

La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola

The importance of organic amendments in soil conservation and agricultural production

Sergio Adrián Murillo–Montoya ^{1*}, Alexander Mendoza–Mora ², Carlos Julio Fadul–Vasquez ³.

¹Institución Educativa Cañaveral. ✉ sergio.murillomontoya@gmail.com. ²Centro Pecuario y Agroempresarial, Sena Caldas. ✉ amendoza83@misena.edu.co. ³Centro Pecuario y Agroempresarial Sena Caldas. ✉ cjfadul@misenaedu.co. *Autor para correspondencia

Recibido 09.11.2019 / Aceptado 06.07.2020

Resumen Las enmiendas orgánicas son utilizadas para mejorar las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo, permitiendo aumentar los macro y micronutrientes necesarios para que las plantas mejoren su producción. Dentro de las principales enmiendas orgánicas se encuentran los abonos verdes, los lodos de depuración, estiércol y vermicompost, que combinados con microorganismos eficientes, tienen el potencial de mejorar la disponibilidad del agua para las plantas, reducir las emisiones de gases efecto invernadero, recuperar suelos degradados, disminuir la erosión, secuestrar metales pesados y carbono, y solubilizar macro y micronutrientes necesarios para las plantas. Como consecuencia de lo anterior, esta revisión exploró los diferentes tipos de enmiendas orgánicas que se emplean a nivel mundial, evaluó el impacto de la adición de microorganismos eficientes en las enmiendas orgánicas y determinó el impacto de las enmiendas orgánicas en la producción agrícola. Se encontró que a nivel mundial, en la producción agrícola, son usadas las enmiendas como alternativas más económicas y asequibles que los fertilizantes de origen sintético.

Palabras clave: agricultura orgánica, microorganismos eficientes, inmovilización, materia orgánica, compostaje, suelos.

Abstract Organic amendments are used to improve the soil physical, chemical and microbiological conditions, allowing to increase the availability of macro and micronutrients necessary for plants to improve their production. Among the main organic amendments are green manures, sewage sludge, manure and vermicompost, which combined with efficient microorganisms, have the potential to improve water availability for plants, reduce greenhouse gas emissions, and recover degraded soils, reduce erosion, sequester heavy metals and carbon, and solubilize macro and micronutrients necessary for plants. As a consequence of the above, this review explored the different types of organic amendments that are used worldwide, evaluated the impact of the addition of efficient microorganisms in organic amendments and determined the impact of organic amendments on agricultural production. It was found that, worldwide, amendments are used as cheaper and more affordable alternatives than synthetic fertilizers.

Key words: organic agriculture, efficient microorganisms, immobilization, organic matter, composting, soils.

Introducción

El modelo de agricultura tradicional requiere de la adición de compuestos químicos ricos en NPK, que pueden generar efectos negativos en el suelo e incrementar los gases efecto invernadero (Brenzinger et al. 2018; Mehdizadeh et al. 2109). Las adiciones continuas de algunos elementos como N, pueden reducir la absorción de nutrientes, disminuir la descomposición de la materia orgánica, modificar la concentración de los cationes intercambiables, alterar la microbiota del suelo y reducir la actividad metabólica de las plantas (Demiraj et al. 2018; Bowden et al. 2019; Mehdizadeh et al. 2019). Así mismo, las formas NO_3 y NO_2 , contaminan las fuentes de agua por lixiviación, aumentando la producción primaria, favoreciendo la generación de gases efecto invernadero (Martínez-Nieto et al. 2011; Chilón, 2013; Khatun et al. 2019).

La adición de fertilizantes químicos basados en NPK y desbalanceada en iones intercambiables como Ca^{2+} y Mg^{2+} , aumenta la salinidad del suelo, aunque esta puede darse de forma natural (Millán et al. 2010; Wichern et al. 2020). La salinidad aumenta debido a que los iones intercambiables son sustituidos por formas iónicas metálicas como el Al^{3+} , Mn^{2+} y Fe^{3+} que se encuentran en las arcillas. Por ejemplo, el Al^{3+} es un limitante de la producción agrícola, porque reduce la disponibilidad de fósforo para las plantas e inhibe la asimilación del Ca^{2+} bloqueando el transporte de proteínas y sustancias de reserva (Bernal et al. 2014; Millán et al. 2010; Daza et al. 2015; Granada-Torres & Prada-Millán, 2016). La salinidad del suelo disminuye la actividad enzimática, la mineralización del carbono y la reducción de la respiración celular (Zhang et al. 2019; Khatun et al. 2019).

La composición y estructura de la materia orgánica del suelo (MOS), un material compuesto por la descomposición de animales y vegetales, y que sirve como sustrato para el crecimiento de las plantas (Forján et al. 2017; Palumbo et al. 2018;) puede alterarse por la aplicación de fertilizantes químicos. La MOS funciona como fuente de

carbono y nitrógeno para los microorganismos, los cuales lo convierten en biomasa microbiana, proporcionando estabilidad química y biológica al suelo (Mangalassery et al. 2019), a su vez, contribuye a la inmovilización de elementos traza y a la quelación de iones metálicos responsables de la limitación del fósforo disponible para las plantas (Forján et al. 2017; Meena et al. 2020). Por lo tanto, como medida de atenuación ante posibles efectos adversos derivados del uso excesivo de fertilizantes químicos, se ha propuesto la adición de fertilizantes de origen orgánico al suelo, los cuales potencian, mejoran y restauran su estructura (Bautista-Zamora et al. 2017; Boafa et al., 2020).

Los abonos o enmiendas orgánicas son el resultado de procesos de descomposición y mineralización de residuos vegetales, animales e industriales, que aplicados al suelo, pueden ayudar a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Cervera-Mata et al. 2018; Cesarano et al. 2017; Islam et al. 2020). De manera general, las enmiendas mejoran los procesos de infiltración y capacidad de retención del agua (Lepsch et al. 2019), promueven la actividad microbiana y controlan el pH (Cesarano et al. 2017; Cervera-Mata et al. 2018) por lo que se consideran una importante fuente de nutrientes para el suelo y las plantas. Sin embargo, es necesario revisar el origen de dicho material, para evitar la adición de patógenos y elementos potencialmente tóxicos (Araya et al. 2014; Martínez-Nieto & Chaparro-Rico, 2013).

De acuerdo a lo anterior, este trabajo tuvo como objetivos: 1) conocer las diferentes tipos de enmiendas orgánicas que se emplean a nivel mundial; 2) evaluar el impacto de la adición de microorganismos eficientes en las enmiendas orgánicas y 3) determinar el efecto de las enmiendas orgánicas en la producción agrícola.

