

Situación actual del recurso suelo en México y la incorporación de abonos orgánicos como estrategia para su conservación

Ofelia Adriana Hernández Rodríguez¹

Graciela Dolores Ávila Quezada²

Silvia Amanda García Muñoz³

Resumen

Los suelos sufren una creciente degradación por la intensificación de su uso en las diversas actividades productivas. Algunos de los problemas más importantes que actualmente enfrenta la agricultura en general son la erosión y la pérdida de fertilidad de los suelos, por lo que las medidas preventivas, como la implementación de buenas prácticas de manejo del suelo, son esenciales para revertir su tendencia a la degradación, y con ello garantizar la seguridad alimentaria y proteger la prestación de los diferentes servicios ecosistémicos asociados al suelo.

Tradicionalmente, residuos orgánicos han sido incorporados a suelos agrícolas para aumentar el contenido de materia orgánica y como fuente de nitrógeno para los cultivos. Sin embargo, frecuentemente esta aplicación no es realizada en forma adecuada, atendiendo a las características del suelo y al estado de descomposición de los residuos orgánicos, lo que puede provocar una serie de daños en la salud del ecosistema, como la salinización de los suelos, la lixiviación de sustancias fitotóxicas y el escurrimiento de nitratos y fosfatos a mantos acuíferos y a cuerpos de agua superficiales.

Una alternativa para la disminución del impacto ambiental del uso de estos desechos son el semicompostaje, compostaje y el vermicompostaje, procesos que permiten la producción de materiales de interés agrícola y de comercialización viable: la semicomposta, la composta y la vermicomposta, productos estables que pueden tener diversas aplicaciones de interés agrícola como abonos, enmiendas y sustratos orgánicos. La incorporación de dichos abonos orgánicos es una práctica que está cobrando cada vez más importancia por sus comprobados efectos benéficos en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas.

Conceptos clave: Materia orgánica, fertilidad del suelo, semicomposta, composta, vermicomposta.

Introducción

Los suelos son considerados hoy por hoy el medio natural por excelencia para el crecimiento y desarrollo de las plantas que proveen de alimentos al hombre, y esto se debe a su composición y características (Hernández *et al.*, 2009). El suelo, definido como el cuerpo

¹ D.Ph. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, aernande@uach.mx

² Dra. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, gavilaq@gmail.com

³ Dra. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, silviagm@yahoo.com

natural no consolidado que recubre la mayoría de la superficie continental de la corteza terrestre, compuesto por partículas minerales y orgánicas, agua, aire y organismos vivos, que presenta un arreglo de horizontes o estratos y es capaz de soportar a la cubierta vegetal (Jaramillo, 2002), es un sistema complejo que se forma por la interacción continua y simultánea de la materia a partir del cual se origina, del clima, del tipo de vegetación y fauna y de las condiciones particulares del relieve (SEMARNAT, 2004). Además de ser soporte universal y fuente de nutrientes para las plantas, el suelo es también hábitat de una amplia variedad de microorganismos edáficos. La actividad y diversidad de la microbiota del suelo, no solo es un factor clave en la fertilidad del suelo, sino que también lo es en la estabilidad y funcionamiento de ecosistemas naturales y agrosistemas (Barea, 2001).

Hollingsworth (2015) considera que, como los seres humanos viven en la Tierra, utilizan el suelo para obtener alimentos y para dar vigencia a la vida, porque no hay opción distinta, al menos por el momento, por ello, los suelos y la biodiversidad asociada a estos han tomado a la naturaleza un trabajo que se tasa en eones de tiempo, haciendo hoy las veces de buffer frente al cambio climático, tanto en los ecosistemas como en los agroecosistemas, al jugar un papel importante en los procesos climáticos globales a través de la regulación de emisiones de dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), y de metano (CH_4). Las funciones específicas del suelo que regulan estas emisiones son complejas, e interactúan fuertemente con los procesos de ecosistema tales como la regulación del suministro de agua y el ciclo de nutrientes. A escala global, los suelos son el mayor reservorio terrestre de carbono y por lo tanto tienen una mayor influencia en la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera. Estimaciones globales del almacenamiento del carbono orgánico del suelo han sido publicadas durante muchas décadas. El Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático estimó el carbono orgánico del suelo acumulado en el primer metro del suelo en 1 502 billones de toneladas. Al contener más carbono que toda la vegetación sobre la tierra, por lo tanto, regulan la emisión de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, y hospedan una tremenda diversidad de organismos de importancia clave para procesos de ecosistemas (FAO y GTIS, 2016).

Por todo lo anterior, el suelo es uno de los recursos naturales más importantes de una nación, ya que de sus condiciones depende el buen estado de los hábitats naturales, las actividades agrícolas, ganaderas y forestales y hasta urbanas. Sin embargo, actualmente se encuentra en franca degradación y pérdida, por lo que el objetivo de este trabajo es resaltar la situación actual de los suelos en México y destacar la importancia de la materia orgánica como estrategia para su conservación y recuperación, a través de la incorporación de abonos orgánicos de calidad.

Los suelos y la seguridad alimentaria

Los suelos son el fundamento para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria, suministrando a las plantas nutrientes, agua y el soporte, y funcionando como el mayor filtro y tanque de almacenamiento de agua en la Tierra (FAO y GTIS, 2016).

Según la FAO (2011) se considera que hay seguridad alimentaria “cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias

alimentarias para llevar una vida activa y sana". Esta conceptualización, deja en claro que referirse a la seguridad alimentaria es algo complejo y que por lo mismo demanda la integración de muchas y diversas aproximaciones.

