



*Obtención de consorcios microbianos benéficos y su incidencia en la población microbiana nativa de la rizósfera de plantas de fresa (FRAGARIA SP.)*

*Obtaining beneficial microbial consortia and their incidence in the native microbial population of the rhizosphere of strawberry plants (FRAGARIA SP.)*

*Obtenção de consórcios microbianos benéficos e sua incidência na população microbiana nativa da rizosfera de plantas de morango (FRAGARIA SP.)*

Manuel Salvador Alvarez-Vera <sup>I</sup>  
[malvarezv@ucacue.edu.ec](mailto:malvarezv@ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-2521-0042>  
Javier Oswaldo Soto-Valenzuela <sup>II</sup>  
[jsotov@upse.edu.ec](mailto:jsotov@upse.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8128-7071>  
Jorge Oswaldo Quevedo -Vásquez <sup>III</sup>  
[joquevedov@ucacue.edu.ec](mailto:joquevedov@ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-1303-4835>  
Lesi Vanessa Giler -Escandón <sup>IV</sup>  
[lvgilere@ucacue.edu.ec](mailto:lvgilere@ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-0104-1712>

**Correspondencia:** [malvarezv@ucacue.edu.ec](mailto:malvarezv@ucacue.edu.ec)

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de investigación

\***Recibido:** 06 de septiembre de 2019 \***Aceptado:** 15 de octubre de 2019 \* **Publicado:** 30 de noviembre 2019

- <sup>I.</sup> Especialista en Docencia Universitaria, Magíster en Protección y Remediación Ambiental, Doctoris Philosophiae en Ingeniería y Ciencias Ambientales, Ingeniero Agrónomo, I. Doctoris Philosophiae en Ingeniería y Ciencias Ambientales, Docente en la Carrera de Ingeniería Ambiental, Jefatura de Posgrados en la Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- <sup>II.</sup> Magister en Biotecnología Molecular, Diplomado Superior en Pedagogía de la Educación Técnica y Profesional, Biólogo, Magister En Biotecnología Molecular, Docente en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Centro De Investigaciones Agropecuarias (Ciap-Upse), Santa Elena, Ecuador.
- <sup>III.</sup> Magíster en Administración de Negocios, Diplomado Superior en Práctica Docente Universitaria, Economista, Licenciado en Economía y Finanzas, Docente de la Carrera de Administración de Empresas, Sede Azogues, Jefatura de Posgrados en la Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- <sup>IV.</sup> Diplomado Superior en Tributación, Magister en Administración Tributaria, Ingeniero en Ciencias Administrativas, Técnico Superior en Administración de Negocios, Docente de la Carrera de Administración de Empresas, Sede Azogues, Jefatura de Posgrados en la Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.



## Resumen

El suelo es un medio complejo donde las comunidades microbianas cumplen funciones importantes para el desarrollo de las plantas. El objetivo de esta investigación fue obtener consorcios microbianos benéficos (CMBs) de especies vegetales y evaluar su incidencia sobre la población microbiana nativa de la rizósfera de plantas de fresa (*Fragaria sp.*). Se obtuvieron CMBs provenientes de 12 especies vegetales locales, a nivel de laboratorio se determinaron las UFC.ml-1 en solución de levaduras, *Bacillus spp.*, *Lactobacillus spp.* Actinomicetos y *Pseudomonas spp.* Se evaluó la capacidad proteolítica y el nivel de antagonismo ante *Fusarium sp.* de las cepas de *Bacillus spp.* y *Lactobacillus spp.* Se seleccionaron tres consorcios microbianos y se inocularon en el suelo, luego se plantaron fresas. Se determinó que la población microbiana nativa de la rizósfera cambia de forma heterogénea con la inoculación de microorganismos benéficos, lo cual estaría relacionado con las características de cada consorcio microbiano, su capacidad de adaptación y las condiciones existentes en el nicho rizosférico. La inoculación de CMBs es positiva ya que mediante varios mecanismos benefician el desarrollo de las plantas, es necesario abordar investigaciones dirigidas a estudiar las interacciones microbianas entre los microorganismos nativos frente a inoculados en el suelo, que en su mayoría son desconocidas.

**Palabras clave:** Microorganismos benéficos; suelo; raíz; plantas; antagonismo.

## Abstract

Soil is a complex environment where microbial communities fulfill important functions for the development of plants. The objective of this research was to obtain beneficial microbial consortiums (CMBs) of plant species and to evaluate their incidence on the native microbial population of the rhizosphere of strawberry plants (*Fragaria sp.*). CMBs were obtained from 12 plant species, at the laboratory level they were determined the UFC.ml-1 of solution of yeast, *Bacillus spp.*, *Lactobacillus spp.* Actinomycetes and *Pseudomonas spp.*; of strains of *Bacillus spp.* and *Lactobacillus spp.*, it was evaluated the proteolytic capacity and the level of antagonism against of *Fusarium sp.* Three microbial consortiums were selected and inoculated into the soil, then strawberry was planted. It was determined that the native microbial population of the rhizosphere changes heterogeneously with the inoculation of beneficial microorganisms, which

would be related to the characteristics of each microbial consortium, its ability to adapt and the existing conditions in the rhizosphere niche. The inoculation of CMBs is positive since by several mechanisms they benefit the development of the plants, it is necessary to address research aimed at studying the microbial interactions between the native microorganisms versus those inoculated in the soil, which are mostly unknown.

**Keywords:** Beneficial microorganisms; soil; root; plants; antagonism.

## Resumo

O solo é um ambiente complexo, onde as comunidades microbianas cumprem funções importantes para o desenvolvimento da planta. O objetivo desta pesquisa foi obter consórcios microbianos benéficos (CMBs) de espécies vegetais e avaliar sua incidência na população microbiana nativa da rizosfera de plantas de morango (*Fragaria* sp.). CMBs de 12 espécies vegetais locais foram obtidos, em nível laboratorial, o CFU.ml<sup>-1</sup> em solução de levedura, *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp. Actinomycetes e *Pseudomonas* spp. Capacidade proteolítica e nível de antagonismo contra *Fusarium* sp. das linhagens de *Bacillus* spp. e *Lactobacillus* spp. Três consórcios microbianos foram selecionados e inoculados no solo, depois os morangos foram plantados. Foi determinado que a população microbiana nativa da rizosfera muda de maneira heterogênea com a inoculação de microrganismos benéficos, o que estaria relacionado às características de cada consórcio microbiano, sua adaptabilidade e as condições existentes no nicho rizosférico. A inoculação de CMBs é positiva, uma vez que, por vários mecanismos que beneficiam o desenvolvimento das plantas, é necessário abordar pesquisas voltadas ao estudo das interações microbianas entre microrganismos nativos versus inoculados no solo, os quais são em grande parte desconhecidos.

**Palavras-chave:** Microrganismos de caridade; chão raiz; plantas; antagonismo

## Introducción

El suelo agrícola no es un medio inerte, está lleno de vida microbiana (Vogel et al., 2018), la degradación del suelo es un problema global crítico y creciente (Webb et al., 2017), a medida que la población mundial aumenta, la presión sobre el suelo también y este capital natural se enfrenta a una reducción continua (Koch et al., 2013), caracterizada por la disminución de la calidad (Lal,

2015), lo que es motivo de preocupación de técnicos e investigadores, debido a que el aumento de la población requerirá un incremento en la producción de alimentos para satisfacer la demanda mundial.

Existe un debate activo sobre nuevas prácticas agrícolas que podrían producir más alimentos de forma sostenible (Wezel et al., 2014), que incluye el papel de los microbios del suelo, por ser responsables de la mayoría de las transformaciones biológicas e impulsar el desarrollo de reservas estables y lábiles de carbono (C), nitrógeno (N) y otros nutrientes, que facilitan el posterior establecimiento de comunidades vegetales (Schulz et al., 2013) y para los procesos que impulsan la estabilidad y productividad de los agro ecosistemas (Singh, Pandey, & Singh, 2011).

Las interacciones microbianas asociadas a las plantas involucran una gran variedad de entornos (Govindasamy et al., 2018), las partes aéreas de las plantas proporcionan un hábitat para los microorganismos (Whipps, Hand, Pink, & Bending, 2008), están colonizadas por una variedad de bacterias, levaduras y hongos (Lindow & Brandl, 2003), acorde a las características de cada especie vegetal y condiciones exógenas; mediante protocolos establecido se aíslan los consorcios microbianos para elaborar biopreparados e inocularlos en el suelo para mejorar sus propiedades.