Materiales y métodos

Se realizó la búsqueda de literatura primaria en las siguientes bases de datos: Google Scholar, ScienceDirect, Redalyc, Scopus, Jstor,

Web of Science, SciELO, Dialnet y Latindex. Como criterios de búsqueda se emplearon las siguientes palabras clave, tanto en inglés como español y mediadas por operadores booleanos: enmiendas orgánicas, abonos orgánicos y microorganismos eficientes. Se consideraron 83 artículos publicados entre los años 2008 a 2020 y realizados en países de América, África, Europa y Asia. El 36% de los documentos consultados se encuentra publicado en idioma inglés y el 64% en español; a su vez, el 52% fue publicado entre 2015 a 2019; el 35% entre 2010 a 2015; el 7% durante 2020, y el 6% entre 2008 y 2010.

Enmiendas orgánicas

Las enmiendas orgánicas son el producto de la transformación de residuos vegetales, animales e industriales que adicionados al suelo, tienen la capacidad de mejorar sus condiciones fisicoquímicas y biológicas, así como la productividad de los cultivos agrícolas (Navia-Cuetia et al. 2013; Yáñez-Yáñez et al. 2016; Albarracín-Sánchez et al. 2018). Dentro de las principales enmiendas se encuentran los abonos verdes, lodos de depuración, biochar, adición de estiércol de diferentes animales y vermicompost.

Abonos verdes

Se denominan abonos verdes, a la reutilización de subproductos vegetales (ramas, hojas, troncos, frutas, aserrín, entre otras) derivados de los sistemas agrícolas y que suelen adicionarse al suelo de manera directa luego de su cosecha (Caro-Lara et al. 2009; Navia-Cuetia et al. 2013; Forján et al. 2017). Este tipo de enmienda, se caracteriza por altos niveles de ácido fúlvico y húmico (Brtnicky et al. 2019) los cuales tienen una mayor capacidad de unir metales que los fertilizantes inorgánicos (Bernal et al. 2014; Forján et al. 2017) y también tienen una alta relación C/N debido a que las partes leñosas de las plantas son ricas en carbono, mientras que las hojas son ricas en nitrógeno (Arango-Osorno et al. 2017; Arcand et al. 2017; Dion et al. 2020;). Las plantas que se emplean como abonos verdes, son

generalmente fabáceas y leguminosas (Murillo et al. 2014), las cuales se asocian con bacterias nativas del suelo que fijan nitrógeno atmosférico y evitan su pérdida por lixiviación; además, mejoran las propiedades fisicoquímicas, aportan macro y micronutrientes y ayudan a mitigar los efectos de la erosión, incrementando la actividad microbiana (Zapata-Hernández et al. 2020).

Los abonos verdes son una fuente permanente de nitrógeno, el cual se considera un nutriente limitante en la producción agrícola. De acuerdo con Sosa-Rodriguez et al. (2019) este tipo de enmiendas pueden suministrar entre el 20% y 80% de los requerimientos de nitrógeno que necesitan las plantas, por lo tanto, su adición al suelo puede reducir la utilización de fertilizantes sintéticos como el triple 15, que alcanzó a nivel mundial más de 200 millones de toneladas aplicadas al suelo durante 2018. En este sentido, en un estudio realizado por Zapata-Hernández et al. (2020) encontraron que la adición de *Lupinus rotiduflorus* y *L. exaltatus* como abono verde, aumentó la actividad microbiana y la disponibilidad de nitrógeno 2.7 veces con respecto a la fertilización con NPK y 4 veces con respecto al suelo sin adición de algún tipo de fertilizante. Sin embargo, y aunque su uso es común en diferentes tipos de enmiendas orgánicas, es conveniente monitorear que las concentraciones de nitrógeno, principalmente N_2O no aumenten como producto de la actividad microbiana, porque como se conoce, el N_2O es un importante gas de efecto invernadero (Sosa-Rodriguez & García-Vivas, 2019).

Lodos de depuración

Los lodos de depuración pueden provenir de diferentes fuentes, pueden derivar como subproductos de la industria agrícola, principalmente en la producción de caña de azúcar, fique y palma de aceite, o de procesos industriales como curtiembres y plantas de tratamiento de aguas residuales (Castro-García & Daza-Torres, 2016; Oviedo-Ocaña et al. 2013; Ruano-Uscategui & Trejo-Castro, 2014; Brito et al. 2016; Rodríguez-Miranda et al. 2017). El

inconveniente más común con este tipo de enmiendas, es que puede contener patógenos (Araya et al. 2014), metales pesados, aumentar la absorción del suelo y la consecuente lixiviación y contaminación de fuentes hídricas (Arango-Osorno et al. 2017; Forján et al, 2017), por lo que no debe emplearse sin un compostaje previo y sin la verificación de su concentración química, de hecho, en muchos países europeos su uso como enmienda está prohibido o reglamentado.

En la industria azucarera, por ejemplo, se generan una gran cantidad de subproductos tanto en la producción de azúcar como de alcohol carburante, que pueden ser empleados como lodos orgánicos. Dentro de estos productos, se encuentran las vinazas, cachaza y vagazo, los cuales son una fuente importante de elementos menores, materia orgánica y carbono oxidable que pueden ingresar al suelo como abono (Bohórquez et al. 2015; Brito et al. 2016) y que si no fueran transformados se convertirían en una fuente de contaminación. Por lo tanto, los lodos cuando son estabilizados por digestión aeróbica, anaeróbica, secado al aire, compostaje o adiciones de calcio, son útiles en la remediación de suelos perturbados, debido a que mejoran su estructura (Rivera-González et al. 2012).

Biochar

El biochar es el resultado de la pirólisis del material vegetal o animal, pero en ausencia de oxígeno; es lo que comúnmente se denomina carbón mineral. Este tipo de material es natural de la amazonía brasileña y se caracteriza por su riqueza en carbono lábil (Brtnicky et al. 2019). Dentro de las características del biochar, Lee et al. (2019) indican que mejora la fertilidad del suelo, debido al suministro de nutrientes; absorbe e inmoviliza elementos tóxicos, principalmente metales pesados como cadmio y cobre; mejora la asimilación de los nutrientes y la capacidad de retención del agua, debido a la estabilización de los macro y microagregados del suelo; y mejora las propiedades biológicas y fúngicas, debido al incremento de la actividad microbiana.

