

Revisión bibliográfica

Las arvenses como indicador microbiológico del suelo

Yaidelín Díaz-Díaz^{1*} 

Yaisys Blanco-Valdés¹ 

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

*Autor para correspondencia: ydiaz@inca.edu.cu

RESUMEN

En la zona tropical las poblaciones de arvenses son, generalmente, elevadas en los cultivos, las pérdidas en los rendimientos pueden ser irreversibles, si no se establece un conjunto de medidas para su manejo oportuno, pues las mismas aumentan de manera considerable la diversidad de los sistemas agrícolas. La toma de nutrientes del suelo está dada, fundamentalmente, por el crecimiento radical y su interacción con los componentes bióticos y abióticos del suelo, para lo cual temas como la biodiversidad microbiana y su efecto en la calidad del suelo son fundamentales; es por ello, la importancia de los microorganismos en la rizosfera de las plantas que faciliten la promoción del crecimiento vegetal y su utilización biotecnológica, como alternativa para favorecer la sustentabilidad y calidad de los suelos. El objetivo de este trabajo fue analizar temas relacionados con las arvenses, como indicadores microbiológicas del suelo, así como su importancia en los agroecosistemas e impacto en la agricultura.

Palabras clave: microorganismos, rizosfera, biodiversidad y agroecosistema

Recibido: 29/10/2020

Aceptado: 12/04/2021

INTRODUCCIÓN

Las arvenses, en el sentido agronómico, representan plantas sin valor económico o que crecen fuera de lugar, interfiriendo en la actividad de los cultivos, afectando su capacidad de producción y desarrollo normal por la competencia de agua, luz, nutrientes y espacio físico o por la producción de sustancias nocivas para el cultivo⁽¹⁻³⁾. En la zona tropical las poblaciones de arvenses son, generalmente, elevadas en los cultivos y si no se establece un conjunto de medidas para su manejo oportuno, las pérdidas en los rendimientos pueden ser irreversibles. Tales adversidades ocurren si las arvenses crecen junto a los cultivos económicos^(4,5).

Esto indica que las arvenses representan uno de los problemas severos de la agricultura mundial, ya que su acción invasora facilita su competencia con los cultivos, a la vez que pueden comportarse como hospederas de plagas y enfermedades. En Cuba, las poblaciones de arvenses son, por lo general, elevadas en los cultivos y si no se establece un conjunto de medidas para su manejo pueden causar grandes pérdidas⁽³⁾.

Hoy en día se considera que la presencia de diferentes especies de arvenses, dentro de los cultivos, tiene un profundo impacto en la composición e interacciones de la entomofauna del cultivo, a tal punto que los predadores y parasitoides son más efectivos en hábitats complejos; además, los insectos benéficos tienen mayores posibilidades de encontrar presas alternativas, abrigo, sitios para reproducción y refugios para dormancia^(3,6).

Las poblaciones microbianas del suelo están inmersas en un marco de interacción que afecta el desarrollo de las plantas y la calidad del suelo. Ellas están involucradas en actividades fundamentales, que aseguran la estabilidad y la productividad, tanto de los agroecosistemas, como de los ecosistemas naturales⁽⁷⁾.

La actividad microbiana de la rizosfera es, en gran medida, responsable del funcionamiento del ecosistema y de la fertilidad de los suelos agrícolas. Entre los microorganismos benéficos del suelo, tanto los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), como las bacterias rizosféricas promotoras del crecimiento (BRPC), constituyentes claves de la zona rizosférica, contribuyen a mejorar el desarrollo y la nutrición de la planta, así como a incrementar la tolerancia de los cultivos, frente a determinadas situaciones de estrés de tipo biótico o abiótico. La integración de estos microorganismos en los sistemas garantizan la sostenibilidad, contribuyendo a optimizar la calidad y la salud del suelo, limitar el aporte de nutrientes e incrementar los rendimientos⁽⁸⁾.

Por otra parte, las funciones de las arvenses como mejoradoras de los suelos hospedantes y multiplicadoras de la microfauna, son aspectos poco abordados en la literatura internacional. En investigaciones preliminares sobre el tema, algunos autores plantean que existe un espacio de oportunidades para desarrollar investigaciones que expliquen la importancia de las arvenses, por su

presencia equilibradora de los agroecosistemas tropicales (5). Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo fue analizar temas relacionados con las arvenses como indicadores microbiológicas del suelo, así como su importancia en los agroecosistemas e impacto en la agricultura.

Los agroecosistemas. Definición

Con el propósito de brindar una respuesta al grave problema ambiental y socioeconómico, por el uso indiscriminado de los agrotóxicos, la agroecología asume, por objetivo, el conocimiento de los elementos y procesos clave, que regulan el funcionamiento de los agroecosistemas y establece las bases científicas para una gestión eficaz en armonía con el ambiente ⁽⁹⁾.