La rizósfera es una zona estrecha de suelo rodeada e influenciada por las raíces de las especies vegetales (Meena et al., 2017), el microbioma de la rizósfera juega un rol importante en el crecimiento, nutrición y salud de las plantas (Pieterse, Jonge, & Berendsen, 2016). Ha sido demostrado que la inoculación de una comunidad microbiana eficiente al ecosistema del suelo mejora y beneficia el desarrollo, rendimiento y calidad de cultivos (Singh et al., 2011), por lo tanto el crecimiento y la productividad de las plantas está muy influenciado por las interacciones entre las raíces de las plantas y el suelo circundante con sus poblaciones microbianas (Pereg & McMillan, 2015), los microorganismos benéficos son una alternativa viable para la agricultura orgánica, para proteger el ambiente e incrementar la producción de alimentos de calidad, cuidando la salud de las personas (Alvarez, Tucta, Quispe, & Meza, 2018).

Lograr el uso eficiente y productivo de la tierra agrícola mientras se conserva la biodiversidad, es un desafío global (Tschardtke et al., 2012), la restricción más importante que limita el rendimiento de los cultivos en los países en desarrollo en todo el mundo, y especialmente entre agricultores de escasos recursos, es la infertilidad del suelo (Mohammadi & Sohrabi, 2012). La agricultura sostenible es vital en el mundo de hoy, por que ofrece el potencial para satisfacer nuestras necesidades agrícolas (Singh et al., 2011).

En nuestro medio la fresa (*Fragaria* sp.) es una fruta muy apetecida por sus contenidos nutricionales y múltiples aplicaciones en la alimentación. Conocida por su alto valor nutritivo, precocidad, aroma único, color atractivo y excelente rentabilidad (Yadav et al., 2017), en la fruticultura del mundo la fresa ocupa un lugar significativo (Thakur, Mehta, & Sekhar, 2015), razón por la que despierta el interés de buscar tecnologías amigables con el ambiente que conlleve a incrementar la actividad biológica en la rizósfera.

Por su papel potencial en la seguridad alimentaria y la producción sostenible de cultivos, la aplicación de microbios beneficiosos como biofertilizante se ha convertido en una tecnología de importancia primordial en el sector agrícola (Bhardwaj, Ansari, Sahoo, & Tuteja, 2014). El desarrollo de productos biotecnológicos que contienen microorganismos beneficiosos para las plantas necesita una extensa investigación que comience con la selección, caracterización, producción y uso de cultivos microbianos formulados para mejorar la nutrición de las plantas (Vassilev & Mendes, 2018) y condiciones del suelo.

Es fundamental conocer la incidencia de la inoculación de consorcios microbianos sobre las comunidades nativas del suelo, ya que estos organismos son un componente integral de los ecosistemas, pero sus actividades reciben poco reconocimiento en las estrategias de gestión agrícola (Bender, Wagg, & Heijden, 2016), el mundo ahora tiene una perspectiva real para crecer de manera sostenible a través de tecnologías amigables con el ambiente, precautelando los índices de calidad de los suelos, reflejado en la riqueza microbiana de la zona cercana a la raíz de las plantas.

El objetivo principal de esta investigación fue aislar consorcios microbianos benéficos de especies vegetales cultivadas en nuestra región y evaluar su incidencia en la población de microorganismos nativos de la rizósfera de las plantas de fresa.

## **2. Materiales y métodos**

La investigación se realizó en tres fases: (i) Primera: obtención de consorcios microbianos benéficos (CMBs), (ii) Segunda: evaluación en laboratorio, (iii) Tercera: inoculación de consorcios de microorganismos beneficiosos en el suelo y establecimiento del cultivo de fresa (*Fragaria* sp.).

### **1. Primera fase: obtención de consorcios microbianos benéficos (CMBs)**

Se seleccionaron 12 especies vegetales ubicadas en tres diferentes pisos altitudinales en la provincia del Azuay, de las cuales se obtuvieron los consorcios microbianos; tres especies se ubicaron en el piso altitudinal uno (P1) a 1950 ms.n.m., cuatro en el piso altitudinal dos (P2) a 2250 ms.n.m. y cinco en el piso altitudinal tres (P3) a 2550 ms.n.m.

### **Recolección de muestras de plantas**

Se recolectaron muestras de la parte aérea de especies vegetales seleccionadas de forma aleatoria. En P1 se seleccionaron las plantas de girasol conocido también como falso girasol (*Tithonia diversifolia*), café (*Coffea arabica* L.), y plátano (*Musa paradisiaca* L.); en P2 cedrón (*Aloysia triphylla*), ruda (*Ruta graveolens* L.), romero (*Rosmarinus officinalis*) y menta (*Mentha piperita*) y en P3 diente de león (*Taraxacum officinale* Weber.), canayuyo (*Sonchus oleraceus*), manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.), geranio (*Pelargonium graveolens*), y altamisa (*Artemisia vulgaris*).

### **Preparación de la solución madre de microorganismos benéficos**

De acuerdo a la metodología desarrollada por Meza (2009), en un envase plástico estéril se depositó 50 g de material vegetal seccionado conjuntamente con 50 ml de agua pura, 20 ml de melaza de caña de azúcar, 10 g de hígado de res y 1 g de sal común. Se uniformizó la mezcla y se almacenó a temperatura ambiente durante diez días en un sitio sin la incidencia directa de los rayos solares, en el décimo día se verificó la presencia de capas de color blanco en la superficie de la solución, a partir de este indicativo se procedió a la activación de los microorganismos benéficos presentes en cada consorcio microbiano. Este procedimiento se cumplió para todas las muestras.

### **Activación de microorganismos benéficos**

Para cada una de las muestras en un envase plástico estéril descartable, se adicionó 400 ml de agua sin cloro, 40 g de hígado de res, 4 g de sal de mesa y 40 ml de melaza de caña de azúcar, posteriormente se mezcló homogéneamente la solución y se esterilizó a 121 °C por 15 minutos. En los envases plásticos con la solución líquida a temperatura ambiente se adicionó 40 ml de solución madre y se mezcló de manera uniforme, por un lapso de diez días todos los envases se dejaron reposar a temperatura ambiente en un sitio sin la presencia directa del sol, después de este periodo los microorganismos activados quedaron listos para su aplicación al suelo.

## **2. Segunda fase: evaluación en laboratorio**

## **Determinación de unidades formadoras de colonias (UFC.ml<sup>-1</sup>) de microorganismos benéficos**

Cada preparado fue sembrado en cajas Petri con medio de cultivo selectivo específico con tres repeticiones. Se determinó las UFC de levaduras (Agar Sabouraud), *Bacillus* spp. (Agar Nutritivo), *Lactobacillus* spp. (Agar Rogosa), Actinomicetos (Agar Avena) y *Pseudomonas* (Agar Cetrimide). Se prepararon tubos de ensayo en los cuales se adicionó agar peptona, luego se incorporó 1 ml de solución de microorganismos benéficos activados, acorde al tratamiento, luego se realizaron diluciones seriadas desde -1 hasta -13 dependiendo del microorganismo en estudio. Se extrajo 1 ml de solución de cada tubo de ensayo y se depositó en placas Petri con el medio de cultivo específico para cada microorganismo, en agitador se uniformizó la mezcla, a 150 rpm por una hora. Los medios de cultivo para levaduras se colocaron a temperatura ambiente por un periodo de 48 horas, los de *Bacillus* en una incubadora a 32 °C por un periodo de 24 horas, para *Lactobacillus* las muestras se ubicaron en una incubadora a 36 °C por un periodo de 48 horas, para Actinomicetos el cultivo se dejó en condiciones ambientales por un periodo de 12 días, para *Pseudomonas* los medios de cultivo se conservaron a 32 °C por un periodo de 48 horas. Después de estos periodos se realizó el recuento de UFC.

## **Determinación de antagonismo de *Bacillus* spp. y *Lactobacillus* spp. ante *Fusarium***

Se aislaron *Bacillus* y *Lactobacillus* de las 12 muestras en estudio. Se preparó Agar Sabouraud en placas Petri correctamente identificadas y divididas en cuatro partes iguales; en cada cuadrante se ubicó ya sea *Bacillus* spp., o *Lactobacillus* spp., (dependiendo del caso) y en el centro de la placa se situó el *Fusarium* sp. Con la finalidad de comparar los resultados se utilizó un testigo con el patógeno, pero sin los microorganismos potencialmente antagónicos.