Si la realidad del mundo de hoy, es que la sociedad consume un 95% de alimentos que en forma directa o indirecta se producen en el suelo, es posible afirmar, que la disponibilidad de alimentos está supeditada o depende del suelo y, por ello, es que se tiende a creer que es la única función que cumple este recurso natural. Más, para efectos de garantizar la seguridad alimentaria, la producción agrícola debe provenir de un suelo sano, que es aquel que no tienen limitaciones físicas, químicas o biológicas con una productividad agrícola sostenible y con un mínimo deterioro ambiental. Cabe agregar que un suelo sano, además, aporta a la mitigación del cambio climático porque tiene gran capacidad para fijar carbono y evitar que este elemento vaya a la atmósfera (Insuasti y Burbano, 2013 y FAO, 2015a).

Se estima que la tercera parte de la superficie terrestre, está dedicada a la agricultura, para una población mundial siempre creciente que podrá llegar a los 9 600 millones de personas en el 2050 (FAO y GTIS, 2016), población que ejerce una presión cada vez mayor sobre los suelos que deberán producir suficientes alimentos inocuos y nutritivos para la población.

Aunque en las últimas cinco décadas los avances en la tecnología agrícola han respondido a los retos de la seguridad alimentaria, se da el caso de muchos países, que por efectos de una producción intensiva, han empobrecido sus suelos y comprometido las demandas futuras de alimentos. Si a lo enunciado se adiciona que hay problemas con el agua y existe el efecto del cambio climático, la seguridad alimentaria de hoy y del futuro va a tener muchas dificultades (Carty y Magrath, 2013; Tate y Theng, 2014; IUSS, 2015; FAO, 2015a), ya que, aquello que se toma de los recursos para suplir las demandas de la sociedad, a través de la agricultura, va en contra de la sostenibilidad del sistema (Hollingsworth, 2015).

Por todo lo anterior, el deterioro y escasa atención que el recurso suelo presenta en materia de regulaciones de uso, manejo y conservación tiene actualmente importantes implicaciones sociales, económicas y ecológicas adversas, difíciles de cuantificar y valorar cabalmente (Lichtinger *et al.*, 2000).

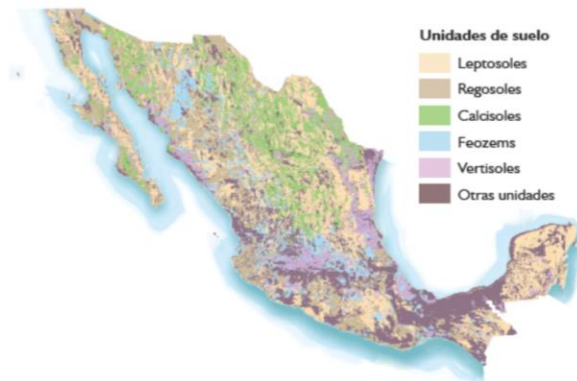
Condición actual de los suelos en México

En México existe una gran diversidad de suelos que puede explicarse por la interacción de diversos factores, entre los que se encuentran la compleja topografía originada por la actividad volcánica del Cenozoico, el amplio gradiente altitudinal, que va de los cero a poco más de 5 600 metros sobre el nivel del mar, la presencia de cuatro de los cinco grandes tipos de climas reconocidos por la clasificación de Köppen¹ y la enorme diversidad paisajística y de tipos de rocas que existen en el territorio.

De acuerdo con el INEGI (2007), en México existen 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS, 2007). Dominan los Leptosoles (28.3% del territorio), Regosoles (13.7%), Phaeozems (11.7%) y Calcisoles (10.4%), que son por lo general suelos someros y con poco desarrollo,

lo que dificulta su aprovechamiento agrícola. Los suelos fértiles y más explotados (Feozems y vertisoles) ocupan el 18% de la superficie del país (Mapa 1).

Mapa 1. Principales unidades de suelo en México.



Datos del INEGI. Edafología de la República Mexicana, escala 1: 250 000. Fuente: Informe de SEMARNAT degradación del suelo, Memoria Nacional 2001-2002, México, 2003.

El desarrollo de la agricultura se ha regido por una producción cada vez más intensa, contribuyendo al uso indiscriminado de fertilizantes y otros productos químicos y de prácticas culturales que han propiciado la erosión, la pérdida de fertilidad y la contaminación del suelo, en menoscabo de la calidad de alimentos y de la calidad ambiental (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2010).

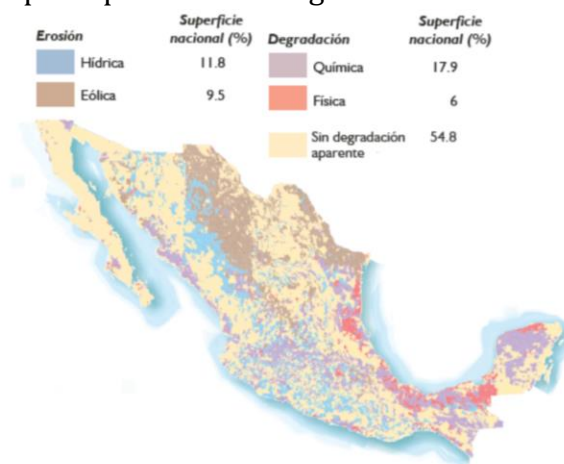
La degradación del suelo y la consecuente reducción en la capacidad para proveer alimento a una población creciente, es un tema crítico cuando se considera la seguridad alimentaria del país. La importancia que tiene la evaluación de la degradación del suelo radica en que algunos aspectos de esta son reversibles a largo plazo, como la declinación de la materia orgánica o son irreversibles, como la erosión. Esencialmente, los responsables en la toma de decisiones de los sectores agropecuarios y forestal y hasta ambiental, requieren balancear tres aspectos de la calidad del suelo: la fertilidad, la conservación de la calidad ambiental y la protección de la vida silvestre y la salud humana (Lichtinger *et al.*, 2000).