Un estudio realizado en Nigeria por Oziegbe et al. (2019) sugiere que adiciones de 20ton/ha de biochar, es suficiente para notar cambios significativos en la inmovilización de carbono y metales pesados como cadmio, cobre y zinc, debido a que aumenta la adsorción y retención en el suelo, convirtiéndolo en un importante sumidero de gases efecto invernadero. En ese mismo sentido, Brtnicky et al. (2019) indican que al aportar ácidos fúlvicos y húmicos, el biochar retiene el carbono orgánico evitando que se libere y contamine la atmósfera.

Adiciones de estiércol

Las adiciones de estiércol son un complemento a otras enmiendas orgánicas, debido a que promueve la actividad microbiana y la estabilización de los suelos. De acuerdo con Ferreira et al. (2018), la adición de estiércol bovino a residuos compostados, aporta macronutrientes como N, P, K, Ca y Mg, y bajas concentraciones de metales pesados como Ni, Cd y Pb. Sin embargo, requiere un proceso de estabilización que permita reducir la carga microbiana antes de ser empleado como enmienda. Por ejemplo, el estiércol de cuy suplementado con pulpa de café y cepa de plátano, demostró ser una buena fuente de fósforo en comparación con enmiendas basadas solamente en pulpa de café, cepa de plátano o adiciones de cal agrícola (Betancourt et al. 2016) evidenciando que estos materiales compostados mejoran la estructura física y microbiológica del suelo.

En suelos arables y con fertilización química continua, el tamaño y agregación de la materia orgánica es un limitante para la actividad microbiana encargada de la estabilización del suelo, de hecho, los microorganismos existentes son oligotróficos, es decir, viven en suelos pobres en nutrientes, con bajo secuestro de carbono, retención inadecuada del agua y baja mineralización del suelo. Lo contrario ocurre cuando se adiciona estiércol al suelo; un estudio realizado por Lin et al.

(2019) al evaluar el efecto del estiércol de cerdo combinado con residuos orgánicos durante 27 años en China, encontraron que la adición de este sustrato, aumenta la materia orgánica y potencia la microbiota del suelo. En este sentido, aumentó la abundancia de fijadores de nitrógeno (rizobiales), se potenciaron los descomponedores de celulosas y quitina (actinobacterias) y aumentó la simbiosis de hongos que forman micorrizas (sordariales y pezizales). En este mismo sentido, Ye et al.(2019) encontraron que el estiércol de cerdo también aumenta la biomasa fúngica, la cual, al competir con la microbiota del suelo, reduce la abundancia de hongos patógenos del género fusarium, promoviendo el aumento de la biomasa y necromasa responsable del secuestro de carbono y de la eliminación de posibles patógenos.

Vermicompost

Es la acción conjunta de comunidades microbianas y lombrices de tierra, los cuales promueven condiciones apropiadas para que la microbiota del suelo convierta los residuos peligrosos en biomasa y productos de respiración celular (Montaño-Mata et al. 2009; Barrera et al. 2012; Yáñez-Yáñez et al. 2016; Damian-Suclupe et al. 2018). De acuerdo con Forján et al. (2017), especies como *Eisenia foetida*, *Lumbricus terrestris* y *Dendrobaena rubida* tienen la capacidad de bioacumular metales pesados como Pb, Cd, Cu y Zn lo que las convierte en especies importantes para el ciclaje de nutrientes y desintoxicación del suelo. Las lombrices de tierra, también tienen la capacidad de reducir la sedimentación debido a la unión de la materia orgánica en macro y microagregados que mejoran su estructura. En este sentido, Zhang et al. (2017) encontraron que los ácidos húmicos y fúlvicos del vermicompost reducen la lixiviación y mejoran la capacidad de retención hídrica del suelo, aumentando su disponibilidad para las plantas.

Estudios realizados por Mogollón-Sandobal et al. (2015 y 2016) demuestran que la adición de vermicompost en suelos salino-sódicos del

semiárido venezolano reducen la conductividad eléctrica, aumentan significativamente la materia orgánica, el carbono orgánico, el nitrógeno total y la concentración de iones como Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} , mientras reduce el porcentaje de sodio intercambiable. Los suelos salino-sódicos se caracterizan porque dentro de los cationes intercambiables, el que prevalece es el Na^{+} por encima de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} , mientras que en suelos aptos para la producción agrícola el orden de los cationes debe ser $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$ (Bernal et al. 2014; Mogollón-Sandobal et al. 2016). En este sentido, la adición del vermicompost directamente al suelo o como complemento de otras enmiendas, tiene el potencial de reestablecer las concentraciones de los cationes intercambiables aumentando su disponibilidad para las plantas.

Microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes (EM) trabajan en sinergia con las enmiendas orgánicas, aportando nutrientes al suelo y mejorando su composición fisicoquímica y microbiológica (Gutiérrez et al. 2012; Araya et al. 2014; Martínez-Nieto et al. 2014). Los EM se agrupan en: bacterias fototróficas, bacterias productoras de ácido láctico, levaduras y hongos de fermentación (Campo-Martínez et al. 2014; Recalde et al. 2013; Vines-Moreira, 2014) y pueden encontrarse en ecosistemas de montaña, suelos agrícolas y ecosistemas acuáticos (Blanco et al. 2013; Martínez-Nieto & Chaparro-Rico, 2013; Escobar-Escobar et al. 2012;). Estudios realizados por Vásquez de Díaz et al. (2010a, 2010b) encontraron que al adicionar ME a la cereza de café, reduce el tiempo de compostaje hasta en 40 días y Vines-Moreira (2014) sugiere que su adición cada 5 días, reduce el tiempo de descomposición de materia orgánica de origen animal, por lo que pueden emplearse como acelerantes en la elaboración de diversos tipos de enmiendas orgánicas.

La diversidad de microorganismos nativos del suelo es alta y depende de la materia orgánica disponible. Escudero de Fonseca &

Arias-Villamizar (2012) encontraron en abonos verdes una alta diversidad de microorganismos con potencial antifúngico como *Pseudomonas* y productores de antibióticos como *Streptomyces* los cuales inhiben el crecimiento de otros microorganismos, principalmente patógenos del suelo. En este mismo sentido, Villacís-Aldaz et al. (2016) hallaron poblaciones de microorganismos benéficos como *Beauveria bassiana* y *Bacillus thuringiensis* considerados herbicidas biológicos y *Paecilomyces lilacinus*, que actúa como controlador de nemátodos y solubilizador de fósforo, en suelos con enmiendas de gallinaza, cascarilla de arroz y melaza de caña.