De acuerdo a la evaluación de desarrollo del patógeno, el nivel de antagonismo se calificó como: ninguno, bajo, medio o alto. Diariamente durante un periodo de diez días se observó la inhibición del halo de *Fusarium* sp., por *Bacillus* spp., y *Lactobacillus* spp., provenientes de las muestras de las especies vegetales.

## **Evaluación de la capacidad proteolítica de *Bacillus* spp. y *Lactobacillus* spp.**



En placas Petri divididas en cuatro partes iguales se depositó Agar Gelatina. En cada uno de los cuadrantes se inoculó una muestra de *Bacillus* spp., o *Lactobacillus* spp. respectivamente (según el caso), las placas Petri con cultivos se dejaron en condiciones ambientales por un periodo de ocho días, se realizaron observaciones diarias con la finalidad de verificar la presencia de un halo que evidencia propiedades proteolíticas de los microorganismos en el estudio. Se observaron halos de diferente magnitud, se registró la presencia de halos pequeños, medianos y grandes, en algunos casos no se observó ninguno (los microorganismos no evidenciaron proteólisis).

### **3. Tercera fase: inoculación de consorcios de microorganismos benéficos en el suelo y establecimiento del cultivo de fresa (*Fragaria* sp.).**

#### **Selección de consorcios microbianos benéficos**

De 12 biopreparados, se seleccionaron tres consorcios microbianos, uno por cada piso altitudinal. Los parámetros utilizados fueron unidades formadoras de colonias por ml de solución, nivel de antagonismo de *Bacillus* spp., y *Lactobacillus* spp., ante *Fusarium* sp., así como también capacidad proteolítica de *Bacillus* spp., y *Lactobacillus* spp. Se seleccionaron los consorcios microbianos obtenidos de las plantas de café (*Coffea arabica* L.) a 1950 ms.n.m., menta a (*Mentha piperita*) a 2250 ms.n.m y altamisa (*Artemisia vulgaris*) a 2550 ms.n.m.

#### **Inoculación de microorganismos benéficos**

Previo a la inoculación de consorcios microbianos se realizó análisis físico, químico y biológico del suelo. Se inocularon dos dosis de cada solución, la dosis uno al 2,5% (D1) y la dosis dos al 5% (D2); en otro tratamiento se aplicó microorganismos eficientes de uso comercial EM1 al 5% y un tratamiento testigo sin la aplicación de ninguna solución. En la Tabla 1 se presenta los tratamientos y la correspondiente descripción.

**Tabla 1:** Tratamientos utilizados para evaluar el efecto de consorcios microbianos benéficos en la población de microorganismos nativos de la rizósfera de la planta de fresa (*Fragaria* sp.).

N°	Especie vegetal	Dosis	Interacciones	Tratamiento
1	Café ( <i>Coffea arabica</i> L.)	D1 (2,5%)	D1P1	T1
2	(P1)	D2 (5%)	D2P1	T2
3	Menta ( <i>Mentha piperita</i> )	D1 (2,5%)	D1P2	T3
4	(P2)	D2 (5%)	D2P2	T4
5	Altamisa ( <i>Artemisia vulgaris</i> )	D1 (2,5%)	D1P3	T5
6	(P3)	D2 (5%)	D2P3	T6
7	-	-	EM1	T7
8	-	-	Testigo	T8

Fuente: Autores.

Con una regadera plástica se inoculó 150 ml de solución preparada en cada sitio una vez por semana desde 21 días antes del trasplante.

### **Plantación de fresa (*Fragaria* sp.)**

Se prepararon 32 parcelas de 0,60 m de ancho por 0,90 m de largo y 0,40 m de altura, todas cubiertas con acolchado de color blanco, las fresas se plantaron a una distancia de 0,30 m por 0,30 metros. Para los 8 tratamientos en estudio se utilizó el Diseño de Bloques Completos Aleatorizados (DBCA) con 4 repeticiones, con un total de 32 unidades experimentales.

Previo al trasplante, con la finalidad de inocular los microorganismos en las raíces de la fresa (*Fragaria* sp.), de forma secuencial todas las plantas, excepto el tratamiento testigo, fueron sumergidas durante 5 minutos en la solución con microorganismos benéficos al 2,5% o 5% acorde al tratamiento, respectivamente. Luego se trasplantó una planta por sitio en los lugares previamente establecidos e identificados; a continuación, con una regadera se aplicó agua con o sin microorganismos dependiendo del tratamiento. Se determinaron las características físicas, químicas y biológicas del agua de riego.

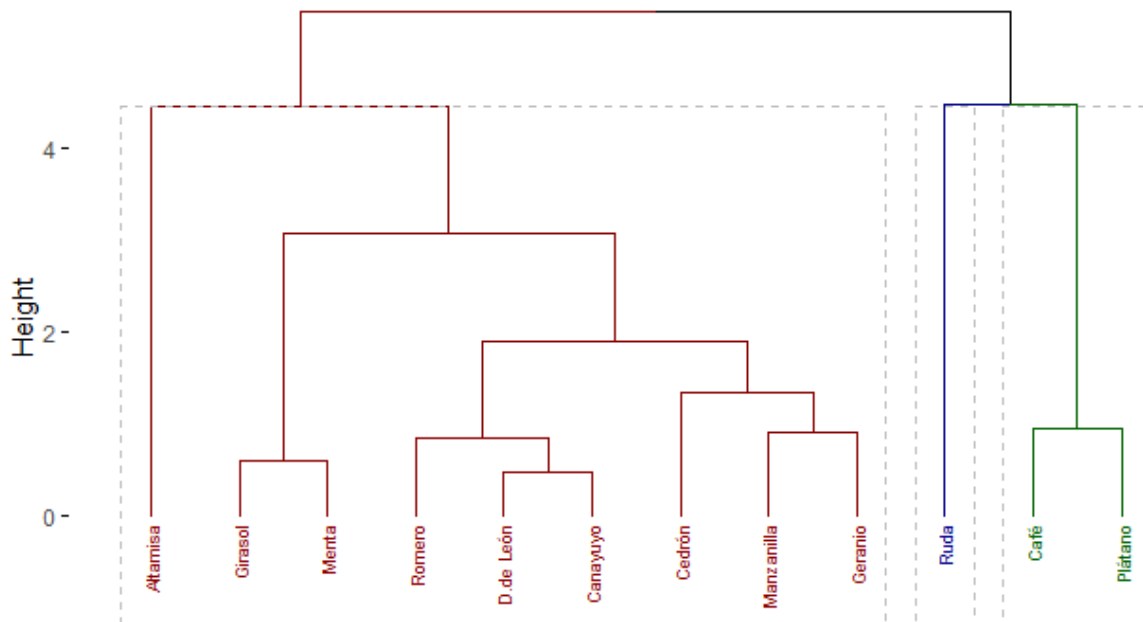
## **4. Resultados y discusión**

### **Unidades formadoras de colonias**

Cada especie vegetal posee un potencial único para unidades formadoras de colonias (UFC) de levaduras, *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp., actinomicetos y *Pseudomonas* spp.

En el análisis de conglomerados (Figura 1) se determina tres grandes grupos, la altamisa (*Artemisia vulgaris*) de forma independiente se diferencia de todas las demás especies vegetales, en un segundo grupo encontramos al girasol (*Tithonia diversifolia*), menta (*Mentha piperita*), romero (*Rosmarinus officinalis*), diente de león (*Taraxacum officinale* Weber.), canayuyo (*Sonchus oleraceus*), cedrón (*Aloysia triphylla*), manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.) y geranio (*Pelargonium graveolens*), en la tercera agrupación se ubican la ruda (*Ruta graveolens* L.), café (*Coffea arabica* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L.).

**Figura 1:** Aglomeración de plantas de acuerdo a las unidades formadoras de colonias de levaduras, *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp., *Pseudomonas* spp. y actinomicetos.