Algunas prácticas de manejo de los suelos para la agricultura pueden tener impactos negativos en la calidad del suelo; el uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados y la contaminación provocada por el uso de plaguicidas y otros productos químicos, así como el cambio en el uso del suelo, han propiciado la erosión, la pérdida de fertilidad y la contaminación del suelo, en menoscabo de la calidad de alimentos y de la calidad ambiental (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2010).

Los siguientes apartados exponen los resultados de la SEMARNAT, según su resumen: 8443. Sobre la degradación de los suelos realizado como parte del *Inventario Nacional Forestal y de Suelos*, el 45.2% de la superficie del país presentaba degradación inducida por el hombre. El nivel de degradación predominante era de ligero a moderado, mientras que los procesos más importantes de degradación fueron la química, principalmente por la pérdida de fertilidad, la erosión hídrica y la erosión eólica. Estos tres procesos fueron responsables del 87% de los suelos degradados en el país. Entre las principales causas de degradación se identificaron el cambio de uso del suelo para fines agrícolas y el sobrepastoreo, 17.5% en

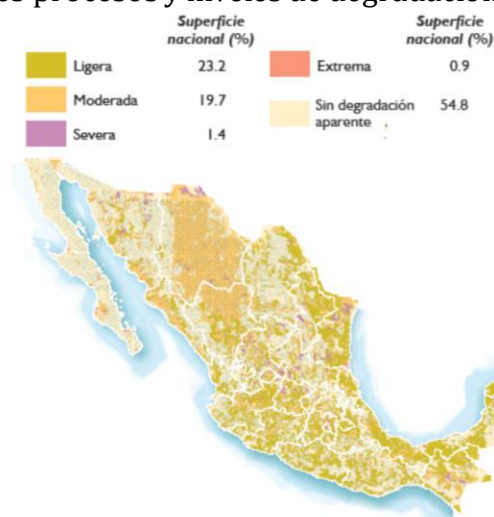
ambos casos. La deforestación con un 7.4%, ocupa el tercer lugar, seguida de la urbanización (1.5%) (Mapas 2 y 3). Todas estas causas tienen una importante relación con la afectación de la cubierta vegetal, responsable de la conservación del suelo.

Mapa 2. Principales procesos de degradación de los suelos en México.



Datos de SEMARNAT y Colegio de Postgraduados. Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Fuente: Informe de SEMARNAT degradación del suelo, Memoria Nacional 2001-2002, México, 2003.

Mapa 3. Principales procesos y niveles de degradación de los suelos en México.

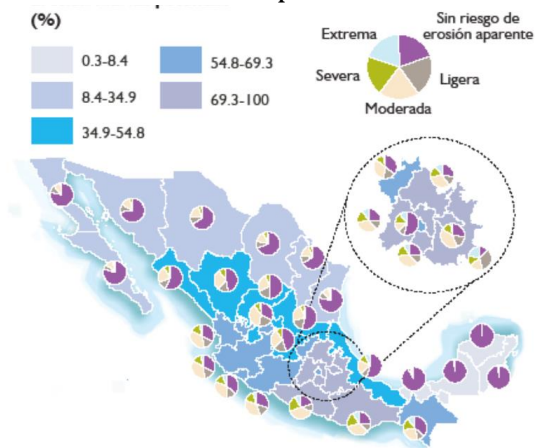


Datos de SEMARNAT y Colegio de Postgraduados. Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Fuente: Informe de SEMARNAT degradación del suelo, Memoria Nacional 2001-2002, México, 2003.

Como resultado de la *Evaluación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica y Eólica en la República Mexicana*, se identificaron los riesgos por estos tipos de erosión que, potencialmente, podrían ocurrir en el país. A nivel nacional, la superficie con riesgos de pérdida de suelo ocasionada por el agua fue de 42%, dividida en, ligera con 10.9%, moderada 20.5%, alta 7.8% y muy alta 2.8%. Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Tabasco y Baja

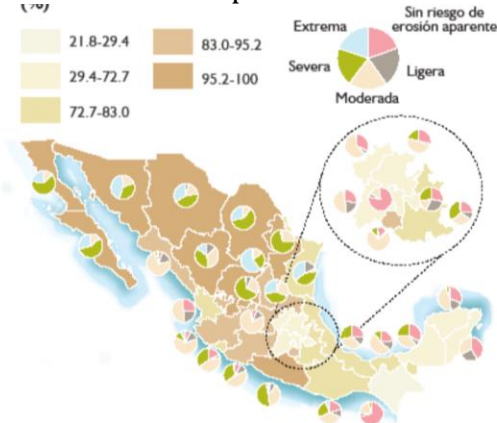
California Sur presentaron más del 50% de su superficie sin riesgo aparente de erosión hídrica, mientras que Guerrero, Puebla, Morelos, Oaxaca y el Estado de México lo presentaron en más del 50% de su superficie (Mapa 4). Los riesgos de pérdida de suelo por erosión potencial eólica fue del 89%, clasificada como, ligera en un 6.5%, moderada 30.6%, alta 33.6% y muy alta 18.2%, en el territorio nacional, presentándose particularmente en la franja norte del país, desde Zacatecas hasta el Norte de Chihuahua, también cubriendo la porción costera y el desierto Sonorense, la costa del Golfo de California y la costa del Pacífico en Baja California y la costa del Pacífico en Baja California Sur, con excepción de los estados de Chiapas, y el Distrito Federal, en el resto de los estados se presenta riesgo de erosión eólica en más del 60% de su superficie. Los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila y Sonora presentaron afectaciones de prácticamente el 100% (Mapa 5).

