado síntomas de deficiencia.

El Na fue otro elemento que antes del trasplante se detectó con incrementos de 12.5-50.4 % donde se incorporaron tratamientos que contuvieron composta, comparado con el porcentaje estimado donde se aplicaría T₁, aunque sólo hubo diferencia estadística con respecto al valor obtenido con T₅; después de la cosecha ya no se observaron incrementos en relación al valor observado donde se aplicaría T₁, pero entre los respectivos pares de valores hubo disminuciones de 72.0, 75.1, 78.5, 82.7, 84.5, 80.1, 76.6, 75.1 y 75.8 % de dicho elemento, lo que conllevó a que las sales no se acumularan en el suelo y afectaran el crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate, como lo refiere Villafañe (1997) en plantas de batata (*Ipomoea batata* L.), en las que se acumularon Na y Cl por falta de mecanismos para exclusión de estos elementos, ocasionando restricción de agua y deterioro de la parte aérea y raíces, así como deformación de hojas.

Tabla 3.4. Contenido de micronutrientes y elementos beneficiosos del suelo antes del trasplante y después de la cosecha. Ciclo agrícola 2011-2012, Culiacán, Sinaloa. México.

Trat.	Zn (%)		Cl (%)		Mn (%)		Na (%)	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
T ₁	0.013 abc	0.007 a	0.0 a	0.0	0.083 b	0.096 a	0.343 b	0.096 a
T ₂	0.050 a	0.012 a	0.0 a	0.0	0.100 a	0.103 a	0.413 ab	0.103 a
T ₃	0.033 abc	0.012 a	0.0 a	0.0	0.093 a	0.096 a	0.446 ab	0.096 a
T ₄	0.043 ab	0.032 a	0.0 a	0.0	0.100 a	0.076 a	0.440 ab	0.076 a
T ₅	0.000 c	0.025 a	0.0 a	0.0	0.100 a	0.080 a	0.516 a	0.080 a
T ₆	0.010 bc	0.010 a	0.0 a	0.0	0.106 a	0.086 a	0.433 ab	0.086 a
T ₇	0.017 abc	0.000 a	0.0 a	0.0	0.093 a	0.106 a	0.453 ab	0.106 a
T ₈	0.000 c	0.000 a	0.032 a	0.0	0.110 a	0.096 a	0.386 ab	0.096 a
T ₉	0.013 abc	0.000 a	0.0 a	0.0	0.093 a	0.100 a	0.413 ab	0.100 a
DMSH	0.050	0.050	0.038	0.0	0.027	0.046	0.155	0.289

Medias con diferente letra en la columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Continúa.....

Antes del trasplante el Fe tuvo incremento en las parcelas tratadas con T₈ con respecto al valor alcanzado donde se aplicaría solución Steiner (Tabla 3.4), el cual llegó a ser de 7.5 % sin diferencia estadística entre ambos valores, mientras que con relación al valor estimado donde se aplicó T₄ el incremento fue de 17.1 % con diferencia estadística. Después de la cosecha los valores más altos se lograron donde se aplicó solución Steiner, T₇ y T₈, los cuales superaron en los respectivos 23.1, 18.7 y 21.7 % al valor alcanzado con T₅; entonces de acuerdo a la información de Salisbury y Ross (2000), el hierro siempre estuvo presente en el suelo, de donde fue absorbido para formar parte del sitio catalítico de muchas enzimas óxido-reductoras, y de esa manera influir de manera importante en la

formación de clorofila. Además, como lo menciona (Hinrich, 2002), seguramente estuvo involucrado en la capacidad redox del suelo.

El contenido de Ti antes del trasplante fue más alto (21.3 %) donde se aplicó T₈ comparado con el valor estimado donde se aplicó T₄ (Tabla 3.4), y después de la cosecha continuó siendo el más alto sin diferencias estadísticas con respecto a los demás valores.