### Antagonismo de *Bacillus* spp. y *Lactobacillus* spp. ante *Fusarium*

De las cepas de *Bacillus* spp., en P1 57,15% no presentaron ningún nivel de antagonismo mientras 42,85% presentaron bajo nivel de antagonismo, ninguna muestra presentó alto nivel de antagonismo. En P2 50% de *Bacillus* spp. no presentaron antagonismo, 25% presentaron bajo antagonismo, 25% presentaron medio nivel de antagonismo, ninguna muestra presentó alto nivel de antagonismo. En P3 10% de cepas de *Bacillus* spp. no presentaron ningún nivel de

antagonismo, 60% presentaron bajo nivel de antagonismo, 30% presentaron medio nivel de antagonismo, ninguna muestra de esta cepa evidenció alto nivel de antagonismo.

De las cepas de *Lactobacillus* spp., en P1 16,67% no presentaron ningún nivel de antagonismo, el 83,33% registraron bajo antagonismo, ninguna muestra evidenció nivel de antagonismo medio o alto. En P2 87,50% de cepas de *Lactobacillus* spp. evidenciaron bajo antagonismo, 12,50% registraron alto nivel de antagonismo. En P3 8,33% de cepas de *Lactobacillus* spp. no demostraron ningún nivel de antagonismo, 58,33% evidenciaron bajo nivel de antagonismo, 16,67% presentaron nivel medio de antagonismo y 16,67 mostraron alto nivel de antagonismo.

En las muestras de P1 se evidenció nivel medio de antagonismo de *Bacillus* spp. y *Lactobacillus* spp. aislados de la planta de café, superior a la de las otras muestras. En P2 *Bacillus* spp. aislados de la planta de menta demostraron medio nivel de antagonismos mientras que *Lactobacillus* spp. evidenció alto nivel de antagonismo. En P3 las muestras de *Bacillus* spp. aislados de la planta de altamisa demostraron nivel medio de antagonismo, mientras que en *Lactobacillus* spp. se comprobó alto nivel de antagonismo ante *Fusarium* sp.

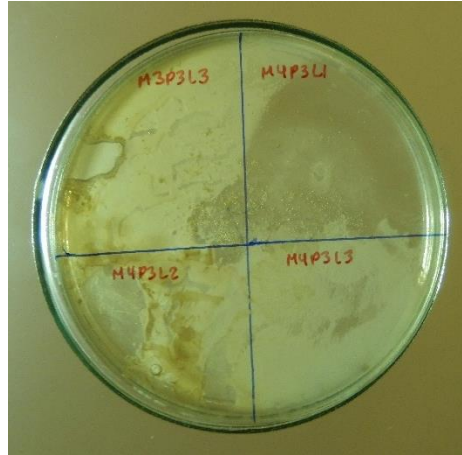
### **Capacidad proteolítica de *Bacillus* spp. y *Lactobacillus* spp.**

Se constató que 71,42% de cepas de *Bacillus* spp. procedentes de las muestras del piso altitudinal 1 presentaron propiedades proteolíticas, mientras que en el segundo piso altitudinal 62,50% de cepas demostraron esta capacidad, en el tercer piso altitudinal 50% de cepas en estudio evidenciaron propiedades proteolíticas.

Con referencia a las propiedades proteolíticas de *Lactobacillus* spp. se determinó que 33,33% de cepas del piso altitudinal uno presenta esta propiedad, mientras que en el piso altitudinal dos 42,85% y en el piso altitudinal tres 60% de cepas estudiadas evidenciaron proteólisis.

En P1 se determinó capacidad proteolítica de *Bacillus* spp. y *Lactobacillus* spp. aislados de los consorcios microbianos de la planta de café, lo cual no se evidenció en las otras muestras. En P2 *Bacillus* spp. y *Lactobacillus* spp. aislados de la planta de menta no demostraron propiedades proteolíticas, en P3 *Bacillus* spp. y *Lactobacillus* spp. obtenidas de la planta de altamisa demostraron capacidad proteolítica (Figura 2).

**Figura 2.** Halo grande en el tratamiento con *Lactobacillus* spp. de la muestra M4P3L1.



### **Recuento de microorganismos en la rizósfera de las plantas de fresa**

Se compararon características biológicas del suelo cultivado con fresa (*Fragaria* sp.) antes de iniciar el cultivo y 120 días después del trasplante.

#### **Recuento de *Bacillus* spp. (UFC.g<sup>-1</sup>)**

La concentración inicial de *Bacillus* spp. fue  $1,70 \times 10^6$  (UFC.g<sup>-1</sup>) y transcurrido 120 días existió variación poblacional en todos los tratamientos de forma heterogénea (Figura 3a).

Se evidencia que transcurrido 120 días existió descenso en los tratamientos T2, T3 y T7, en el suelo del tratamiento T2 bajó a  $9,70 \times 10^5$  (UFC.g<sup>-1</sup>) mientras que en el suelo del tratamiento T4 las unidades formadoras de colonia por gramo de suelo ascendieron hasta  $4,20 \times 10^6$  UFC.g<sup>-1</sup> y fue el valor más alto registrado.

#### **Recuento de *Lactobacillus* spp. (UFC.g<sup>-1</sup>)**

La carga microbiana inicial de *Lactobacillus* spp., en el suelo antes de plantar la fresa fue  $1,00 \times 10^4$  (UFC.g<sup>-1</sup>) pero 120 días después del trasplante se incrementó en todos los tratamientos.

En la Figura 3b, se observa que en el suelo del tratamiento T2 ascendió a  $1,30 \times 10^6$  (UFC.g<sup>-1</sup>) y fue la concentración más alta registrada, mientras que en T8 se verificó únicamente  $1,00 \times 10^5$  (UFC.g<sup>-1</sup>) que fue el registro de unidades formadoras de colonias más bajo comprobado.

#### **Enumeración de *Pseudomonas* spp. (NMP.g<sup>-1</sup>)**

Inicialmente no existió *Pseudomonas* spp. en el suelo de ninguno de los tratamientos, pero luego de iniciado el cultivo se registró presencia de estos microorganismos en el suelo de todos los tratamientos.

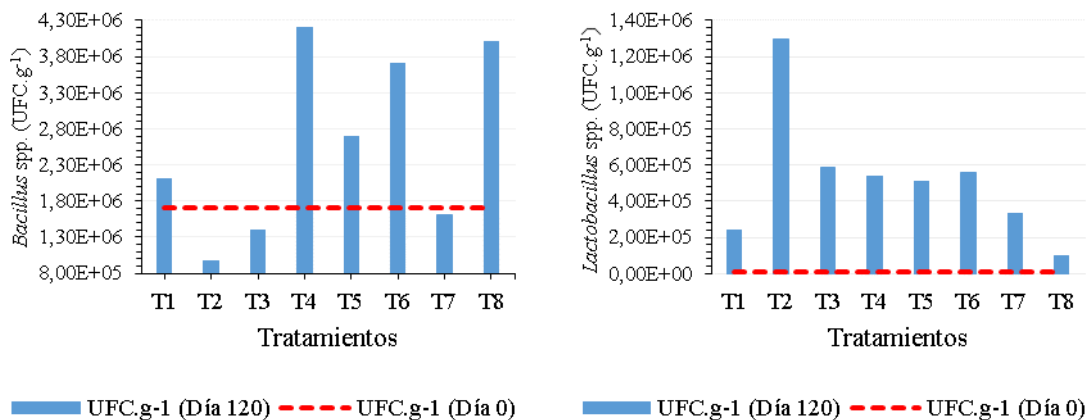
En la Figura 3c, se destaca que en el tratamiento T6 con  $1,10 \times 10^3$  (NMP.g<sup>-1</sup>) de suelo fue el menor valor registrado, mientras que en el tratamiento T5 se verifica  $2,70 \times 10^4$  (NMP.g<sup>-1</sup>) de suelo de *Pseudomonas* sp. que es el valor más alto constatado.

### Recuento de actinomicetos (UFC.g<sup>-1</sup>)

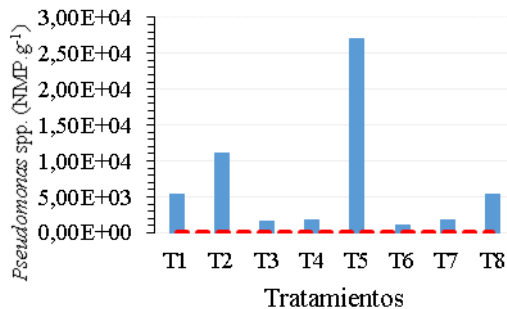
La concentración inicial de actinomicetos fue  $9,30 \times 10^5$  (UFC.g<sup>-1</sup>) de suelo y transcurrido un periodo de 120 días la población aumentó en todos los tratamientos excepto en el suelo del tratamiento T8.