Es así como dentro de los micororganismos importantes en el suelo, se encuentran solubilizadores de fósforo como *Pseudomonas fluorescens*, *Escherichia vulneris*, *Acinetobacter oreivorans* y *Streptomyces spp* (Ramírez-Gil et al. 2013; Prieto-Correal et al. 2015; Cisneros-R et al. 2016; Li et al. 2018; Sanclemente et al. 2017); biodegradadores de compuestos complejos como lignina, celulosa, quitina y peptidoglicanos (Escobar-Escobar et al. 2012; Camacho et al. 2014; Lin et al. 2019); microorganismos como *Trichoderma lignorum* y *T. harzianumf* que son controladores de la podredumbre blanca; especies de bacillus con potencial para el control de la sigatoka negra (Blanco et al. 2013) y para controlar la marchitez de aguacate (Ramírez-Gil et al. 2013); bacterias promotoras del crecimiento como *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* (Menjivar-Flores et al. 2013); regulación del pH (Campo-Martínez et al. 2014; Boafó et al. 2020) y también mejoran la producción agrícola debido a que aumenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo, por lo que se consideran un excelente complemento en las enmiendas orgánicas (Gutiérrez et al. 2012; Recalde et al. 2013; Clocchiatti et al. 2020).

Impactos de las enmiendas orgánicas en los cultivos

Como resultado de la adición de enmiendas orgánicas al suelo, no solo se mejoran las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas,

sino que aumenta la disponibilidad de macro y micronutrientes necesarios para las plantas, esto conlleva a que disminuya el estrés y aumente la producción agrícola (Álvarez-Solís et al. 2010; Barrera et al. 2012; Bautista-Zamora et al. 2017; Cesarano et al. 2017). En este sentido, un estudio realizado por Islam et al. (2020) en el suroeste asiático, demostró que las enmiendas orgánicas aplicadas en suelos inundables donde se produce arroz, disminuyen el estrés hídrico y aumenta la producción en comparación con fertilizantes químicos tradicionales. Estos resultados, son similares a los reportados por Lepsch et al. (2019) en suelos de Norteamérica, donde encontraron que la adición de enmiendas aporta al suelo una mayor capacidad de sostener un contenido volumétrico de agua disponible para las plantas, incluso en épocas secas, debido a que los macroporos que se forman con la enmienda estabilizan el suelo, lo cual permite aumentar la producción de almendras.

Como consecuencia de los déficit de agua y nutrientes, muchos cultivos agrícolas disminuyen su producción, especialmente cuando los esquemas convencionales de fertilización no son suficientes (Daza-Torres, 2014; Álvarez-Carrillo et al. 2016). Algunos de estos cultivos son el tomate, el banano y el cacao. Por ejemplo, en suelos ácidos ($\text{pH} < 5,8$), que por lo general son pobres en materia orgánica y bajas concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} o altas concentraciones de Al^{3+} y Mn^{2+} el desarrollo normal del cultivo se ve limitado, porque los cationes intercambiables compiten con el aluminio, impidiendo la solubilización del fósforo (Daza-Torres et al. 2008; Daza et al. 2015; Ganada-Torres & Prada-Millán, 2016), esto trae como consecuencia la acumulación del aluminio y déficit en el crecimiento y producción de la planta.

Debido a lo anterior, se ha empleado como correctivo del pH adiciones de cal agrícola, la cual puede o no aumentar la producción (Fresno et al. 2020). Un estudio realizado por Zhang et al. (2019) indica que aunque las adiciones de cal corrigen el pH del suelo y mejora las sinergias entre la microbiota, su impacto en la producción

de banano es mucho menor que cuando se emplean enmiendas. En este sentido, los autores encontraron que el tamaño de las hojas, cormo y biomasa aumentaron hasta 8.25 veces cuando se emplean enmiendas orgánicas sin encalar y que el sistema radicular aumentó hasta 3,14 veces, permitiendo que las plantas utilicen mejor los nutrientes disponibles en el suelo.

En el contexto colombiano, el café es el cultivo agrícola de mayor importancia económica, y sobre él se han evaluado gran variedad de abonos orgánicos que incluyen la cereza, la adición de microorganismos eficientes y diversos tipos de compost (Contreras et al. 2008). Sin embargo, la fertilización tradicional sigue siendo la principal fuente de nutrientes que ingresa al suelo y al cultivo. No obstante, estudios realizados por Mosquera et al. (2016) determinaron que el uso de bocashi y vermicompost tienen los mismos efectos en sanidad y producción que la fertilización tradicional, de hecho, el desarrollo vegetativo fue mayor en enmiendas basadas en vermicompost que en métodos tradicionales de fertilización, aspecto que evidencia la importancia de incluir enmiendas en los ciclos de fertilización.

Otro aspecto notable de las enmiendas orgánicas, es su potencial en el control de arvenses que limitan la producción agrícola. De acuerdo con Fernández-Bayo et al. (2017) las prácticas culturales actuales no son suficientes para el control de arvenses, por lo que proponen el uso de enmiendas basadas en digestatos (digestión anaerobia mediada por microorganismos eficientes) como estrategia complementaria a los métodos tradicionales. Este tipo de control, ha demostrado además de ser eficiente ante los arvenses, aumentar la actividad microbiana, la capacidad de campo y retención del agua, promoviendo un mayor desarrollo vegetativo y eficiencia productiva en los cultivos.

Dada la necesidad de proteger los suelos, mejorar su estructura fisicoquímica, activar la microbiota y aumentar la producción agrícola,

las enmiendas orgánicas se presentan como una mejor opción respecto a los métodos tradicionales, que incluyen la fertilización química. Las enmiendas han demostrado ser una fuente inmediata de macro y micronutrientes del suelo, los cuales al ser transformados y mineralizados por la biota existe en él, es más estables y se encuentran disponibles para las plantas de manera permanente. De igual manera, la adición de enmiendas al suelo, promueve la competencia de la microbiota, reduciendo la presencia de microorganismos patógenos, generando sinergias que impiden la liberación de gases efecto invernadero como CO₂ y N₂O a través de la formación de micorrizas que fijan el nitrógeno atmosférico. Adicionalmente, las investigaciones realizadas hasta el momento, indican que las enmiendas mejoran la reproducción vegetativa de los cultivos agrícolas y su producción, convirtiéndose en una alternativa para el desarrollo sostenible.