Tabla 3.4. Continuación

Trat.	Fe (%)		Ti (%)		Al (%)		Si (%)	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
T ₁	4.912 ab	5.357 a	0.180 ab	0.192 a	6.992 a	7.422 a	20.212 a	22.112 a
T ₂	4.692 ab	4.722 ab	0.165 ab	0.177 a	5.995 c	6.282 bc	19.382 a	19.477 cd
T ₃	4.830 ab	4.810 ab	0.155 ab	0.187 a	6.34 abc	6.365 bc	19.622 a	19.625 cd
T ₄	4.510 b	4.932 ab	0.150 b	0.180 a	6.210 bc	6.405 bc	19.212 a	19.635 cd
T ₅	4.672 ab	4.350 b	0.162 ab	0.175 a	6.110 bc	5.905 c	19.012 a	18.390 d
T ₆	4.620 ab	4.945 ab	0.165 ab	0.185 a	6.122 bc	6.342 bc	18.917 a	20.025 cd
T ₇	4.752 ab	5.165 a	0.165 ab	0.185 a	5.840 c	6.730 abc	18.457 a	21.135 abc
T ₈	5.280 a	5.295 a	0.182 a	0.195 a	6.785 ab	7.030 ab	19.460 a	21.535 ab
T ₉	4.695 ab	4.895 ab	0.160 ab	0.175 a	5.830 c	6.260 bc	18.850 a	19.362 cd
DMSH	0.706	0.772	0.030	0.026	0.737	0.838	2.171	1.874

Medias con diferente letra en la columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En cambio, el mayor porcentaje de Al antes del trasplante y después de la cosecha se obtuvo donde se aplicaría o se aplicó T₁, sólo con incrementos de 16.6, 12.6, 14.4, 14.2, 19.7 y 19.9 % en comparación a los respectivos valores detectados donde se aplicaron T₂, T₄, T₅, T₆, T₇ y T₉ antes del trasplante, en tanto que después de la cosecha los incrementos fueron de 18.4, 16.6, 15.9, 25.7, 17.0 y 18.6 % en comparación a lo detectado donde se adicionaron T₂, T₃, T₄, T₅, T₆ y T₉, respectivamente. El valor del Si no varió estadísticamente antes del trasplante, pero tuvo incrementos de 3.0-9.5 % sobre los valores obtenidos con los demás de tratamientos; sin embargo, después de la cosecha lo detectado tuvo las

diferencias estadísticas que se observan en la Tabla 3.4 con incrementos de 13.5, 12.7, 12.6, 20.2, 10.4 y 14.2, solamente en relación a los respectivos valores obtenidos con T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, y T₉. Esto permite deducir que el Si es como lo refiere Epstein (1999), un elemento benéfico o cuasi-esencial, o como lo señala Haynes (2014), un elemento beneficioso para las plantas. Además, Miramontes *et al.* (2004) encontraron que con 3.28 cmol (+) de Si kg⁻¹ de suelo se tuvo un efecto significativo y altamente significativo sobre la altura y las biomásas fresca y seca, respectivamente, de la planta de chícharo (*Pisum sativum* L.).

El haber aplicado los tratamientos antes del trasplante ocasionó que el pH y la ORP se incrementaran en todos los casos (Tabla 3.5) con respecto a lo registrado después de la cosecha, de tal forma que con todos los tratamientos que incluyeron ya sea composta más los minerales primarios amorfos o composta más minerales primarios amorfos y microorganismos, el pH se incrementó significativamente en comparación a lo estimado en las parcelas tratadas con solución Steiner, y los incrementos oscilaron de 4.7-7.3 %. Este incremento del pH coincide con lo reportado por Aguilera (2000), quien ha mencionado que la MOS afecta al pH debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo.

Además, fueron muy similares a los reportados por López *et al.* (2001), ya que a una profundidad de 0-30 cm de suelo donde aplicaron 20, 30 y 40 t ha⁻¹ de estiércol de bovino, caprino y composta en combinación con 4, 8 y 12 t ha⁻¹ de gallinaza, más la aplicación de 4, 8 y 12 t ha⁻¹ de gallinaza, obtuvieron pH con valores de 8.05-8.50.

Sin embargo, en cuanto al potencial óxido reducción (ORP) que también se incrementó con todos los tratamientos al término de la cosecha, en comparación a lo registrado antes del trasplante, el valor más alto se obtuvo donde se aplicó la solución Steiner, el cual superó de 12.8-34.1 % a lo estimado con los demás tratamientos. Los valores más altos de ORP después de la cosecha significan que

la oxidación se incrementó a los niveles indicados en la Tabla 3.5, debido a la materia orgánica contenida en el suelo más la que se adicionó con la composta, el contenido de oxígeno y la pérdida de electrones por algunos elementos. No obstante, los valores de mV encontrados en esta investigación estuvieron muy por debajo de 400, de tal manera que como lo señalan Iván *et al.* (2005) la óxido-reducción no fue una limitante en la producción del tomate.