Mapa 4. Erosión hídrica potencia en México (%).



Datos de SEMARNAT y Universidad Autónoma Chapingo. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana a escala 1: 1000. Fuente: Informe de Semarnat degradación del suelo, Memoria Nacional 2001-2002, México, 2003.

Mapa 5. Erosión eólica potencial en México (%).



Datos de SEMARNAT y Universidad Autónoma Chapingo. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana a escala 1: 1000. Fuente: Informe de SEMARNAT degradación del suelo, Memoria Nacional 2001-2002, México, 2003.

Además, se presenta la desertificación, que es la degradación de los suelos en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas como resultado de diversos factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas (Mapa 6). En México, estas zonas representan el 65% de la superficie nacional con 128 millones de hectáreas. Entre los procesos más importantes de la degradación de estos suelos, se encuentran, en orden de importancia, la química en un 15.8%, la erosión eólica con 12.7%, la hídrica con 10.4% y la degradación física en un 5.0%. La mayor parte de los suelos de estas zonas muestran degradación ligera y moderada. Las zonas sin problemas de desertificación se encuentran principalmente en el centro del Desierto Chihuahuense, el Gran Desierto de Altar, al noroeste de Sonora, y la península de Baja California. La erosión hídrica se concentra en las faldas de las serranías, mientras que la erosión eólica en las grandes planicies de Zacatecas, Durango y Chihuahua. En los desiertos, el sobrepastoreo es la principal causa de deterioro del suelo.

Mapa 6. Degradación de los suelos en zonas muy áridas, áridas semiáridas y subhúmedas en México.



Datos de SEMARNAT y Universidad Autónoma Chapingo, *escala 1:250 000*. Conabio. *Clasificación climática*. México. 1996. Fuente: Informe de SEMARNAT degradación del suelo, Memoria Nacional 2001-2002, México, 2003.

La desertificación o degradación de los suelos está catalogada como uno de los problemas ambientales más relevantes en México. Las cifras derivadas de las evaluaciones de los recursos naturales son reveladoras: 36 % de los suelos presenta procesos severos de degradación; cada año se pierden alrededor de 380,000 hectáreas de vegetación forestal; la salinización afecta a casi un 10 % de la superficie agrícola irrigada en el país, y así se pueden citar otros procesos de deterioro que afectan nuestro capital natural, la diversidad biológica y fitogenética de México, con efectos sobre el cambio climático global, incrementando la vulnerabilidad del país frente al mismo. Más allá de la problemática ambiental, la degradación de suelos conlleva agudos problemas sociales y económicos. Como la pérdida de rentabilidad vinculada a la degradación de los recursos naturales que se suma a un contexto globalizado cada día más adverso a los campesinos y campesinas; por la migración forzada asociada al desempleo por la improductividad del suelo, las mujeres se quedan frente a predios agropecuarios degradados, enfrentan la carencia de alimentos y los costos de restauración (SINADES, 2015).

Alternativas de manejo de recuperación y conservación del suelo.

El deterioro de los suelos en México afecta a numerosos componentes del medio social y natural, por lo que su gestión involucra varias instancias: SEMARNAT, SAGARPA, SEDESOL, Comisión Nacional del Agua, organizaciones internacionales (FAO, PNUMA) e instituciones académicas y civiles entre las más destacadas (SEMARNAT, 2002).

Dentro de los Programas Institucionales orientados a la conservación y restauración de suelos, el Programa Nacional de Suelos Forestales y el Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente (PIASRE) han sido los más importantes en términos de la superficie atendida. En el periodo 2000-2004, cada uno incorporó poco más de 2.1 millones de hectáreas. Debido a que las tierras de temporal son las más degradadas en el país, desde hace más de 20 años se desarrolla un programa dirigido a los Distritos de Temporal Tecnificado (DTT, también llamados Distritos de Drenaje). En el país, existen 16 DTT establecidos por el poder federal, más 2 estatales. La mayoría de los DTT están localizados a lo largo de la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre de Chiapas y la Península de Yucatán. Al tener como objetivo el manejo eficiente del agua de lluvia para que sea aprovechada en la producción agrícola, estos Distritos han sido objeto de obras hidráulicas para frenar la acción erosiva del agua.

Por otro lado, La Ley de Desarrollo Rural Sustentable estableció el Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (SINADES), como el órgano de coordinación para la suma de esfuerzos contra la desertificación y con ello se presentan renovadas oportunidades para extender y profundizar la comprensión y medidas respecto a la degradación de tierras, ya que el sistema constituye un mecanismo de coordinación entre el Gobierno Federal y las organizaciones sociales. Adicionalmente, se proyecta en el corto plazo su establecimiento en cada una de las entidades federativas, con interrelación con los Consejos Estatales y Municipales para el Desarrollo Rural Sustentable (SINADES, 2015).

Sin embargo, específicamente nosotros como población, debemos minimizar la degradación de los suelos y restaurar la productividad de los mismos que ya están degradados, en aquellas regiones donde las personas son más vulnerables (FAO y GTIS, 2016). Para ello, los depósitos globales de materia orgánica en el suelo deben ser estabilizados e incrementados (FAO y GTIS, 2016).

Dentro de los componentes del suelo, la materia orgánica reviste una significativa importancia, ya que imparte al suelo magníficos efectos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales se traducen en la capacidad productiva de los campos, por lo que su gestión dentro del agroecosistema será uno de los elementos más importantes a considerar para la consecución de la perdurabilidad de los sistemas productivos (Labrador, 2001). En suelos con alto nivel de materia orgánica se pueden lograr los máximos rendimientos alcanzados para la variedad, clima y manejo del cultivo (Castellanos *et al.*, 2000).