En relación con esto, es necesario potenciar las investigaciones que permitan el desarrollo de enmiendas seguras, libres de patógenos y elementos traza, que aporten nutrientes al suelo y aumenten la producción agrícola. Por lo tanto, es menester realizar investigaciones permanentes en el tiempo o por lo menos que evalúen varios ciclos productivos, determinando su eficiencia y efecto en el suelo, la microbiota y la agricultura. También se sugiere evaluar el efecto de los microorganismos eficientes tanto en el suelo, en las enmiendas y en los cultivos, así como la combinación de diferentes tipos de enmiendas, para que de esta manera, podamos reducir la dependencia de los fertilizantes químicos.

Agradecimientos

Al sistema de investigación, desarrollo tecnológico e innovación del SENA (SENNOVA) por financiar el proyecto titulado “Utilización de residuos orgánicos en la producción tecnológica de enmiendas para la reconversión de suelos

agrícolas en La Dorada (Caldas)” proyecto 1916 con código ley SIIF C-3605-1300-1-0 dentro del cual se enmarca la presente investigación.

Referencias

- Albarracín-Sánchez, D.M.; Roa-Parra, A.L.; Solano-Ortega, F. y Montañez-Acevedo, G. (2018). Producción de abono orgánico mediante el compostaje aerotérmico de residuos de poda. *Bistua Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 16(1):156-162. http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/BISTUA/article/view/3203
- Álvarez-Salazar, J.C. (2016). Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Teobroma cacao* L. bajo arreglo forestal en Rivera (Huila, Colombia). *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(2): https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num2_art:375
- Álvarez-Solís, J.D.; Díaz-Pérez, E.; León-Martínez, N.S. y Guillén-Velásquez, J. (2010). Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento del maíz. *Revista Terra Latinoamericana*, 28(3): 239-245. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v28n3/v28n3a6.pdf>
- Arango-Osorno, S.; Montoya-Restrepo, J.; Vásquez, Y. y Flor, D. (2017). Análisis fisicoquímico y microbiológico del proceso de co-compostaje a partir de la biomasa de leguminosa y ruminaza. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2): 345-354. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/4052
- Araya, M., Tapia, A.; Mata, R.; Serrano, E. y Acuña, O. (2014). Efecto de la aplicación de compost y nematocida sobre la dinámica de poblaciones de microorganismos, nemátodos fitoparásitos del suelo y salud del sistema radical en el cultivo de banano (*Musa AAA*) sembrado en domos. *Revista Agronomía Costarricense*, 38(2): 93-105. http://www.mag.go.cr/rev_agr/v38n02_093.pdf
- Arcand, M.M.; Levy-Booth, D.J. y Helgason, B.L. (2017). Resource legacies of organic and conventional management differentiate soil microbial carbon use. *Frontiers in Microbiology*, 8:1-17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02293>
- Barrera, J.; Combatt, E. y Ramírez, Y. (2012). Efecto de abonos orgánicos sobre el crecimiento y producción del plátano hartón (*Musa AAB*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(2): 195-208. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i2.1267>
- Bautista-Zamora, D.; Chavarro-Rodríguez, C.; Cáceres-Zambrano, J. y Buitrago-Mora, S. (2017). Efecto de la fertilización edáfica en el crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* cv. ICA cerinza. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1): 122-132. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5496>
- Bernal, A.; Montaña, J.; Sánchez, R.; Albarrán, Y. y Forero, F. (2014). Evaluación de materiales enalantes y orgánicos sobre las bases intercambiables de un suelo sulfatado ácido en invernadero. *Revista Temas Agrarios*, 19(1): 19-31. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.722>
- Betancourt, D.; Rodríguez, C. y Benavides, O.L. (2016). Producción de un mejorador de suelos a partir de la transformación biológica de la pulpa de café (*Coffea arabica*), cepa de plátano (*Musa paradisiaca*) y estiércol de cuy (*Cavia porcellus*). *Revista Vitae* 23(supl. 1): S522-S525. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/vitae/article/view/26176/20779432>
- Blanco, G.; Linares, B.; Hernández, J.; Maselli, A.; Rincón, C.A.; Ortega-Gorth, R.; Medina, E.; Hernández, L. y Morillo, J. (2013). Composición microbiológica e inocuidad de lixiviados de pseudotallos y láminas foliares de plátano “Hartón” en el estado Yaracuy. *Revista Agronomía Tropical*, 63(3-4): 111-120. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5986346>
- Boafo, D.K.; Kraisornpornson, B.; Panphon, S.; Owusu, B.E. y Amañampong, P.N. (2020). Effect of organic soil amendments on soil quality in oil palm production. *Applied Soil Ecology*, 147: 103358. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.09.008>
- Bohórquez, A.; Puentes, Y. y Menjivar, J.C. (2015). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1): 73-81. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:398
- Bowden, R.D.; Wurzbacher, S.J.; Washko, S.E.; Wind, L.; Rice, A.M.; Coble, A.E.; Baldauf, N.; Johnson, B.; Wang, J.J.; Simpson, M. y Lajtha, K. (2019). Long-Term nitrogen addition decreases organic matter decomposition and increases forest soil carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.08.0293>
- Brenzinger, K.; Drost, S.M.; Korthals, G. y Bodelier, P.L.E. (2018). Organic residue amendments to modulate greenhouse gas emissions from agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*, 9:1-16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03035>
- Brito, H.; Viteri, R.; Guevara, L.; Villacrés, M.; Jara, J.; Jiménez, S.; Moya, P. y Parra, C. (2016). Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del cantón Riobamba. *European Scientific Journal*, 12(29): 76-94. URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n29p76>
- Brtnicky, M.; Dokulilova, T.; Holatko, J.; Pecina, V.; Kintl, A.; Latal, O.; Vyhnanek, T.; Prichystalova, J. y Datta, R. (2019). Long-Term effects of biochar-based organic amendments on soil microbial parameters. *Agronomy*, 9 (747):1-16. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/agronomy9110747>
- Camacho, A.D.; Martínez, L.; Ramírez-Saad, H.; Valenzuela, R. y Valdés, M. (2014). Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Revista Terra Latinoamericana*, 32(4): 291-300. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000400291
- Campo-Martínez, A. del P.; Acosta-Sanchez, R.L.; Morales-Velasco, S. y Prado, F.A. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (MM) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1): 79-87. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/322>
- Caro-Lara, I.; Lora-Silva, R. y Romero-Otálora, Z. (2009). Producción de abonos orgánicos con la utilización de elodea (*Egeria densa*) presente en