La CE disminuyó en el 66.7 % de los casos en comparación a lo estimado antes del trasplante, incluida la parcela donde se aplicó la solución Steiner (Tabla 3.5); mientras que después de la cosecha, los valores de la CIC disminuyeron en todos los casos con respecto a los valores obtenidos antes del trasplante, pero la mayor disminución (66.1 %) ocurrió donde se aplicó la solución Steiner. Sin embargo, los valores de CIC encontrados antes del trasplante fueron muy similares a los reportados por Ribón *et al.* (2003), toda vez que ellos obtuvieron valores de 23.9-34.9 Cmol (+) kg⁻¹ en parcelas con 5, 10, 20, 30 años cultivados con caña de azúcar y fertilizadas con la fórmula 120-60-60. Además, se cumplió con lo recomendado por la NOM-021-RECNAT-2000 (2000), ya que esta norma considera que la reserva nutrimental del suelo es abundante cuando la CIC es mayor de 25 Cmol (+) kg⁻¹ de suelo.

Tabla 3.5. Variables químicas del suelo antes del trasplante y después de la cosecha. Ciclo agrícola 2011-2012. Culiacán, Sinaloa, México.

Trat.	pH (H)		CE (dS/m ¹)		CIC (cmol _c kg ⁻¹)		ORP (mV)	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
T ₁	7.766 a	7.795 b	1.798 a	1.155 a	12.680 b	4.296 c	147.680 abc	289.750 a
T ₂	7.833 a	8.245 a	0.435 d	0.502 b	34.663 a	26.083 a	159.680 ab	219.000 d
T ₃	7.933 a	8.365 a	0.403 d	0.882 ab	26.893 a	20.063 ab	151.000 abc	216.000 d
T ₄	7.800 a	8.160 a	1.349 ab	0.997ab	27.543 a	26.105 a	173.000 a	233.750 cd
T ₅	7.800 a	8.172 a	0.586 cd	0.787 ab	35.358 a	27.390 a	161.680 ab	220.000 d
T ₆	7.742 a	8.370 a	0.887 bcd	0.537 b	30.598 a	23.035 a	126.000 bcd	239.000 bc
T ₇	7.500 a	8.297 a	1.158 abc	0.557 ab	35.400 a	18.913 ab	173.680 a	229.250 cd
T ₈	6.933 b	8.212 a	1.284 ab	0.752 ab	12.623 b	9.452 bc	116.000 cd	256.750 b
T ₉	7.466 a	8.252 a	1.617 a	0.640 ab	35.280 a	26.083 a	93.670 d	240.750 cb
DMSH	0.482	.268	0.781	0.614	12.361	12.275	40.010	18.318

Medias con diferente letra en cada columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

En la Tabla 3.6 se puede observar que en las parcelas manejadas con solución Steiner o con T₈, la producción de frutos extragrandes superó desde 127.0 % hasta 428.2 % más donde se aplicó solución Steiner, mientras que donde se aplicó T₈ los incrementos oscilaron de 146.4-399.1 %. En frutos grandes la mayor producción se logró con T₈, pero el promedio alcanzado sólo superó en 142.3, 139.9 y 146.7 % a los respectivos promedios obtenidos con T₃, T₅ y T₇. La producción de frutos medianos se expresó con mayor intensidad donde se aplicó T₂, aunque estadísticamente el promedio sólo superó en 163.2, 1.56.6 y 140.4 % a lo alcanzado en las parcelas tratadas con T₁, T₅ y T₉, respectivamente. El rendimiento de frutos chicos fue superior en las parcelas tratadas con T₂ y T₇, de tal manera que con T₂ sólo se superó en 279.2, 135.8 y 76.7 % a los promedios obtenidos con T₁, T₈ y T₉, respectivamente; en tanto que con T₇ los respectivos incrementos fueron de 277.3, 134.9 y 138.7 % con respecto a los mismos promedios. Sin embargo, la mayor producción total se obtuvo con T₈, la cual no

superó a lo logrado con la solución Steiner, pero en relación a los respectivos promedios cosechados con los tratamientos T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇ y T₉, se estimaron incrementos de 123.1, 157.2, 142.7, 174.0, 140.9, 154.5 y 126.7 %.

Tabla 3.6. Producción y calidad de tomate saladette: extra grande, grande, mediano, chico y producción total, con el uso de solución Steiner, composta, minerales primarios amorfos y consorcio microbiano.