El tratamiento T8 presentó una concentración de  $5,70 \times 10^5$  (UFC.g<sup>-1</sup>) de suelo, mientras el tratamiento T2 mostró  $1,80 \times 10^7$  unidades formadoras de colonias de actinomicetos por cada gramo de suelo y fue la mayor población microbiana registrada (Figura 3d).

**Figura 3:** Recuento de: a) *Bacillus* sp., b) *Lactobacillus* spp. c) *Pseudomonas* spp. y d) actinomicetos, en la rizósfera de las plantas de fresa (*Fragaria* sp.) entre el día cero y 120 días después de iniciado el cultivo.

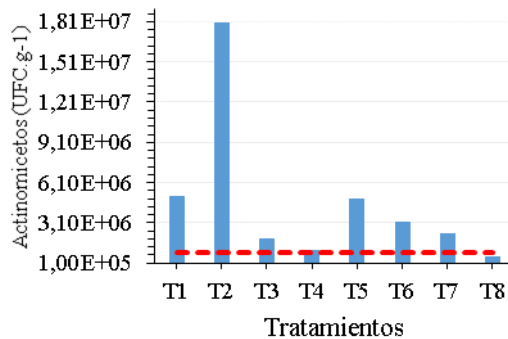


a) b)



■ NMP.g-1 (Día 120)  
 - - - NMP.g-1 (Día 0)

c)



■ UFC.g-1 (Día 120) - - - UFC.g-1 (Día 0)

d)

En la Tabla 2 se constata que la variación poblacional de microorganismos en los diferentes tratamientos es heterogénea. De forma indistinta en los tratamientos T1, T4, T5 y T6 se incrementó la población de *Bacillus spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Pseudomonas spp.* y actinomicetos. En los tratamientos T2, T3 y T7 disminuyó la carga microbiana de *Bacillus spp.*, mientras que en el tratamiento T8 descendió la concentración de actinomicetos.

**Tabla 2:** Variación poblacional de microorganismos en la rizósfera de las plantas de fresa de los diferentes tratamientos

Tratamientos	Microorganismos benéficos			
	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Lactobacillus</i> sp.	<i>Pseudomonas</i> sp.	Actinomicetos
T1	I	I	I	I
T2	D	I	I	I
T3	D	I	I	I
T4	I	I	I	I
T5	I	I	I	I
T6	I	I	I	I
T7	D	I	I	I
T8	I	I	I	D

I= Incremento; D= Disminución

Los microorganismos benéficos en estudio difieren entre sí, en su capacidad antagónica, proteolítica y UFC.ml<sup>-1</sup> probablemente de acuerdo a la planta de la que proceden. Las especies vegetales hospedan tanto fuera como dentro de sus tejidos una amplia diversidad microbiana (Vandenkoornhuyse, Quaiser, Duhamel, Van, & Dufresne, 2015), varios factores como las condiciones ambientales, la fase fenológica, el genotipo del huésped, la presencia o ausencia de enfermedades inciden en los microbiomas de las plantas (Rossmann, Sarango-Flores, Chiamonte, Kmit, & Mendes, 2017), además de las características de la cutícula, de acuerdo a estudios el tamaño de la comunidad bacteriana se relaciona con los componentes cuticulares (Aragón, Reina-Pinto, & Serrano, 2017). Por lo tanto la respuesta a la inoculación de consorcios microbianos en el suelo es diferente en cada uno de los tratamientos (Figura 4), muchos informes indican que la aplicación de inoculantes microbianos puede influir, al menos temporalmente, en las comunidades de los microbios residentes (Trabelsi & Mhamdi, 2013), no son conocidas todas las interacciones microbianas en el suelo, ya que este es un sistema biológico complejo y dinámico en el que es difícil determinar la composición de las comunidades microbianas (Nannipieri et al., 2017), en el suelo existe una amplia riqueza de microorganismos que merece especial atención, debido a que la taxonomía, la ocurrencia y el papel de sus diferentes poblaciones son en gran parte desconocidas (Delmont et al., 2014).

**Figura 4.** Efecto de los consorcios microbianos en los tratamientos, 90 días después de plantada la fresa (*Fragaria* sp.).







En el análisis inicial de suelo se constató que existen microorganismos en el sitio, ya que el suelo es considerado como uno de los entornos con mayor biodiversidad en la Tierra (Delmont et al., 2014), posteriormente la población de microorganismos en la rizósfera de las plantas de fresa (*Fragaria sp.*) cambió de forma heterogénea en todos los tratamientos. Algunos consideran que la población de microorganismos benéficos cultivados e inoculados en los suelos es relativamente pequeña en comparación con los habitantes nativos y que estos pueden ser rápidamente suprimidos por la microflora establecida en él (Higa & Parr, 1994), en las interacciones microbianas en el suelo en estudio existiría una competencia entre microorganismos del sitio y las especies introducidas, sin embargo, los mecanismos de estas interacciones y los procesos que conducen las alteraciones en los microbiomas son, en gran parte desconocidos (Jacoby, Peukert, Succurro, Koprivova, & Kopriva, 2017).

En ciertos tratamientos la inoculación de consorcios microbianos benéficos favoreció el incremento poblacional de *Bacillus spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Pseudomonas spp.* y actinomicetos mientras que en otros disminuyó, inclusive en el tratamiento utilizado como testigo en algunos casos existe un importante incremento poblacional de microorganismos que supera a la de los tratamientos que recibieron inoculación, la tasa de éxito de inóculos en condiciones de campo depende de su interacción antagónica o sinérgica con microbios indígenas (Rashid et al., 2016), además de sus interacciones con las plantas (Nadeem, Ahmad, Zahir, Javaid, & Ashraf, 2014), la inoculación microbiana puede causar cambios tremendos en el número y la composición de los grupos taxonómicos (Trabelsi & Mhamdi, 2013).

En la rizósfera de las plantas de fresa la variación poblacional podría ser el resultado de efectos directos resultantes de competiciones tróficas e interacciones antagónicas/sinérgicas con las poblaciones microbianas residentes, o efectos indirectos mediados por un mayor crecimiento de las raíces (Figura 5) y exudación (Trabelsi & Mhamdi, 2013), un rol fundamental cumple las plantas, ya que a medida que las raíces crecen en el suelo en su mayoría liberan compuestos

solubles que son alimento para los microorganismos, niveles altos de exudados en la rizósfera atraen una gran cantidad de microorganismos en una extensión mayor que en cualquier otro lugar en la tierra (Nihorimbere, Ongena, Smargiassi, & Thonart, 2011), muchas de las interacciones son facilitadas por exudados que son secretados por las raíces de las plantas (Igiehon & Babalola, 2018) que pueden ser colonizadas por una variedad de especies y géneros favorables que promueven el crecimiento vegetativo (Ahmad et al., 2018).

**Figura 5.** Efecto en el desarrollo radicular de los consorcios microbianos en los tratamientos T1, T7 y T8.



El incremento poblacional de microorganismos en el suelo del tratamiento testigo sería consecuencia del hábitat proporcionado por las raíces de plantas de fresa (*Fragaria* sp.) ya que existe evidencia clara de que las plantas dan forma a las estructuras microbianas, probablemente por exudados de la raíz, y también que las bacterias han desarrollado diversas adaptaciones para prosperar en el nicho rizosférico (Jacoby et al., 2017), la presencia de *Pseudomonas* spp., sería consecuencia de la aplicación de riego ya que mediante análisis de laboratorio se constató este microorganismo en el agua utilizada para este propósito.

La aplicación de algunos inoculantes microbianos podría causar un cambio en el equilibrio de las comunidades microbianas del suelo (Alori, Dare, & Babalola, 2017) y la variación poblacional en cada tratamiento estaría relacionado con los géneros y especies de microorganismos presentes en cada consorcio microbiano inoculado y su capacidad de adaptación a las condiciones microbiológicas del suelo cultivado con fresa (*Fragaria* sp.), hay bacterias que son capaces de colonizar muy eficientemente las raíces o el suelo de la rizósfera de las plantas de cultivo (Nihorimbere et al., 2011).