- la laguna de Fúquene. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1): 91-100. <https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n1.2009.645>
- Castro-García, G. y Daza-Torres, M.C. (2016). Evaluación de enmiendas en el proceso de compostaje de residuos de curtiembres. *Revista Producción + Limpia*, 11(1): 53-59. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1114>
- Cervera-Mata, A.; Pastoriza, S.; Rufián-Henares, J.A.; Párraga, J.; Martín-García, J.M. y Delgado, G. (2018). Impact of spent coffee grounds as organic amendment on soil fertility and lettuce growth in two Mediterranean agricultural soils. *Archives of Agronomy And Soil Science*, 64(6): 780-804. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1387651>
- Cesarano, G.; De Filippis, F.; La Stora, A.; Scala, F. y Bonanomi, G. (2017). Organic amendment type and application frequency affect crop yields, soil fertility microbiome composition. *Applied Soil Ecology*, 120:254-264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.017>
- Chilón, E. (2013). El compostaje altoandino como sustento de la fertilidad del suelo frente al cambio climático. *Revista CienciAgro*, 2(4): 456-468. http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rca/v2n4/v2n4_a04.pdf
- Cisneros-R, C.A.; Sánchez de P, M. y Menjivar-F, J.C. (2016). Influencia de microorganismos solubilizadores de fósforo del suelo y su absorción por plántulas de café. *Revista BioAgro*, 28(2): 95-106. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85745749004>
- Clocchiatti, A.; Hannula, S.E.; van der Berg, M.; Korthals, G. y de Boer, W. (2020). The hidden potential of saprotrophic fungi of arable soil: Patterns of short-term stimulation by organic amendments. *Applied Soil Ecology*, <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103434>
- Contreras, J.; Acevedo, I. y Escalona, A. (2008). Efecto del vermicompost sobre el crecimiento de plántulas de café (*Coffea arabica*). *Revista Unellez Ciencia y Tecnología*, 26: 14-21. <http://revistas.unellez.edu.ve/revista/index.php/ruct/article/view/117/112>
- Damian-Suclupe, M.J.; Gonzáles-Ventimilla, F.; Quiñones-Paredes, P. y Terán-Iparraguirre, J.R. (2018). Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Revista Arnaldoa*, 25(1): 141-158. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25109>
- Daza-Torres, M.C.; Álvarez-Herrera, J.G. y Camacho-Tamayo, J.H. (2008). Aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos en la adsorción de fósforo en un andisol. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(5): 451-457. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000500002>
- Daza-Torres, M.C. (2014). Aplicación de compost de residuos de flores en suelos ácidos cultivados con maíz (*Zea mays*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3): 22-30. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n3/rcta04314.pdf>
- Daza, M.; Díaz, J.; Aguirre, E. y Urrutia, N. (2015). Efecto de abonos de liberación lenta en la lixiviación de nitratos y nutrición nitrogenada en estevia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1): 112-123. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3750>
- Demiraj, E.; Libutti, A.; Mallezzi, J.; Rroço, E.; Brahushi, F.; Monteleone, M. y Sulçe, S. (2018). Effect of organic amendments on nitrate leaching mitigation in a sandy loam soil of Shkodra district, Albania. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1136):93-102. <https://doi.org/10.4081/ija.2018.1136>
- Dion, P.P.; Jeanne, T.; Thériault, M.; Hogue, R.; Pepin, S. y Dorais, M. (2020). Nitrogen release from five organic fertilizers commonly used in greenhouse organic horticulture with contrasting effects on bacterial communities. *Canadian Journal of Soil Science*, 100:1-16. Recuperado de <https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0056>
- Escobar-Escobar, N.; Mora-Delgado, J. y Romero-Jola, N.J. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Revista Boletín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Natural*, 16(1): 75-88. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a06.pdf>
- Escudero de Fonseca, A. y Arias-Villamizar, C.A. (2012). Los microorganismos en los abonos orgánicos a partir de podas en la Universidad del Norte, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1): 67-75. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37025166002>
- Fernández-Bayo, J.D.; Achmon, Y.; Harrold, D.R.; McCurry, D.G.; Hernandez, K.; Dahlquist-Willard, R.M.; Stapleton, J.J.; VanderGheynst, J.S. y Simmons, C.W. (2017). Assessment of two solid anaerobic digestate soil amendments for effects on soil quality and biosolarization efficacy. *J. Agric. Food. Chem.* 65(17):3434-3442. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04816>
- Ferreira, D.A.; Dias, N.; Ferreira, A.K.; Vasconcelos, C.; Sousa-Junior, F.; Porto, V.C.; Fernandes, C. y Vásquez, M.A. (2018). Efecto del compost de residuos orgánicos domiciliarios, vegetales y estiércol en el crecimiento de lechuga. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2): 464-474. <http://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7902>
- Forján, R.; Asensio, V.; Guedes, R.S.; Rodríguez-Vila, A.; Covelo, E.F. y Marcet, P. (2017). Remediation of soli polluted with inorganic cotaminants: role of organic amendments. In: Anjum N., Gill S., Tuteja N. (eds) *Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55423-5_10
- Fresno, T.; Peñalosa, J.M.; Flagmeier, M. y Moreno-Jiménez, E. (2020). Aided phytostabilisation over two years using iron sulphate and organic amendments: Effects on soil quality and rye production. *Chemosphere*, 240:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124827>
- Granada-Torres, C.A. y Prada-Millán, Y. (2016). Evaluación del lixiviado agroecológico como acondicionador del suelo en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) variedad cressa verde. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(1): 47-57. <https://doi.org/10.22490/21456453.1534>
- Gutiérrez, L.A.; Seguro, S.; Arenas, J.E. y Moreno, J.G. (2012). Evaluación del poder fertilizante de dos abonos orgánicos preparados con microorganismos eficientes en plantas de tomate y maíz. *Journal of Agriculture and Animal Sciences*, 1(2): 8-14. <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/jafs/article/view/375/178>
- Islam, M.S.; Khan, M.H. y Hossain, M.S. (2020). Effects of different levels of soil moisture and indigenous organic amendments on the yield of boro rice grown under field condition. *Dhaka University*