Tratamientos	Extragrande (kg m ⁻²)	Grande (kg m ⁻²)	Mediano (kg m ⁻²)	Chico (kg m ⁻²)	Total (kg m ⁻²)
T ₁	5.010 a	3.220 ab	1.660 b	0.530 d	10.430 ab
T ₂	1.830 c	3.250 ab	2.710 a	1.480 a	9.260 bc
T ₃	1.560 c	2.340 c	2.050 ab	1.330 abc	7.250 cd
T ₄	1.850 c	2.630 abc	2.160 ab	1.360 ab	7.990 cd
T ₅	1.170 c	2.380 bc	1.730 b	1.280 abc	6.550 d
T ₆	1.970 c	2.710 abc	2.120 ab	1.280 abc	8.090 cd
T ₇	1.330 c	2.270 c	2.310 ab	1.470 a	7.380 cd
T ₈	4.670 a	3.330 a	2.310 ab	1.090 bc	11.400 a
T ₉	3.190 b	2.820 abc	1.930 b	1.060 c	9.000 bc

Medias con diferente letra en la columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La producción total de 114 Mg ha⁻¹ obtenida de las parcelas tratadas con 25 Mg ha⁻¹ de composta + 6 Mg ha⁻¹ de MPA (T₈) casi fue similar a lo que Parra *et al.* (2014) obtuvieron en otra investigación (113.97 Mg ha⁻¹) con el mismo cultivar, pero superó a lo reportado por Preciado *et al.* (2011), consistente en 128, 60.9, 101.6 y 54.6 Mg ha⁻¹, que obtuvieron de tomate saladette cultivado con solución Steiner, té de composta, té de vermicomposta y lixiviado de vermicomposta, respectivamente. También superó la producción de 84 Mg ha⁻¹ que obtuvieron Cun *et al.* (2008), mediante aplicación de hongos micorrizógenos del género *Glomus* y humus de lombriz. Lo mismo ocurrió con el rendimiento obtenido por De la Cruz *et al.* (2009), quienes sólo cosecharon 39,8 Mg ha⁻¹ de donde aplicaron composta de estiércol de bovino, rastrojo de maíz, zacate elefante y tierra negra (CEMZT) al 75 % + arena y la vermicomposta de estiércol, pasto bahía y tierra negra (VEPT) al

100 y 50 % + arena. Las 57,4 Mg ha⁻¹ obtenidas por De la Cruz *et al.* (2010) a partir del tomate cultivado con la relación (1:1:1, V:V:V) de la mezcla vermicomposta de estiércol de ganado vacuno + paja de maíz y tierra negra (75 % + 25 % de arena), también fueron superadas por la producción que se logró en esta investigación.

No obstante, la producción de 250 Mg ha⁻¹ que obtuvieron Ortega *et al.* (2010) de los tomates (seis plantas m⁻²) cultivados en sustrato formado de aserrín de pino composteado + composta de estiércol de ovino y solución Steiner, fue superior a la que se obtuvo en esta investigación. Asimismo, con respecto a la producción reportada por Cruz *et al.* (2012), la cual fue de 146.33 Mg ha⁻¹ a partir del híbrido 'Charleston' cultivado en mezcla de tezontle + vermicomposta de estiércol bovino y desechos vegetales. También fue inferior a las 136,7 Mg ha⁻¹ que cosecharon Márquez *et al.* (2013), cuando fertilizaron las variedades de tomate Big Beef y Bosky con solución inorgánica y composta + macro y micro elementos inorgánicos. La influencia de los microorganismos no se notó porque quizás las plantas de tomate no necesitaron nutrientes más allá de los que se mineralizaron a partir del 0.86 % de MO ya existente en el suelo, de la composta y los minerales primarios amorfos adicionados.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES

4.1. CONCLUSIONES

Con el híbrido 'Moctezuma' y la fertilización de ésta con 25 Mg ha⁻¹ de composta y 6 Mg ha⁻¹ de MPA, es posible obtener una producción similar a la que se puede lograr con solución nutritiva Steiner, sin que en los frutos se alteren las propiedades de pH, acidez titulable y sólidos solubles.

La fertilización con 25 Mg ha⁻¹ de composta y 6 Mg ha⁻¹ de MPA fue suficiente para que con el híbrido 'Moctezuma' de tomate saladette se obtuviera una producción de similar proporción a la que se puede lograr con solución nutritiva Steiner.

La incorporación de composta, MPA y microorganismos hizo que el suelo incrementara su fertilidad desde antes del trasplante, y hasta la cosecha se continuara proveyendo de suficientes nutrientes para el crecimiento, desarrollo y rendimiento de tomate, con excepción del Cl y el S, el primero que apenas se detectó antes del trasplante, y el segundo que ya no fue detectado después de la cosecha, al igual que Cl.