Las investigaciones en la comunidad microbiana debajo y por encima del suelo revelan una gran cantidad de interacciones interesantes dentro de la rizósfera (Igiehon & Babalola, 2018), en

extremo complejas, pero de vital importancia para la salud, forma física y crecimiento de las plantas (Zhang, Vivanco, & Shen, 2017).

### 3. Conclusiones

En el suelo están presentes microorganismos nativos adaptados a las condiciones del sitio, y su población se incrementa fundamentalmente debido a las características y condiciones existentes en la zona de crecimiento de las raíces de donde obtienen los nutrientes necesarios para su desarrollo.

La inoculación de consorcios microbianos benéficos modifica la población autóctona de microorganismos en la rizósfera de las plantas de fresa (*Fragaria* sp.), cada microorganismo tiene un comportamiento poblacional diferente y no existe un patrón común de modificación, lo cual se debería fundamentalmente a la procedencia, la capacidad de adaptación de los géneros y especies de microbios presentes en cada consorcio, así como su respuesta al antagonismo ofrecido por los microorganismos autóctonos.

Debido a la función que cumplen estos habitantes microscópicos en el suelo, la inoculación de consorcios microbianos es positiva ya que mediante varios mecanismos benefician el desarrollo de las plantas, pero es necesario abordar investigaciones dirigidas a estudiar las interacciones microbianas entre los microorganismos nativos y los inoculados en el suelo, así como las especies de cada uno de ellos para entender mejor la variación poblacional.

### Referencias

1. Ahmad, M., Pataczek, L., Hilger, T. H., Zahir, Z. A., Hussain, A., Rasche, F., ... Solberg, S. (2018). Perspectives of Microbial Inoculation for Sustainable Development and Environmental Management. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1–26. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02992>
2. Alori, E. T., Dare, M. O., & Babalola, O. O. (2017). Microbial Inoculants for Soil Quality and Plant Health. *Sustainable Agriculture Reviews*, 12, 281–307. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5961-9>

3. Alvarez, M., Tucta, F., Quispe, E., & Meza, V. (2018). Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria sp.*). *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 33–42.
4. Aragón, W., Reina-Pinto, J. J., & Serrano, M. (2017). The intimate talk between plants and microorganisms at the leaf surface. *Journal of Experimental Botany*, 68(19), 5339–5350. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx327>
5. Bender, S. F., Wagg, C., & Heijden, M. G. A. Van Der. (2016). An Underground Revolution : Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6), 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>
6. Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13(66), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
7. Delmont, T. O., Francioli, D., Jacquesson, S., Laoudi, S., Mathieu, A., Nesme, J., ... Vogel, T. M. (2014). Microbial community development and unseen diversity recovery in inoculated sterile soil. *Biology and Fertility of Soils*, 50(7), 1069–1076. <https://doi.org/10.1007/s00374-014-0925-8>
8. Govindasamy, V., George, P., Raina, S. K., Kumar, M., Rane, J., & Annapurna, K. (2018). Plant-Associated Microbial Interactions in the Soil Environment: Role of Endophytes in Imparting Abiotic Stress Tolerance to Crops. In *Advances in Crop Environment Interaction* (pp. 245–284). [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1861-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1861-0_10)
9. Higa, T., & Parr, J. F. (1994). Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. *International Nature Farming Research Center*, (808), 1–16. Retrieved from <http://www.emro-asia.com/data/66.pdf>
10. Igiehon, N. O., & Babalola, O. O. (2018). Below-ground-above-ground Plant-microbial Interactions: Focusing on soybean, rhizobacteria and mycorrhizal fungi. *The Open Microbiology Journal*, 12(1), 261–279. <https://doi.org/10.2174/1874285801812010261>
11. Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., & Kopriva, S. (2017). The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition—Current Knowledge and Future Directions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>

12. Koch, A., McBratney, A., Adams, M., Field, D., Hill, R., Crawford, J., ... Zimmermann, M. (2013). Soil Security: Solving the Global Soil Crisis. *Global Policy*, 4(4), 434–441. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12096>
13. Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7, 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
14. Lindow, S. E., & Brandl, M. T. (2003). Microbiology of the Phyllosphere. *Microbiology of the Phyllosphere*, 69(4), 1875–1883. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.4.1875>
15. Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., ... Dotaniya, M. L. (2017). Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. *Ecological Engineering*, 107, 8–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058>
16. Mohammadi, K., & Sohrabi, Y. (2012). Bacterial Biofertilizers for Sustainable Crop Production: A Review. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(5), 307–316.
17. Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A., & Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32, 429–448. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
18. Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M., Landi, L., Pietramellara, G., & Renella, G. (2017). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 68(1), 12–26.
19. Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M., & Thonart, P. (2011). Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 15(2), 327–337.
20. Pereg, L., & McMillan, M. (2015). Scoping the potential uses of beneficial microorganisms for increasing productivity in cotton cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 80, 349–358. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.020>
21. Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., & Brevik, E. C. (2017). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.003>

22. Pieterse, C. M. J., Jonge, R. de, & Berendsen, R. L. (2016). Spotlight The soil-borne supremacy. *Trends in Plant Science*, 21(3), 171–173. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.01.018>
23. Rashid, M. I., Mujawar, L. H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I. M. I., & Oves, M. (2016). Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological Research*, 183, 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>
24. Rossmann, M., Sarango-Flores, S. W., Chiaramonte, J. B., Kmit, M. C. P., & Mendes, R. (2017). Plant Microbiome: Composition and Functions in Plant Compartments. *The Brazilian Microbiome*, pp. 7–20. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-59997-7>
25. Schulz, S., Brankatschk, R., Dümig, A., Kögel-Knabner, I., Schloter, M., & Zeyer, J. (2013). The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation. *Biogeosciences*, 10, 3983–3996. <https://doi.org/10.5194/bg-10-3983-2013>
26. Singh, J. S. (2015). Microbes: The chief ecological engineers in reinstating equilibrium in degraded ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 203, 80–82. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.026>
27. Singh, J. S., Pandey, V. C., & Singh, D. P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 339–353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>
28. Thakur, S., Mehta, K., & Sekhar, R. S. (2015). Effect of GA3 and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth , yield and fruit quality of strawberry, *Fragaria x ananassa Duch cv Chandler*. *International Journal of Advanced Research*, 3(11), 312–317.
29. Trabelsi, D., & Mhamdi, R. (2013). Microbial Inoculants and Their Impact on Soil Microbial Communities: A Review. *BioMed Research International*, 2013, 1–11. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1155/2013/863240>
30. Tschardtke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., ... Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>

31. Vandenkoornhuyse, P., Quaiser, A., Duhamel, M., Van, A. Le, & Dufresne, A. (2015). The importance of the microbiome of the plant holobiont. *New Phytologist*, 206, 1196–1206.
32. Vassilev, N., & Mendes, G. de O. (2018). Solid-State Fermentation and Plant-Beneficial Microorganisms. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, 435–450. <https://doi.org/10.3390/su9020224>
33. Vogel, H.-J., Bartke, S., Daedlow, K., Helming, K., Kögel-Knabner, I., Lang, B., ... Wollschläger, U. (2018). A systemic approach for modeling soil functions. *Soil*, 4(1), 83–92. <https://doi.org/10.5194/soil-4-83-2018>
34. Webb, N. P., Marshall, N. A., Stringer, L. C., Reed, M. S., Chappell, A., & Herrick, J. E. (2017). Land degradation and climate change: building climate resilience in agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(8), 450–459. <https://doi.org/10.1002/fee.1530>
35. Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
36. Whipps, J. M., Hand, P., Pink, D., & Bending, G. D. (2008). Phyllosphere microbiology with special reference to diversity and plant genotype. *Journal of Applied Microbiology*, 105(6), 1744–1755. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03906.x>
37. Yadav, I., Singh, J., Meena, B., Singh, P., Meena, S., Neware, S., & Patidar, D. K. (2017). Strawberry Yield and Yield Attributes after Application of Plant Growth Regulators and Micronutrients on Cv . Winter Dawn. *Chemical Science Review and Letters*, 6(21), 589–594.
38. Zhang, R., Vivanco, J. M., & Shen, Q. (2017). The unseen rhizosphere root–soil–microbe interactions for crop production. *Current Opinion in Microbiology*, 37, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2017.03.008>