- Journal of Biological Sciences*, 29(1):87-96. <https://doi.org/10.3329/dujbs.v29i1.46534>
- Khatun M.; Shuvo M.A.R.; Salam M.T.B. y Rahman S.H. (2019). Effect of organic amendments on soil salinity and the growth of maize (*Zea mays* L.). *Plant Science Today* 2019;6(2):106-111. <https://doi.org/10.14719/pst.2019.6.2.491>
- Lee, J.H.; Luyima, D.; Lee, J.Y.; Kim, S.J.; Son, M.K.; Yoon, C.W.; Choi, Y.J.; Choi, H.Y.; Shinogi, Y.; Park, K.W. y Oh, T-K. (2019). Effects of two biochar-based organic amendments on soil chemical properties and productivity of selected vegetables. *Journal-Faculty of Agriculture Kyushu University*, 64(1):39-46. <http://hdl.handle.net/2324/2231632>
- Lepsch, H.C.; Brown, P.H.; Peterson, C.A.; Gaudin, A.C.M. y Khalsa, S.D.S. (2019). Impact of organic matter amendments on soil and tree water status in a California orchard. *Agricultural Water Management*, 222:204-212. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.06.002>
- Li, M.; Cozzolino, V.; Mazzei, P.; Drosos, M.; Monda, H.; Hu, Z. y Piccolo, A. (2018). Effects of microbial bioeffectors and P amendments on P forms in a maize cropped soil as evaluated by ^{31}P -NMR spectroscopy. *Plain Soil*, 427, 87-104 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3405-8>
- Lin, Y.; Ye, G.; Kuzyakov, Y.; Liu, D.; Fan, J. y Ding, W. (2019). Long-term manure application increases soil organic matter and aggregation, and alters microbial community structure and keystone taxa. *Soil Biology and Biochemistry*, 134:187-196. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.03.030>
- Mangalassery, S.; Kalaivanan, D. y Philip, P.S. (2019). Effect of inorganic fertilisers and organic amendments on soil aggregation and biochemical characteristics in a weathered tropical soil. *Soil & Tillage Research*, 187:144-151. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.008>
- Martínez-Nieto, P.; García-González, D.; Silva-Bonilla, P.S.; Vargas-Chaparro, G. y Valderrama-Escallón, F. (2011). Manejo de residuos generados directa o indirectamente por el cultivo de cebolla en Aquitania (Boyacá-Colombia). *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 4(2): 23- 34. <http://www.journals.unam.mx/index.php/aidis/article/view/3>
- Martínez-Nieto, P. y Chaparro-Rico, B. (2013). Microorganismos benéficos para el compostaje de macrofitas invasoras de la laguna colombiana de Fúquene. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 6(1): 73-88. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/36967/pdf>
- Martínez-Nieto, P.; García-Gómez, G.; Sánchez-León, G. y Vargas-Vargas, C. (2014). Evaluación preliminar de activadores biológicos para el compostaje de residuos de tomate. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 7(3): 217-227. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/46816/42202>
- Meena, R.S.; Lal, R. y Yadav, G.S. (2020). Long-term impacts of topsoil depth and amendments on soil physical and hydrological properties of an Alfisol in central Ohio, USA. *Geoderma*, 363:114-164. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114164>
- Mehdizadeh, M.; Izadi-Darbandi, E.; Naceri-Pour-Yazdi, M.T.; Rastgoo, M.; Malaekheh-Nikouei, B. y Nassirli, H. (2019). Impacts of different organic amendments on soil degradation and phytotoxicity of metribuzin. *International Journal of Recycling of Organic Waste In Agriculture*, 8:113-121. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0280-8>
- Menjivar-Flores, J.C.; Rosero-G, M. y Vargas-Bermúdez, W. (2013). Efecto de vinazas sobre bacterias rizosféricas y en la actividad- CO_2 y biomasa-C microbiana de un suelo Pachic Haplustoll. *Revista Acta Agronómica*, 62(2): 165-173. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.70526>
- Millán, G.; Vázquez, M.; Terminiello, A. y Santos-Sbuscio, D. (2010). Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio de algunos suelos ácidos en la región Pampeana. *Revista Ciencia del Suelo*, 28(2): 131-140. [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_28n2/28\(2\)%20131-140.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_28n2/28(2)%20131-140.pdf)
- Mogollón-Sandoval, J.P.; Martínez, A.E. y Torres, D.G. (2015). Efecto de la aplicación de un vermicompost en las propiedades químicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Revista Acta Agronómica*, 64(4): 315-320. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n4.47115>
- Mogollón, J.P.; Martínez, A. y Torres, D. (2016). Efecto de la aplicación de vermicompost en las propiedades biológicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Revista BioAgro*, 28(1): 29-38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85744678004>
- Montaño-Mata, N.J.; Simosa-Mallé, J.A. y Perdomo-Gallardo, A.J. (2009). Respuesta de tres cultivares de berenjena (*Solanum melongena* L.) a diferentes combinaciones de fertilizante orgánico y fertilizante químico. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4): 807-815. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3394120.pdf>
- Mosquera, A.T.; Melo, M.; Quiroga, C.; Avendaño, D.; Barahona, M.; Galindo, F.; Lanchoeros, J.; Prieto, S.; Rodríguez, A. y Sosa, D. (2016). Evaluación de fertilización orgánica en café (*Coffea arabica*) con pequeños productores de Santander, Colombia. *Revista Temas Agrarios*, 21(1): 90-101. <https://doi.org/10.21897/rta.v21i1.894>
- Murillo, J.; Rodríguez, G.; Roncallo, B.; Rojas, L.A. y Bonilla, R.R. (2014). Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Revista Pastos y Forrajes*, 37(3): 270-278. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v37n3/pyf03314.pdf>
- Navia-Cuetia, C.A.; Zemanate-Cordoba, Y.; Morales-Velasco, S.; Prado, F.A. y Albán-López, N. (2013). Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*). *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2:165-173. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa19.pdf>
- Oviedo-Ocaña, R.; Daza-Torres, M.; Marmolejo-Rebellón, L.; Osorio-Ortiz, A. y Torres-Lozada, P. (2013). Influencia de la incorporación de pasto estrella como material de soporte (*Cynodon plectostachyus*) en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 31(2): 251-271. <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v31n2/v31n2a05.pdf>
- Oziegbe, O.; Aladesanmi, O.T. y Awotoye, O.O. (2019). Effect of biochar on the nutrient contents and metal recovery efficiency in sorghum planted on landfill soils. *International Journal of Environmental*