Las deficiencias de Cl y S en el suelo antes del trasplante y después de la cosecha quizás fueron unas de las causas por las que las plantas de tomate ya no produjeron más allá de lo que se logró con la solución Steiner y con T₈, ya que el S es un elemento importante en la formación de compuestos orgánicos (proteínas, cistina, cisteína, metionina, etc.), mientras que el Cl forma parte del Fotosistema II que es importante para la fotosíntesis, además de formar parte de más de 130 compuestos orgánicos, dentro de ellos el ácido 4-cloroindolacético, que es una hormona del tipo de auxina.

Los porcentajes de nutrimentos detectados antes de que aplicara solución Steiner en las parcelas, indicaron que en el suelo ocurrieron la oxidación y reducción química de nutrimentos de manera natural, y que después que se aplicaron todos los tratamientos los dos fenómenos siguieron dándose, aunque la reducción fue más intensa en algunos elementos que otros, para que muchos de los nutrientes estuvieran disponibles para las plantas de tomate, excepto el Cl, antes del trasplante y después de la cosecha.

La no detección de S después de la cosecha en todas las parcelas, y la del Zn en algunas parcelas, indicó que estos son elementos en los que la reducción fue muy prominente, pero que fue menor en relación a la demanda de las plantas, ocasionando que aparentemente se agotaran al final de la cosecha de tomate.

A través de la fertilización con T₈ (25 Mg ha⁻¹ de composta y 6 Mg ha⁻¹ de MPA) se pudo llevar a cabo el manejo del suelo y plantas de manera más sustentable que cuando sólo se manejaron con solución Steiner, puesto que con T₈ se aportó materia orgánica y minerales, de donde continuaron las reducciones químicas para seguir proporcionando nutrimentos asimilables por parte de las plantas.

CAPÍTULO 5. LITERATURA CITADA

- Aguilera, S. M. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, pp: 77-85.
- Aguirre, P. S., Y. Carreón, y L. Varela. 2009. Impacto de la materia orgánica en huertos convencionales y huertos orgánicos de aguacate, sobre la biodiversidad de hongos micorrizógenos arbusculares. *Revista Biológicas*. 11: 111-121.
- Aldrich, H. T., K. Salandanan, P. Kendall, M. Bunning, F. Stonaker, O. Külen, and C. Stushnoff. 2010. Cultivar choice provides options for local production of organic and conventionally produced tomatoes with higher quality and antioxidant content. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2548-2555.
- Arnalds, A. 2004. Carbon sequestration and the restoration of land health: an example from Iceland. *Climatic Change* 65: 333-346.
- Astier, C. M., M. Maass, y B. J. Etchevers. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Atiyeh, B. S., R. Dham, M. Kadry, A. F. Abdallah, M. Al-Oteify, O. Fathi, and A. Samir, 2002. Benefit cost analysis of moist exposed burn ointment. *Burns*. 28: 659-663.
- Bertrand, J. C., P. Caumette, P. Lebaron, R. Matheron, P. Normand, and T. Sime-
Ngando. 2015. *Environmental Microbiology: Fundamentals and Applications: Microbial Ecology*. Springer Science+Business Media Dordrecht. 511 pp.

- Bifad (Board for International Food and Agricultural Development) Task Force. 1988. Environment and Natural Resources: Strategies for Sustainable Agriculture. U.S. Agency for International Development, Washington DC.
- Bouzo, C. B., y E. D. Astegiano. 2012. Efecto de diferentes agroecosistemas en la dinámica de nitrógeno, fósforo y potasio en el cultivo de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(5): 907-924.
- Brinton, W. F. 1997. Dynamic Chemical Processes underlying BD Horn Manure (500) Preparation. *Journal of Biodynamics*, Vol. 214: 2.
- Cajuste, L. J., 1977. Química de suelos con enfoque agrícola. Editor: Chapingo, México: Colegio de Postgraduados. 278 p.
- Cano, R. P., R. A. Moreno, C. Márquez, N. Rodríguez, y V. Martínez. 2004. Producción Orgánica de Tomate bajo Invernadero en la Comarca Lagunera. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. pp. 109-122.
- Celaya-Michel, H., y A. E. Castellanos-Villegas. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* 29:343-356.
- Cerón, R. L. E. y L. M. Melgarejo, M. 2005. Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad. *Acta Biológica Colombiana* 10(1): 5-18.
- Craswell, E. T. and R. B. D. Lefroy. 2000. The role and function of organic matter in tropical soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61: 7-18.
- Cruz, C. E., M. Sandoval V, V. H. Volke H, A. Can C, y J. Sánchez E. 2012. Efecto de mezclas de sustratos y en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(7): 1361-1373.