Los aportes de materia orgánica al suelo resultan críticos para el mantenimiento de este componente y de la fertilidad del suelo a largo plazo. Los nutrientes contenidos en la materia orgánica (N, P, S, entre otros) se hallan en forma orgánica por lo que no son directamente asimilables por las plantas. Se requiere la acción microbiana para que las

formas orgánicas de los nutrientes pasen a formas minerales que son las utilizadas en la biomasa de la planta (Porta *et al.*, 1999).

Por otro lado, las actividades agrícolas generan grandes cantidades de residuos orgánicos que impactan negativamente en suelo, agua y atmósfera cuando no son manejados adecuadamente (Ho *et al.*, 2010), por lo que han sido considerados como una fuente de contaminación al registrar problemas de fitotoxicidad, lixiviación de nitratos y contaminación de mantos acuíferos, debido al mal manejo de fuentes orgánicas al ser incorporadas al suelo sin un tratamiento previo (Romero, 2004), y no se han valorado como el subproducto de la agricultura susceptible de originar abonos orgánicos de calidad (Martínez, 2004).

Los abonos orgánicos son productos de origen natural que se obtienen de la descomposición de los residuos orgánicos y que aplicados de forma correcta al suelo mejoran las condiciones físicas, químicas y microbiológicas (Cajamarca, 2012).

La incorporación de abonos orgánicos con fines de biorremediación de suelos agrícolas, es una práctica que ha recuperado importancia en los últimos años a nivel mundial por diversas razones (Nieto-Garibay, 2002). Desde el punto de vista ecológico, se ha incrementado la preocupación por fomentar las prácticas agrícolas que armonicen con el cuidado del ambiente. El uso de abonos orgánicos mejora las condiciones de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobre-explotación. Como ya se dijo, las consecuencias directas de estos dos últimos eventos son la pérdida de la materia orgánica, pérdida de la fertilidad y la contaminación de los suelos, cuya producción agrícola puede también estar contaminada. Las consecuencias indirectas se reflejan en la afectación de la flora y fauna del ambiente aledaño al suelo dañado (Nieto-Garibay, 2002).

Para López *et al.* (2001) la composición química, el aporte de nutrientes a los cultivos y el efecto de los abonos orgánicos en los suelos varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad. Además, el valor de la materia orgánica que contiene ofrece grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (Castellanos *et al.*, 2000).

Dentro de la producción de abonos orgánicos, el compostaje es un proceso microbiológico que convierte residuos de materiales orgánicos en diferentes grados de descomposición en un producto estable e higiénico, que puede ser usado como un mejorador de suelo (Atlas y Bartha, 1997). El proceso de compostaje produce un material de interés agrícola y de comercialización viable: la composta, producto que puede tener diversas aplicaciones como abono, enmienda, sustrato o para la posterior obtención de extractos con probable actividad fungicida (Avilés y Tello, 2001).

Existen varios métodos de compostaje, los que usan pilas aireadas y lodos activados; aquellos que usan exclusivamente residuos vegetales, los que usan estiércoles, basuras urbanas y subproductos agroindustriales (Atlas y Bartha, 1997). El método más conocido fue desarrollado por Sir Albert Howard, que consiste en alternar capas de suelo, estiércol y residuos vegetales formando una pila. El material es volteado manualmente una o dos veces por semana. Mediante este procedimiento la composta madurará, dependiendo del material empleado, la relación C/N inicial y las condiciones ambientales de temperatura y humedad, en un lapso de 4 a 14 semanas (Romero, 2004).

Entre otras ventajas, el compostaje de estiércol permite la reutilización de residuos con la subsiguiente supresión de olores desagradables, y la mejora de las condiciones ambientales locales, además de la obtención de materiales orgánicos con un mejor aporte de nutrientes, lo que impacta positivamente sobre la calidad del cultivo y con altas poblaciones microbianas benéficas, lo que permite un incremento de la actividad biológica benéfica del suelo (Labrador, 2001).

El vermicompostaje logra transformar los desechos orgánicos en compuestos estables, por lo cual es considerado una forma de compostaje, en donde la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) presenta mejores características de adaptación y reproducción (Santamaría-Romero *et al.* 2001; Soto y Muñoz, 2002 y Martínez *et al.*, 2002). Ferrera y Alarcón (2001) mencionaron que ambos procesos biotecnológicos son excelentes para elaborar abonos agrícolas y que, en el caso de la vermicomposta, el material obtenido se considera enriquecido tanto química como biológicamente por la actividad de las lombrices y por la dinámica microbiana y bioquímica que se establece durante el proceso. Cuando las lombrices se alimentan de los residuos orgánicos, ingieren una amplia gama de materiales alimenticios, incluyendo bacterias, hongos, protozoarios y nematodos (Atiyeh *et al.*, 2000). Algunos autores establecieron que los patógenos no sobreviven a este proceso ya que las vermicompostas contienen enzimas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas e impiden la proliferación de organismos patógenos (Gajalakshmi *et al.*, 2001; Nogales *et al.*, 2005).

El semicompostaje trata de un sistema de transformación de tipo aeróbico que no atiende totalmente las características del compostaje ni del vermicompostaje; al ocurrir en volúmenes menores al requerido para compostaje no presenta etapa termófila. Los microorganismos de tipo mesófilo son los responsables de la degradación de los residuos orgánicos con características que han sido poco documentadas (Lashermes *et al.* 2012; Black *et al.*, 2014).