## References

1. Ahmad, M., Pataczek, L., Hilger, T. H., Zahir, Z. A., Hussain, A., Rasche, F., ... Solberg, S. (2018). Perspectives of Microbial Inoculation for Sustainable Development and Environmental Management. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1–26. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02992>
2. Alori, E. T., Dare, M. O., & Babalola, O. O. (2017). Microbial Inoculants for Soil Quality and Plant Health. *Sustainable Agriculture Reviews*, 12, 281-307. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5961-9>
3. Alvarez, M., Tucta, F., Quispe, E., & Meza, V. (2018). Incidence of the inoculation of beneficial microorganisms in strawberry cultivation (*Fragaria sp.*). *Agricultural Scientia*, 9 (1), 33–42.
4. Aragón, W., Reina-Pinto, J. J., & Serrano, M. (2017). The intimate talk between plants and microorganisms at the leaf surface. *Journal of Experimental Botany*, 68 (19), 5339–5350. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx327>
5. Bender, S. F., Wagg, C., & Heijden, M. G. A. Van Der. (2016). An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31 (6), 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>
6. Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13 (66), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
7. Delmont, T. O., Francioli, D., Jacquesson, S., Laoudi, S., Mathieu, A., Nesme, J.,... Vogel, T. M. (2014). Microbial community development and unseen diversity recovery in inoculated sterile soil. *Biology and Fertility of Soils*, 50 (7), 1069-1076. <https://doi.org/10.1007/s00374-014-0925-8>



8. Govindasamy, V., George, P., Raina, S. K., Kumar, M., Rane, J., & Annapurna, K. (2018). Plant-Associated Microbial Interactions in the Soil Environment: Role of Endophytes in Imparting Abiotic Stress Tolerance to Crops. In *Advances in Crop Environment Interaction* (pp. 245-284). [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1861-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1861-0_10)
9. Higa, T., & Parr, J. F. (1994). Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. International Nature Farming Research Center, (808), 1–16. Retrieved from <http://www.emro-asia.com/data/66.pdf>
10. Igiehon, N. O., & Babalola, O. O. (2018). Below-ground-above-ground Plant-microbial Interactions: Focusing on soybean, rhizobacteria and mycorrhizal fungi. *The Open Microbiology Journal*, 12 (1), 261-279. <https://doi.org/10.2174/1874285801812010261>
11. Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., & Kopriva, S. (2017). The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition — Current Knowledge and Future Directions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
12. Koch, A., McBratney, A., Adams, M., Field, D., Hill, R., Crawford, J., ... Zimmermann, M. (2013). Soil Security: Solving the Global Soil Crisis. *Global Policy*, 4 (4), 434–441. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12096>
13. Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7, 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
14. Lindow, S. E., & Brandl, M. T. (2003). Microbiology of the Phyllosphere. *Microbiology of the Phyllosphere*, 69 (4), 1875–1883. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.4.1875>
15. Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K.,... Dotaniya, M. L. (2017). Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. *Ecological Engineering*, 107, 8–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058>
16. Mohammadi, K., & Sohrabi, Y. (2012). Bacterial Biofertilizers for Sustainable Crop Production: A Review. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 7 (5), 307-316.
17. Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A., & Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop

- productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32, 429-448. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
18. Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M., Landi, L., Pietramellara, G., & Renella, G. (2017). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 68 (1), 12–26.
19. Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M., & Thonart, P. (2011). Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. *Biotechnol Agron Soc Environ.*, 15 (2), 327–337.
20. Pereg, L., & McMillan, M. (2015). Scoping the potential uses of beneficial microorganisms for increasing productivity in cotton cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 80, 349–358. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.020>
21. Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., & Brevik, E. C. (2017). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.003>
22. Pieterse, C. M. J., Jonge, R. de, & Berendsen, R. L. (2016). Spotlight The soil-borne supremacy. *Trends in Plant Science*, 21 (3), 171-173. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.01.018>
23. Rashid, M. I., Mujawar, L. H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I. M. I., & Oves, M. (2016). Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological Research*, 183, 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>
24. Rossmann, M., Sarango-Flores, S. W., Chiaramonte, J. B., Kmit, M. C. P., & Mendes, R. (2017). Plant Microbiome: Composition and Functions in Plant Compartments. *The Brazilian Microbiome*, pp. 7–20. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-59997-7>
25. Schulz, S., Brankatschk, R., Dümig, A., Kögel-Knabner, I., Schloter, M., & Zeyer, J. (2013). The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation. *Biogeosciences*, 10, 3983-3996. <https://doi.org/10.5194/bg-10-3983-2013>
26. Singh, J. S. (2015). Microbes: The chief ecological engineers in reinstating equilibrium in degraded ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 203, 80–82. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.026>

27. Singh, J. S., Pandey, V. C., & Singh, D. P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 339–353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>
28. Thakur, S., Mehta, K., & Sekhar, R. S. (2015). Effect of GA3 and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth, yield and fruit quality of strawberry, *Fragaria x ananassa* Duch cv Chandler. *International Journal of Advanced Research*, 3 (11), 312-317.
29. Trabelsi, D., & Mhamdi, R. (2013). Microbial Inoculants and Their Impact on Soil Microbial Communities: A Review. *BioMed Research International*, 2013, 1–11. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1155/2013/863240>
30. Tschamntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfect, I., ... Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>
31. Vandenkoornhuyse, P., Quaiser, A., Duhamel, M., Van, A. Le, & Dufresne, A. (2015). The importance of the microbiome of the plant holobiont. *New Phytologist*, 206, 1196–1206.
32. Vassilev, N., & Mendes, G. de O. (2018). Solid-State Fermentation and Plant-Beneficial Microorganisms. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, 435-450. <https://doi.org/10.3390/su9020224>
33. Vogel, H.-J., Bartke, S., Daedlow, K., Helming, K., Kögel-Knabner, I., Lang, B., ... Wollschläger, U. (2018). A systemic approach for modeling soil functions. *Soil*, 4 (1), 83–92. <https://doi.org/10.5194/soil-4-83-2018>
34. Webb, N. P., Marshall, N. A., Stringer, L. C., Reed, M. S., Chappell, A., & Herrick, J. E. (2017). Land degradation and climate change: building climate resilience in agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15 (8), 450–459. <https://doi.org/10.1002/fee.1530>
35. Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>

36. Whipps, J. M., Hand, P., Pink, D., & Bending, G. D. (2008). Phyllosphere microbiology with special reference to diversity and plant genotype. *Journal of Applied Microbiology*, 105 (6), 1744-1755. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03906.x>
37. Yadav, I., Singh, J., Meena, B., Singh, P., Meena, S., Neware, S., & Patidar, D. K. (2017). Strawberry Yield and Yield Attributes after Application of Plant Growth Regulators and Micronutrients on Cv. Winter Dawn *Chemical Science Review and Letters*, 6 (21), 589–594.
38. Zhang, R., Vivanco, J. M., & Shen, Q. (2017). The unseen rhizosphere root – soil – microbe interactions for crop production. *Current Opinion in Microbiology*, 37, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2017.03.008>

## Referências

1. Ahmad, M., Pataczek, L., Hilger, T.H., Zahir, Z. A., Hussain, A., Rasche, F., ... Solberg, S. (2018). Perspectivas da inoculação microbiana para o desenvolvimento sustentável e a gestão ambiental. *Fronteiras em Microbiologia*, 9, 1–26. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02992>
2. Alori, E. T., Dare, M. O., & Babalola, O. O. (2017). Inoculantes microbianos para qualidade do solo e sanidade vegetal. *Sustainable Agriculture Reviews*, 12, 281-307. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5961-9>
3. Alvarez, M., Tucta, F., Quispe, E., & Meza, V. (2018). Incidência da inoculação de microrganismos benéficos no cultivo de morango (*Fragaria* sp.). *Agricultural Scientia*, 9 (1), 33–42.
4. Aragão, W., Reina-Pinto, J.J. & Serrano, M. (2017). A conversa íntima entre plantas e microorganismos na superfície da folha. *Journal of Experimental Botany*, 68 (19), 5339-5350. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx327>
5. Bender, S.F., Wagg, C., & Heijden, M.G. A. Van Der. (2016). Uma Revolução Subterrânea: Biodiversidade e Engenharia Ecológica do Solo para a Sustentabilidade Agrícola. *Trends in Ecology & Evolution*, 31 (6), 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>