- Cun, G. R., C. Duarte, y S. Lorenzo M. 2008. Producción orgánica de tomate mediante la aplicación de humus de lombriz y EcoMic® en condiciones de casa de cultivo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 17(3): 22-25.
- Curtis, H. y N. Sue, B. 2001. *Biología. El flujo de energía*. En Capítulo 7. Sexta Edición en español. Editorial Médica Panamericana S.A. 189 p.
- Da Silva, R. L., A. R. Dos Santos, S. L. F. Silva, y J. S. Souza. 2010. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34: 891-897.
- De la Cruz L. E., M. A Estrada, B. V. Robledo-Torres, R. Osorio-Osorio, C. Márquez-Hernández, y Sánchez, H. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y ciencia* 25(1):59-67.
- De la Cruz, L. E., O. R. Osorio, M. E. Martínez, A. J. Lozano del Rio, V. A. Gómez, y R. Sánchez-Hernández. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia* 35(5): 363-368.
- Eghball, B., B. J. Wienhold, J. E. Gilley, and R. A. Eigenberg. 2002. Mineralization of Manure Nutrients. *Journal of Soil and Water Conservation* 57(6): 469-473.
- Epstein, E. 1999. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol Plant Mol. Biol.* 50: 641-664.
- Espinoza, O. 1996. *La agricultura moderna sus retos, cambios y perspectivas*. Universidad Autónoma de Sinaloa. ISBN: 968-6063-81-1.
- FAO. 2002. *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/y2779s/y2779s05.htm#fnB1>

2015. Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>
- Bender, H y E. Bornemisza. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Segunda edición revisada. San José Costa Rica. 420 p.
- Herrán, H. J. A., R. R. Sañudo-Torres, G.E. Rojo-Martínez, R. Martínez-Ruiz y V. Olalde, P. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. Ra Ximhai. 4: 57-67.
- res E. 2010. "Norman Borlaug, padre de la Revolución Verde". CIC Net Works. No. 7. Disponible en: <http://culturacientifica.com/2013/10/12/norman-borlaug-padre-de-la-revolucion-verde-por-elias-fe>.
- ra, C. R., y A. Alarcón. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. Ciencia Ergo Sum 8(2): 175-183.
- atrick, E. A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Primera edición en español. Editorial S. A de C.V. ISBN 968-24-5412-3. 161 p.
- ier, O. 2003. Recursos Naturales. Sexta reimpresión. Editorial Universidad a Distancia, San José, Costa Rica. 216 p
- a, A. E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM, México. 217 p.
- a. O. 2008. Bases para la fertilidad de suelos para la nutrición de los cultivos. Jornada de actualización. Instituto internacional de nutrición de plantas. Minga Guazú, Paraguay.
- S. D. R., G. Marchi, C. R. Spehar, L. R. Guimarães, T. A. Rein, D. Araujo, S, and F. W. Ávila. 2012. Characterization and nutrient release from silicate rocks

- and influence on chemical changes in soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36: 951-962.
- allmann, E. 2012. The influence of organic and conventional cultivation systems on the nutritional value and content of bioactive compounds in selected tomato types. *Journal of the science of food and agriculture* 92(14): 2840-2848.
- aynes, R. J., 2014. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177 (6): 831-844
- ensel, J. 1894. *Bread from Stone. A new and rational system of land fertilization and physical regeneration.* Manufactured in the United States of America by TRI-STATE PRESS. ISBN 0-932298-85-0. 56 p.
- dalgo, G. J. C., G. G. Alcántar, C. G. A. Baca, G. P. Sánchez, y E. J. A. Escalante. 1998. Efecto de la condición nutrimental de las plantas y de la composición y calidad en tomate. *Terra Latinoamericana* 16(2): 143-148.
- nrich, L. B., Brian L. Mc. and George A. O. 2002. *Soil chemistry.* Third edition. Editorial John Wiley & Sons, Ontario. 320 p.
- erta, L. E., J. Rodríguez-Olán, I. Elvia-Castillo, E. Montejo-Menesses, M. Cruz-Mondragón, y R. García-Hernández. 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *TERRA Latinoamericana* 26(2):171-181.
- mez, M. I., H. E. Castro, y Malagón D. 2005. Interpretación de procesos redox en suelos sulfatados ácidos del distrito de riego del Alto Chicamocha, Boyacá. *Agronomía Colombiana* 23(1): 136-142.
- epf, H. 2001. *¿Qué es la agricultura biodinámica?* Editorial Rudolf Steiner. Madrid.