- Science and Technology*. 16, 2259–2270. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1843-3>
- Palumbo, G.; Schiavon, M.; Nardi, S.; Ertani, A.; Celano, G. y Colombo, C.M. (2018). Biostimulant potential of humic acids extracted from an amendment obtained via combination of olive mill wastewaters (OMW) and a pre-treated organic material derived from municipal solid waste (MSW). *Fron. Plant. Sci*, 9(1028) <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01028>
- Prieto-Correal, G.C.; Prada-Salcedo, L.D.; Cuervo, C. y Franco-Correa, M. (2015). Evaluación de la producción de ácidos orgánicos por *Streptomyces* spp. y solubilización de tres fuentes de fósforo por la cepa T3A. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1): 111-121. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.41667>
- Ramírez-Gil, J.G.; Castañeda-Sánchez, D.A. y Morales-Osorio, J.G. (2013). Dinámica microbiana del suelo asociada a diferentes estrategias de manejo de *Phytophthora cinnamomi* Rands en aguacate. *Revista Ceres Viçosa*, 60(6): 811-819. <http://www.scielo.br/pdf/rceres/v60n6/09.pdf>
- Recalde, C.G.; Echeverría, M.M. y Castro, R.P. (2013). Descomposición de materia orgánica con microorganismos benéficos magnetizados. *Revista Información Tecnológica*, 24(6): 9-16. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000600003>
- Rivera-González, D.; Plata-Martínez, L.; Castro-Molano, L.; Guzmán-Luna, C. y Escalante-Hernández, H. (2012). Aprovechamiento del subproducto sólido de la digestión anaerobia del vagazo de fique (*Furcraea macrophylla*) para el acondicionamiento de suelos. *Revista ION, Investigación, Optimización y Nuevos procesos en Ingeniería*, 25(1): 25-34. <http://www.scielo.org.co/pdf/trion/v25n1/v25n1a04.pdf>
- Rodríguez-Miranda, J.P.; Albañil-Osorio, S.C.; Rodríguez-Castellanos, O. y Jaimes-Romero, J.P. (2017). Comparación de la calidad del humus de material vegetal con el de residuos orgánicos domésticos, resultado del compostaje mediante el sistema de pilas. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 8(2): 191-200. <https://doi.org/10.22335/rict.v8i2.389>
- Ruano-Uscategui, D. y Trejo-Castro, Á. (2014). Evaluación de abono orgánico de residuos agropecuarios en cultivos de *Pisum sativum* y *Solanum phureja*. *Revista Agronomía*, 22(1): 44-57. [http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia22\(1\)_5.pdf](http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia22(1)_5.pdf)
- Sanclémente, O.; Yacumal, V. y Patiño, C. (2017). Solubilización de fosfatos por bacterias nativas aisladas en tres agroecosistemas del Valle del Cauca (Colombia). *Revista Temas Agrarios*, 22(2): 62-70. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.945>
- Sosa-Rodrigues, B.A. y García-Vivas, Y.S. (2019). Emisión de gases de efecto invernadero en el suelo bajo el uso de abonados verdes. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 30(3):767-782. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v30i3.36103>
- Sosa-Rodrigues, B.; Sanchez de Prager, M.; García, Y.; Espinoza, M.; Rodríguez, J. y Sosa, G. (2019). Dinámica de nitrógeno del suelo en agroecosistemas bajo el efecto de abonados verdes. *Acta Agronómica*, 68(4):257-264. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.71963>
- Vásquez de Díaz, M.C.; López, A.; Fuentes, B. y Cote, E. (2010a). Aceleración del proceso de compostaje de residuos post-cosecha (pulpa) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Revista CENIC Ciencias Básicas*, 41:1-7. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1812/181220509002>
- Vásquez de Díaz, M.C.; Prada-P, P.A. y Mondragón-A, M.A. (2010b). Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Revista NOVA, Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 8(14): 213-219. <https://doi.org/10.22490/24629448.452>
- Villacís-Aldaz, L.A.; Zapata-Vela, J.J.; León-Gordón, O.A.; Vásquez-Freitez, C.L.; Mullo-Sarzosa, J.G.; Zapata-Vela, A.C. y Gutierrez-Alban, A.C. (2016). Compatibilidad y sobrevivencia de microorganismos benéficos de uso agrícola (*Beauveria bassiana*, *Bacillus thuringiensis* y *Paecilomyces lilacinus*) en compost. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2): 93-99. http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v4n2/v4n2_a06.pdf
- Vinces-Moreira, E.E. (2014). Incidencia de los microorganismos eficientes en el tiempo de descomposición de abonados de origen animal. *Revista La Técnica*, 13: 18-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6087634>
- Wichern, F.; Islam, M.R.; Hemkemeyer, M.; Watson, C. y Joergensen, R.G. (2020). Organic amendments alleviate salinity effects on soil microorganisms and mineralisation processes in aerobic and anaerobic paddy rice soils. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4:30. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00030>
- Yáñez-Yáñez, W.; Villacís-Aldaz, L.A.; León-Gordón, O.A.; Velástegui-Espín, G.P.; López-Villacís, I.C. y Cruz-Tobar, S.E. (2016). Efectos de un compost enriquecido con microorganismos eficientes sobre la germinación de semillas recalcitrantes de *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg y *Theobroma cacao* L. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2): 100-108. http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v4n2/v4n2_a07.pdf
- Ye, G.; Lin, Y.; Kuzyakov, Y.; Liu, D.; Luo, J.; Lindsey, S.; Wang, W.; Fan, J. y Ding, W. (2019). Manure over crop residues increases soil organic matter but decreases microbial necromass relative contribution in upland Ultisols: Results of a 27-year field experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 134:15-24. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.03.018>
- Zapata-Hernández, I.; Zamora-Natera, J.F.; Trujillo-Tapia, M.N. y Ramirez-Fuentes, E. (2020). ¿La incorporación de residuos de diferente especie de *Lupinus*, como abono verde afecta la actividad microbiana del suelo?. *Terra Latinoamericana*, 38:45-56. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.501>
- Zhang, Y.; Wang, L.; Li, W.; Xu, H.; Shi, Y.; Sun, Y.; Cheng, X.; Chen, X. y Li, Y. (2017). Earthworms and phosphate-solubilizing bacteria enhance carbon accumulation in manure-amended soils. *J. Soils Sediments*, 17:220-228. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1482-6>
- Zhang, J.; Bei, S.; Li, B.; Zhang, J.; Christie, P. y Li, X. (2019). Organic fertilizer, but not heavy liming, enhances banana biomass, increases soil organic carbon and modifies soil microbiota. *Applied Soil Ecology*, 136:67-79. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.017>