6. Bhardwaj, D., Ansari, M.W., Sahoo, R.K. & Tuteja, N. (2014). Os biofertilizantes funcionam como protagonistas da agricultura sustentável, melhorando a fertilidade do solo, a tolerância das plantas e a produtividade das culturas. *Microbial Cell Factories*, 13 (66), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
7. Delmont, T. O., Francioli, D., Jacquesson, S., Laoudi, S., Mathieu, A., Nesme, J., ... Vogel, T. M. (2014). Desenvolvimento da comunidade microbiana e recuperação da diversidade invisível em solo estéril inoculado. *Biologia e Fertilidade dos Solos*, 50 (7), 1069-1076. <https://doi.org/10.1007/s00374-014-0925-8>
8. Govindasamy, V., George, P., Raina, S. K., Kumar, M., Rane, J. & Annapurna, K. (2018). Interações microbianas associadas a plantas no ambiente do solo: papel dos endófitos na distribuição da tolerância ao estresse abiótico às culturas. In *Advances in Crop Environment Interaction* (pp. 245-284). [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1861-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1861-0_10)
9. Higa, T. & Parr, J. F. (1994). Microrganismos benéficos e eficazes para uma agricultura e meio ambiente sustentáveis. *Centro Internacional de Pesquisa sobre Agricultura Natural*, (808), 1–16. Obtido em <http://www.emro-asia.com/data/66.pdf>
10. Igiehon, N. O., & Babalola, O. O. (2018). Interações planta-microbianas abaixo do solo acima do solo: Foco na soja, rizobactérias e fungos micorrízicos. *The Open Microbiology Journal*, 12 (1), 261-279. <https://doi.org/10.2174/1874285801812010261>
11. Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A. e Kopriva, S. (2017). O Papel dos Microrganismos do Solo na Nutrição Mineral Vegetal - Conhecimento Atual e Direções Futuras. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
12. Koch, A., McBratney, A., Adams, M., Field, D., Hill, R., Crawford, J., ... Zimmermann, M. (2013). Segurança do solo: resolvendo a crise global do solo. *Global Policy*, 4 (4), 434-441. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12096>
13. Lal, R. (2015). Restaurar a qualidade do solo para mitigar a degradação do solo. *Sustainability*, 7, 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
14. Lindow, S.E., & Brandl, M.T. (2003). Microbiologia da filosfera. *Microbiology of the Philosphere*, 69 (4), 1875-1883. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.4.1875>

15. Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., ... Dotaniya, M. L. (2017). Estratégias de microrganismos rizosféricos benéficos das plantas (PBRM) para melhorar a eficiência do uso de nutrientes: uma revisão. *Ecological Engineering*, 107, 8–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.058>
16. Mohammadi, K. & Sohrabi, Y. (2012). Biofertilizantes bacterianos para produção sustentável de culturas: uma revisão. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 7 (5), 307-316.
17. Nadeem, S.M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A. e Ashraf, M. (2014). O papel das micorrizas e o crescimento de plantas que promovem rizobactérias (PGPR) na melhoria da produtividade das culturas em ambientes estressantes. *Biotechnology Advances*, 32, 429-448. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
18. Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M., Landi, L., Pietramellara, G., & Renella, G. (2017). Diversidade microbiana e funções do solo. *European Journal of Soil Science*, 68 (1), 12–26.
19. Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M. e Thonart, P. (2011). Efeito benéfico da comunidade microbiana da rizosfera no crescimento e na saúde das plantas. *Biotechnol Agron Soc. Environ.*, 15 (2), 327-337.
20. Pereg, L. & McMillan, M. (2015). Escopo dos usos potenciais de microrganismos benéficos para aumentar a produtividade em sistemas de cultivo de algodão. *Biologia do Solo e Bioquímica*, 80, 349-358. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.020>
21. Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., & Brevik, E. C. (2017). Serviços, sustentabilidade, valorização e gestão do ecossistema do solo. *Opinião Atual em Ciência e Saúde Ambiental*, 5, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.003>
22. Pieterse, C.M. J., Jonge, R. de e Berendsen, R. L. (2016). Destaque A supremacia do solo. *Trends in Plant Science*, 21 (3), 171-173. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.01.018>
23. Rashid, M. I., Mujawar, L. H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I. M. I., & Oves, M. (2016). Bactérias e fungos podem contribuir para a biodisponibilidade de nutrientes e a formação de agregados em solos degradados. *Microbiological Research*, 183, 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>

24. Rossmann, M., Sarango-Flores, S. W., Chiaramonte, J. B., Kmit, M. C. P. & Mendes, R. (2017). Microbioma Vegetal: Composição e Funções em Compartimentos Vegetais. *Microbioma brasileiro*, pp. 7-20. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-59997-7>
25. Schulz, S., Brankatschk, R., Dümig, A., Kögel-Knabner, I., Schloter, M., & Zeyer, J. (2013). O papel dos microrganismos em diferentes estágios do desenvolvimento do ecossistema para a formação do solo. *Biogeosciences*, 10, 3983-3996. <https://doi.org/10.5194/bg-10-3983-2013>
26. Singh, J. S. (2015). Micróbios: Os principais engenheiros ecológicos no restabelecimento do equilíbrio em ecossistemas degradados. *Agricultura, Ecosistemas e Meio Ambiente*, 203, 80-82. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.026>
27. Singh, J. S., Pandey, V. C. e Singh, D. P. (2011). Microrganismos eficientes no solo: uma nova dimensão para a agricultura sustentável e o desenvolvimento ambiental. *Agricultura, Ecosistemas e Meio Ambiente*, 140, 339–353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>
28. Thakur, S., Mehta, K. & Sekhar, R. S. (2015). Efeito do GA3 e rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) no crescimento, produção e qualidade dos frutos do morango, *Fragaria x ananassa* Duch cv Chandler. *International Journal of Advances Research*, 3 (11), 312-317.
29. Trabelsi, D. & Mhamdi, R. (2013). Inoculantes microbianos e seu impacto nas comunidades microbianas do solo: uma revisão. *BioMed Research International*, 2013, 1-11. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1155/2013/863240>
30. Tschardtke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfect, I., ... Whitbread, A. (2012). Segurança alimentar global, conservação da biodiversidade e o futuro da intensificação agrícola. *Conservação Biológica*, 151, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>
31. Vandenkoornhuysse, P., Quaiser, A., Duhamel, M., Van, A. Le e Dufresne, A. (2015). A importância do microbioma da planta holobiont. *New Phytologist*, 206, 1196–1206.
32. Vassilev, N. & Mendes, G. de O. (2018). Fermentação em estado sólido e microrganismos benéficos para as plantas. *Desenvolvimentos atuais em Biotecnologia e Bioengenharia*, 435-450. <https://doi.org/10.3390/su9020224>

33. Vogel, H.-J., Bartke, S., Daedlow, K., Helming, K., Kögel-Knabner, I., Lang, B., ... Wollschläger, U. (2018). Uma abordagem sistêmica para modelar as funções do solo. *Solo*, 4 (1), 83-92. <https://doi.org/10.5194/soil-4-83-2018>
34. Webb, N. P., Marshall, N. A., Stringer, L. C., Reed, M. S., Chappell, A., & Herrick, J. E. (2017). Degradação do solo e mudança climática: construindo resiliência climática na agricultura. *Fronteiras em Ecologia e Meio Ambiente*, 15 (8), 450-459. <https://doi.org/10.1002/fee.1530>
35. Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2014). Práticas agroecológicas para a agricultura sustentável. Uma revisão *Agronomia para o Desenvolvimento Sustentável*, 34, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
36. Whipps, J.M., Hand, P., Pink, D. e Bending, G. D. (2008). Microbiologia da filosfera com referência especial à diversidade e genótipo vegetal. *Journal of Applied Microbiology*, 105 (6), 1744-1755. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03906.x>
37. Yadav, I., Singh, J., Meena, B., Singh, P., Meena, S., Neware, S., & Patidar, D. K. (2017). Rendimento e Atributos de Rendimento de Morango Após Aplicação de Reguladores de Crescimento Vegetal e Micronutrientes na Cv. Winter Dawn *Chemical Science Review and Letters*, 6 (21), 589–594.
38. Zhang, R., Vivanco, J.M. & Shen, Q. (2017). As interações raiz - solo - micróbios da rizosfera invisíveis para a produção agrícola. *Opinião Atual em Microbiologia*, 37, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2017.03.008>

©2019 por el autor. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).