E. S., Skjemstad J. O., and Baldock J. A., 2004. Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Grains Research & Development Corporation report Project No CSO 00029.

ador, J. 2008. Manual Técnico del suelo en los Sistemas de producción ecológica. SEAE: pp. 1-47.

ador, J. M. 2001. La materia orgánica en los agroecosistemas. Ediciones Mundi-Prensa. España. pp. 17-19.

s, N. M. A., O.N. Flores, G. Sánchez y R. Galaviz. 2003. Agricultura orgánica. Una oportunidad sustentable de negocios para el sector agroalimentario mexicano. FIRA. Boletín Informativo. No. 332 Vol. XXXV. Disponible en: <https://es.scribd.com/.../agricultura-organica-una-oportunidad-sustentable>

Nájera, J.A., R. Gómez-Álvarez, S. Hernández-Daumás, J. D. Álvarez-Solis, y D. J. Palma-López. 2006. Mineralización en suelos con incorporación de residuos orgánicos en los altos de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia* 22(2): 163-174.

M. J., Díaz, E. A., Martínez, R. E., y Valdez, C. R. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *TERRA Latinoamericana* 19:293-299.

B. 1996. *Genes*. Ed. Reverté. S.A. Barcelona, España. 613 p.

ez, H. C., P. Cano-Ríos, U. Figueroa-Viramontes, J. A. Avila-Díaz, N. Rodríguez-Dimas, and J. L. García-Hernández. 2013. Yield and quality of tomato with organic sources of fertilization under greenhouse conditions. *International Journal of Experimental Botany* 82: 55-61.

- tínez, H. E., J. P. Fuentes, y E. Acevedo, H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8(1): 68-96.
- éndez, G., y G. Soto. (2003). Talleres de abonos Orgánicos, El proyecto NOS del CATIE/GTZ, el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica y la Cámara de Insumos Agropecuarios No Sintéticos, Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), UCR. Sabanilla.
- ori, C., L. F. D. Cesare, R. L. Scalzo, Campanelli, and V. Ferrari. 2012. Effects of organic farming and genotype farming and genotype on alimentary and nutraceutical parameters in tomato fruits. *Journal of the Science of Food Agriculture* 92(14): 2833-2839.
- r, H. G. y Augustine B. F. 1978. *Química Básica*. Harper y Row Latinoamericana, Editorial Harla S. A. de C. V. México 4. Distrito Federal, pp: 256-257.
- montes, F. B., V. L. Arroyo, R. M. H. Alva, y R. T. Espiricueta. 2004. Efecto del metasilicato de sodio sobre el crecimiento del cultivo de chícharo. *Terra Latinoamericana* 22(2): 169-174.
- arrete, S. A., G. Vela, J. López, y M. L. Rodríguez, G. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *Contactos*. 80:29-37. México, Distrito Federal.
- arro, G. 2003. *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Segunda Edición. Ediciones Mundi-Prensa. New York•London•Oxford 15-38 pp
- arro, G. G., y S. Navarro. 2013. *Química Agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. 3ra Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Impreso en España. 453 p

- Navarro-López, E. R., R. Nieto-Ángel, J. Corrales-García, M. R. García-Mateos, y A. Ramírez-Arias. 2012. Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 18(3): 263-277.
- Nicholls, C. I., y M. A. Altieri. 2012. Modelos ecológicos y resilientes de producción agrícola para el siglo XXI. *Agroecología* 6: 28-37.
- Nieto-Garibay, G. A., B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez, J. A. Larrinaga-Mayoral, y J. L. García-Hernández. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8).
- NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Segunda Sección. 85. P
- Novella, L. R. 2001. Participación de las micorrizas arbusculares y la fertilización nitrogenada en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en un suelo ferralsol desaturado. Tesis de Maestría en ciencias en nutrición de plantas y biofertilizantes. Universidad de Granma. Cuba. 63 p.
- Nuez, F. 2001. *El Cultivo de Tomate*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 793 p.
- Oades, J. M., Gillman G. P, and Uehara G. 1989. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. En D. C. Coleman, J. M. Oades, and G. Uehara: *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. University of Hawaii Press. Honolulu. pp. 69-95.
- Ochoa C. D. C., y R. A. Montoya. 2010. Consorcios microbianos: una metáfora biológica aplicada a la asociatividad empresarial en cadenas productivas agropecuarias. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y*

Reflexión 18(2): 55-74.