La incorporación de fertilizantes y abonos orgánicos con fines de biorremediación del suelo, es una práctica que ha recuperado importancia, los abonos cuentan con propiedades específicas que los hacen ser de gran utilidad (Hernández *et al.*, 2010):

- El abono orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes (Montesinos, 2013).
- Reducir el uso de fertilizantes químicos al proveer de un aporte completo de nutrientes para los cultivos (Yugsi, 2011), aunque bajas concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio (Ochoa *et al.*, 2000; Hidalgo y Harkess, 2002).
- Formación de complejos orgánicos con los nutrientes manteniendo a éstos en forma aprovechable para las plantas (Guaigua, 2007).
- Los abonos orgánicos favorecen aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios (Montesinos, 2013).
- Los abonos orgánicos constituyen una fuente de carbono orgánico, fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente (Montesinos, 2013).

- Incrementar las poblaciones de los microorganismos presentes en el suelo (Martínez, 2002; Reyes *et al.*, 2000; Heredia *et al.*, 2000; Arteaga *et al.*, 1999).
- Mejora las condiciones físicas del suelo, en particular la estructura, considerada el factor principal que condiciona la fertilidad y productividad de los suelos (Castellanos, 2000).
- Estabilización del pH al aumentan el poder del tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones de potencial hidrógeno de éste (Montesinos, 2013).
- Incremento de la capacidad de intercambio catiónico, protegiendo los nutrientes de la liiviación con lo que se incrementa la fertilidad del suelo (Soto y Muñoz, 2002), .
- Incremento de la capacidad de degradación de residuos de plaguicidas (Soto y Muñoz, 2002).
- Aumentan la retención de agua en el suelo, por lo que se absorbe más el agua cuando llueve o se riega, y retienen durante mucho tiempo, el agua en el suelo durante el verano (Montesinos, 2013).
- En la producción intensiva de hortalizas, la calidad de los productos cosechados es igual y en algunos casos superior a las siembras convencionales (Martínez *et al.*, 2002).
- Favorece la tasa de crecimiento de hojas y raíces y la formación de flores, frutos y semillas (Aranda, 2002)
- Inoculante microbiano y un medio que favorece el enraizamiento y la germinación. (Aranda, 2002).
- Se acorta la estancia de las plántulas en el vivero y se obtienen plántulas más vigorosas y desarrolladas (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017).
- Reduce algunas enfermedades inducidas por hongos fitopatógenos (Zavaleta, 2002).
- Dosis de 20 % tanto en presencia como en ausencia de fertilizantes químicos ha resultado en una menor incidencia de plantas enfermas, así como en un incremento en la longitud de la planta y su contenido de clorofila (Zavaleta, 2002).
- Obtención de productos orgánicos con diferentes características y efectos en la agricultura (Grenón *et al.*, 2002).
- La incorporación de abonos orgánicos mejoró diversos indicadores de fertilidad del suelo durante el mismo ciclo de aplicación (Montaño-Carrasco *et al.*, 2017).
- Disminuye la erosión del suelo, tanto de agua como viento (Montesinos, 2013), al aumentar la resistencia de los agregados a la dispersión por el impacto de las gotas de lluvia y al reducir el escurrimiento superficial (Guaigua, 2007).

De esta manera, los abonos orgánicos se constituyen en la estrategia viable para conferir al suelo una mayor capacidad productiva, conservación de su fertilidad en el tiempo y ser sostenibles con el paso de los ciclos productivos.

Además, debemos mejorar nuestro conocimiento sobre el estado actual y las tendencias en las condiciones del suelo. Un énfasis inicial debe centrarse en la mejora de los

sistemas de observación para supervisar nuestro progreso en el logro de las tres prioridades indicadas anteriormente (FAO y GTIS, 2016).

Conclusiones

El suelo es el medio fundamental para el desarrollo de las especies vegetales y la alta productividad de las mismas, pero las prácticas culturales han propiciado la erosión, la pérdida de fertilidad y la contaminación de los suelos, lo que ha llevado a que en México, los suelos agrícolas se encuentren en franca degradación y pérdida.

La materia orgánica determina gran parte de las propiedades del suelo que influyen en su productividad y mantenimiento, en donde los abonos orgánicos deberían constituirse en la opción más viable para su incorporación por sus comprobados efectos benéficos en las propiedades físicas, químicas y biológica, así como para la conservación y recuperación de los suelos, habilitándolos para funcionar de una manera sostenida.

Por lo anterior, la agricultura actual demanda retomar con fuerza la producción, el uso y la aplicación de abonos orgánicos en sus diversas formas con todos los beneficios que ello conlleva y con las precauciones que la calidad de los procesos requiere.

La gestión sostenible del suelo puede incrementar el suministro de alimentos saludables y contribuir a reducir la inseguridad alimentaria de la población mundial.

Referencias

- Aranda, D.E.** (2002). *Usos y aplicaciones de las lombricompostas en México*. Lombricultura y abonos orgánicos. Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional. Junio 2002. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. p 22-35.
- Atiyeh, R.M., Subler, S., Edwards, C.A., Bachman, G., Metzger, J.D. y Shuster, W.** (2000). *Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil*. Pedobiologia. Núm. 44. p. 579-590.
- Atlas, R. M. y Bartha, R.** (1997). *Microbial ecology. fundamentals and applications*. 4 th ed. ISBN 0-8053-0655-2. p. 470-476.
- Arteaga, O., Ojeda, L., Hernández, C., Brunet, E. y Espinoza, W.** (1999). *Factibilidad de una agricultura sostenible y sus posibilidades en Cuba*. 2do. Seminario Internacional de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. p 63-65
- Avilés, G.M. y Tello, J.M.** (2001). *El composteo de los residuos orgánicos, su relación con las enfermedades de las plantas*. Agroecología y Desarrollo. Universidad de Extremadura, España. Ediciones Mundi Prensa. p. 185-214.
- Barea, J.M.** (2001). *Interacciones microbiológicas de los microorganismos en el suelo y sus implicaciones en la agricultura*. Agricultura y desarrollo. Universidad de Extremadura. Mundi-Prensa. Madrid. pp 185-182.

Black, R.A., Taraba, J.L., Day, G.B., Damasceno, F.A., Newman, M.C, Akers, K.A., Wood, C.L., McQuerry, K.J. y Bewley, J.M. (2014). The relationship between compost bedded pack performance, management, and bacterial counts. *Journal of dairy science* 97: 2669-2679.

Burbano, H. (2016). *El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria*. Rev. Cienc. Agr. 33(2):117-124. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>.

Cajamarca, D. (2012). Procedimiento para la elaboración de abonos orgánicos. Monografía previa al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Quito, Ecuador. 113 p.

Carty, T. y Magrath, J. (2013). *Adversidad creciente: cambio climático, alimentos y la lucha contra el hambre*. Informe Temático de Oxfam. Disponible en: <https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/adversidad-creciente-cambio-climatico-alimentos-hambre-informe-es.pdf>; consulta: noviembre, 2015.

Castellanos, J., Uvalle-Bueno, X y Aguilar-Santelises. (2000). Manual de interpretación de análisis de Suelo, Aguas agrícolas, Plantas y ECP. p 48-56

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2011). La seguridad alimentaria: información para la toma de decisiones. Guía práctica. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf>. Consulta: marzo, 2021.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). *Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables*. La FAO en Acción. Fao.org/soils-2015. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a-i4405s.pdf>. Consulta: marzo, 2021.

FAO y GTIS. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. (2016). *Estado Mundial del Recurso Suelo*. Resumen Técnico. Roma, Italia. ISBN 978-92-5-308960-4. 92 p.

Ferrera, C. D. y Alarcón, A. (2001). *La agricultura del suelo en la Agricultura Sostenible*. Ciencia Ergo Sum, julio, volumen 8, número dos. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca México. ISSN 1405-0269. p. 175-183.

Gajalakshmi, S., Ramasamy, E. V. y Abbasi, S. A. (2001). *Potential of two epigenic and two anelid earthworm species in vermicomposting of water hyacinth*. Biores. Technology. Núm. 76. p. 177-181.

Grenón C.G.N., Serrano, C.R. y Solís, M.L. (2002). *Evaluación Química del producto final de lombricomposteo de residuos hortícolas y estiércol por Eisenia foetida (lombriz roja californiana)*. Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional. Junio. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. p. 106-107.

Guaigua, W. (2007). Evaluación del efecto de la aplicación del abono líquido foliar orgánico de estiércol de bovino, enriquecido con micro elementos en la producción de forraje y semilla del pasto avena (*Arrhenatherum elatius*). Trabajo de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de ciencias Pecuarias. Riobamba, Ecuador.

Heredia, C., Losuamo, G. D'Acosta, G., Lorente, E. y Cuesta, A. (2000). *Nuevo Biofertilizante de uso Foliar para la Agricultura*. 2da. Convención Internacional de Educación Superior. Editorial "Felix Varela". Universidad Agraria de la Habana, Cuba. p 36.

Hernández, A., Vences, C., Ojeda, D. y Chávez C. (2009). *Los microorganismos del suelo y sus implicaciones en el desarrollo agrícola sostenible*. Revista Synthesis. ISSN 0187-6007. Julio: 12-15.

Hernández-Rodríguez, O.A., Ojeda-Barrios, D.L., López-Díaz, J.C. y Arras-Vota, A.M. (2010). *Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo*. Tecnociencia. IV(1): 1-6.

Hernández-Rodríguez, A., Robles-Hernández, L., Ojeda-Barrios, D., Prieto-Luévano, J., González-Franco, A. y Guerrero-Prieto, V. (2017). Semicompost and vermicompost mixed with peat moss enhance seed germination and development of lettuce and tomato seedlings. *Interciencia*. 42(11): 774-779.

Hidalgo, P.R. y Harkess, R.L. (2002). *Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional*. Junio. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. p 108

Ho, C.P., Yuan, S.T., Jien, S.H. y Hseu, Z.Y. (2010). Elucidating the process of co-composting of biosolids and spent activated clay. *Bioresource technology* 101: 8280-8286.

Hollingsworth, I. 2015. *Connecting people with soils*. Disponible en: http://www.iuss.org/files/iuss-bulletin_127_72dpi. Pdf. Consulta: enero, 2016.

INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. *Los suelos de México*. Capítulo 3 Suelos. Disponible en: www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/411/cap3.pdf · pdf: consulta junio 2021.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2007). *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Serie II*, escala 1: 250 000 (Continuo Nacional). México. 2007.

Insuasti, I. y Burbano, H. (2013). *El suelo: un bien social*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-Gobernación de Nariño-Universidad de Nariño. Pasto. Colombia. 30 p.

IUSS. International Union of Soil Sciences. (2015). *Soils, food security and human health*. Disponible en: http://www.iuss.org/files/iuss-bulletin_127_72dpi.pdf. Consulta: enero, 2016.

IUSS. Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. (2007). Organización para la agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas. Grupo de trabajo WRB. Base referencia Mundial del recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a0510s/a0510s00.htm>. Consulta: marzo, 2021.

Jaramillo, J.D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Medellín. p. 619.

Labrador, M.J. (2001). *La materia orgánica en los agroecosistemas*. Grupo Mundi-Prensa. España. p 11-13, 124, 169-171, 174, 177-178

Lashermes, G., Barriuso, E., Le Villio-Poitrenaud, M. y Houot, S. (2012). Composting in small laboratory pilots: Performance and reproducibility. *Waste Manage.* 32, 271-277.