- Ochoa-Martínez, E., U. Figueroa-Viramontes, P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Resendez, y N. Rodríguez-Dimas. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 15(3): 245-250.
- Olivares-Campos, M. A., A. Hernández-Rodríguez, C. Vences-Contreras, J. L. Jáquez-Balderrama, and D. Ojeda-Barrios. 2012. Worm compost and dairy cattle manure compost as fertilisers and in soil improvement. *Universidad y Ciencia* 28(1): 27-37.
- Ortega, M. L. D., J. Sánchez, J. Ocampo M, E. Sandoval C, B. A. Salcido R, y F. Manzo, R. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai* 6(3): 339-346.
- Ortíz, F. P., y A. J. P. Amado. 2003. Uso de biofertilizantes en avena de temporal en la sierra de Chihuahua. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.* 174-191.
- Páez, O. F. 2007. Contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo. *Serie Lagunas Costeras de Sinaloa 2.* Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. p. 140.
- Parra, D. J. M., T. J. Velázquez-Alcaráz, E. Quero-Gutiérrez, L. Partida-Ruvalcaba, T. Díaz-Valdés, B. Galván-Piña, y F. Ayala-Tafoya. 2014. Uso de composta, minerales primarios amorfos y microorganismos para la producción y calidad de tomate. *Revista Intrópica* 9: 102-110.
- Paull J. 2011. Biodynamic agriculture: The journey from koberwitz to the world, 1924-1938. *The journey from Koberwitz to the world, 1924-1938. Journal of organic systems* 6(1) 2011.

- Peña, M., F. Casierra-Posada, y O. Monsalve. 2013. Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 7(2): 217-227
- Perales, A., O. Loli, J. Alegre, y F. Camarena. 2009. Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum* L). *Ecología Aplicada*. 8(1-2):47-52.
- Plante, F. 2007. *Soil Biogeochemical Cycling of Inorganic Nutrients and Metals*. Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry. Elsevier. 3ra. Ed. pp. 389-430.
- Pocknee, S., and M. E. Sumner. 1997. Carbon and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. *Soil Science Society of America Journal* 61: 86-92.
- Porta, C. J., M. López-Acevedo R, y C. R. De Laburu 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi- Prensa. 2da. Edición. 917 p.
- Porta, C. J., M. López-Acevedo R, y C. R. De Laburu. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi- Prensa. 3ra. Edición. 917 p
- Prasad, R., y J. E. Power. 1997. *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture*. Lewis Publishers in an imprint of CRC Press. p 243
- Preciado, R. P., M. Fortis, J. L. García-Hernández, E. O. Rueda, J. R. Esparza, A. Lara H, M. A. Segura, y J. A. Orozco. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36(9): 689-693.
- Pulido-Moncada, M., B. Flores, T. Rondón, R. M. Hernández-Hernández, y Z. Lozano 2010. Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, Inceptisol y Utisol, por el uso con cultivo de cítricas. *Bioagro* 22(3).

- Quero E. G. 2007. Remineralización de suelos con materiales ricos en silicio (MPAs_{Si}), deRiego: Protección y Nutrición de Hortalizas y Frutas, AÑO 6 No. 30: 18-22.
- Quero, E. G. 2007. El flujo de silicio y su importancia en el desarrollo y productividad: el caso del maíz. deRiego: Protección y Nutrición de Hortalizas y Frutas, Año 6 No. 34: 56-60.
- Quero, G. E. 2008. La biosilificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. deRiego: Protección y Nutrición de Hortalizas y Frutas. Año 6 No. 39: 72-76.
- Quero, G. E. 2009. Regulación del flujo de agua y nutrientes en los tejidos vegetales. deRiego: Protección y nutrición de hortalizas y frutas. Año 7 No. 43:74-78.
- Quero, G. E., E. Sánchez, y M. Sánchez. 2010. Índice de sustentabilidad del suelo y patrimonio de la cadena alimentaria del maíz. deRiego: Protección y Nutrición de Hortalizas y Frutas Año 8 No. 51: 76-81.
- Ribón C. M. A., S. Salgado, D. J. Palma-López, y L. C. Lagunes-Espinoza. 2003. Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. Interciencia. 28(3) 154-159.
- Rippy, J. F. M., M. M. Peet, F. J. Louws, and P. V. Nelson. 2004. Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. Hortsciencie 39(2):223-229.
- Rodríguez, D. N., P. Cano Ríos, U. Figueroa, E. Favela, A. Moreno, C. Márquez, E. Ochoa, y P. Preciado R. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Terra Latinoamericana 27: 319-327.
- Rosset, P. M., R. Patel, and M. M. Courville. 2006. Promised Land: Competing Visions of Agrarian Reform. Oakland CA: Food First Books.