Lichtinger, V., Szekbly, F., Fernández, F y Rios, A.R. (2000). Indicadores para la evaluación del desempeño. Reporte ambiental 2000, INEGI. pp 55.71.

López, M. J. D., A. Díaz E., E. Martínez R., R. D. Valdez C. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Universidad Autónoma de Chapingo. TERRA Latinoamericana. 19 (4): p 293 - 299.

Martínez, C.C. (2004). *Lombricultura y abonos orgánicos*. Memorias III Curso Teórico-práctico. Lombricultura técnica mexicana. SOMELAO. Guadalajara, Jal. Del 8 al 10 de marzo. p 11-12, 21

Martínez, C.C., Martínez, C. y Méndez, A.N. (2002). *Utilización de la lombricomposta en la producción de hortalizas ecológicas*. Lombricultura y abonos orgánicos. Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional. Junio. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. p 140-142.

Montaño-Carrasco, M., Hernández-Rodríguez, A., Martínez-Rosales, A., Ojeda-Barrios, D., Núñez-Barrios, A. y Guerrero-Prieto. V. (2017). *Producción y contenido nutrimental en avena forrajera fertilizada con fuentes químicas y orgánicas*. Rev. Fitotec. Mex. 40(3): 317-324.

Montesinos, D. (2013). Uso de lixiviado procedente de material orgánico de residuos de mercados para la elaboración de biol y su evaluación como fertilizante para pasto. Tesis de Magister en Agroecología y Ambiente. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Pecuarias. Cuenca, Ecuador. 59 p.

Nieto-Garibay, A.B., Murillo-Amador, E., Troyo-Diéquez, J.A, Larrimaga-Mayoral y García-Hernández, J.L. (2002). *El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (Capsicum annum L.) en zonas áridas*. Interciencia. ISSN: 0378-1844. Venezuela. 27 (8) p 417 -421.

Nogales, R., Cifuentes, C. y Benítez, E. (2005). *Vermicomposting of winery wastes: a laboratory study*. Journal of Enviromental Science and Health Part B. ISSN: 6360 1234. p. 659-673.

Ochoa, M., Bustamante, C. y Rivero, R. (2000). *Utilización de fuentes de abonos orgánicos en combinación con fertilizante mineral (NPK) para la producción de posturas de Coffea arábica L.* 2da. Convención Internacional de Educación Superior. Editorial "Felix Varela". Universidad Agraria de La Habana, Cuba., p 7.

Porta, C.J., López-Acevedo, R.M. y Roquero, L.C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. México. p 183-184, 778-787.

Reyes, H.A., Manes S.A. y Gessa, G.M. (2000). *Efecto de la aplicación del residuo sólido del despulpe del café sobre las propiedades de un suelo*. 2da. Convención Internacional de Educación Superior. Editorial "Felix Varela". Universidad Agraria de La Habana, Cuba. p 8

Romero, L.M. (2004). *Agricultura orgánica, elaboración y aplicación de abonos orgánicos*. Memorias III Curso Teórico-práctico. Lombricultura técnica mexicana. SOMELAO. Guadalajara, Jal. Del 8 al 10 de marzo.

Santamaría-Romero, S., Ferrera C.R., Almaraz, S.J., Galvis, S.A. y Barois, B.I. (2001). Dinámica y Relaciones de Microorganismos, C- Orgánico y N-Total durante el Composteo y

Vermicomposteo. *Agrociencia*, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 35 (4); p. 377-384.

SEMARNAT. Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental. (2002). Informe de la situación del Medio Ambiente en México. http://www.paot.org.mx/centro/in-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/03_Suelos/3.6_Gestion/index.htm.

SEMARNAT. Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental. (2003). Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003. INE. Dirección General de Investigaciones, Dirección General de Planificación, Desarrollo y Recuperación Ambiental y Dirección General de Investigaciones en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/55024054/Informe-de-Semarnat-degradacion-del-suelo>. Consulta: junio, 2021.

SEMARNAT. Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental. (2004). Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables. Dirección de agricultura y ganadería. México. Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen/03_suelos/cap3.html. Consulta: junio, 2021.

SEMARNAT. Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental. (2012). Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap3_suelos.pdf.

Consulta: junio, 2021.

SINADES. (2015). Programa Nacional Manejo sustentable de Tierras. Para combatir degradación de Tierras y desertificación en México. Secretaría del medio ambiente y Recursos Naturales. 66 p. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31167/pnacdd.pdf>

Romero, L.M. (2004). *Agricultura orgánica, elaboración y aplicación de abonos orgánicos*. Memorias III Curso Teórico-práctico. Lombricultura técnica mexicana. SOMELAO. Guadalajara, Jal. Del 8 al 10 de marzo.

Soto, G. y Muñoz, C. (2002). *Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura*. Manejo integrado de plagas y Agroecología. Sección Agricultura Orgánica. Agricultura Ecológica CATIE, Turrialba. Costa Rica. No. 65. p. 123-125

Tate, K. and Theng, B.K. G. (2014). *Climate change. An underfoot perspective?*, pp. 3-16 In: the soil underfoot. Infinite possibilities for a finite resource. Churchman, G. Jock and Land, Edward R., eds. CRC Press, Boca Raton, Florida. 421 p.

Yugsi, L. (2011). Elaboración y Uso de Abonos Orgánicos. Módulo de Capacitación para Capacitadores. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Quito, Ecuador.

Zavaleta, M.E. (2002). *Abonos orgánicos para el manejo de fitopatógenos con origen en el suelo*. Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional. Junio. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM., p 38-45