El agroecosistema se define como un sistema ecológico que cuenta con una o más poblaciones de utilidad agrícola y el ambiente con el cual interactúa. La población es la unidad básica para el estudio del ecosistema y para comprender cómo funcionan las arvenses, es necesario conocer algunos hechos esenciales sobre su estructura (distribución de los individuos por estados funcionales) y sobre su status dinámico (nacimientos, muertes, reproducción) ^(3,10).

Por otra parte, se define como un sistema ecológico que cuenta con una o más poblaciones de utilidad agrícola y el ambiente con el cual interactúa ⁽¹⁰⁾. La comunidad de arvenses presentes en un cultivo, no son más que una parte de un sistema más alto: el agroecosistema, que está formado por componentes muy diversos (cultivos, arvenses, insectos, microorganismos, suelo, clima) que están relacionados íntimamente entre sí y que actúan como una unidad ⁽¹¹⁾.

Biodiversidad en los agroecosistemas

La Agroecología es una ciencia que proporciona normas para comprender la naturaleza de los agroecosistemas y su funcionamiento; de igual forma, aporta los principios ecológicos básicos para el estudio, el diseño y el manejo de los agroecosistemas y que sean, al mismo tiempo, culturalmente sensibles, socialmente justos y económicamente viables ^(5,12).

Los principios básicos de la Agroecología incluyen: el reciclaje de nutrientes y la energía, la sustitución de insumos externos; el mejoramiento de la materia orgánica y la actividad biológica del suelo; la diversificación de las especies de plantas y los recursos genéticos de los agroecosistemas en tiempo y espacio; la integración de los cultivos con la ganadería, mediante el uso de sistemas rotacionales y la optimización de las interacciones y la productividad del sistema agrícola en su totalidad, en lugar de los rendimientos aislados de las distintas especies ^(5,13).

Un agroecosistema debe tener alrededor de 150 especies agrícolas, para ser considerado de buena diversidad. Mientras más diversos son los sistemas productivos, más complejos y estables resultan; cuantos

más componentes biológicos haya en los sistemas, mayores mecanismos de autorregulación habrá y entre mayores sean los mecanismos de autorregulación, mayor será el equilibrio de los sistemas ⁽¹⁴⁻¹⁶⁾.

Uno de los principios básicos de la Agroecología es la biodiversidad, dentro de la cual las arvenses juegan un rol equilibrador y determinante para el buen funcionamiento del agroecosistema ⁽⁵⁾.

Las arvenses en la agricultura

Una arvense es toda planta que se encuentre en un lugar inapropiado, que por sí misma puede ser, en otras situaciones, muy valiosa; es decir, ser útiles en ciertas condiciones e indeseables en otros momentos ⁽¹⁷⁾.

Se consideran como arvenses a todas las plantas superiores, que por crecer junto o sobre plantas cultivadas, perturban o impiden el desarrollo normal, encarecen el cultivo y merman sus rendimientos o la calidad ⁽³⁾.

En general, las especies consideradas, en la actualidad, como arvenses, han conducido a los agricultores a la destrucción permanente de la flora herbácea y arbustiva en forma indiscriminada, sin medir beneficios y consecuencias, ya que es cierto que aumentan los costos por manejo, dificultan y demoran las labores agrícolas, son hospedantes de plagas, reducen el rendimiento de los cultivos y la calidad del producto ⁽³⁾, pero con el manejo adecuado de estas se consigue, además, la protección de los suelos contra la erosión, la regulación de las aguas de escorrentía, la conservación de la biodiversidad genética y la reducción de los costos de los desyerbes hasta un 85 % ⁽¹⁸⁾.

Las arvenses en los últimos 40 años fueron fuertemente combatidas, como estrategia para intensificar la producción de alimentos de diferentes especies de cultivos en el trópico. Como resultado de esa política, la literatura internacional las sitúa entre las principales o principal plaga de los cultivos económicos y; por tanto, han sido atacadas sin contemplación hasta su erradicación mediante disímiles métodos, ya sea por la vía química, la actividad manual del hombre, con implementos mecánicos como el poderoso “machete”, instrumento muy utilizado por el agricultor tropical ⁽¹⁹⁾.

Sin embargo, las arvenses parecen jugar dentro del agroecosistema, un papel mucho más importante de lo que hasta hoy se conoce. Un ejemplo demostrado es que muchas de ellas se desarrollan en áreas sometidas a barbecho y sirven para prevenir la erosión del suelo y reciclar sus nutrientes y minerales ^(3,20). También se ha asegurado que sirven de reservorio de organismos benéficos para el control general de plagas; por ello, el concepto de arvenses es relativo y antropocéntrico, pero en modo alguno constituye una categoría absoluta ^(3,21).

Las arvenses forman parte de una visión holística y que por su demostrada importancia en el agroecosistema, constituyen un determinante indicador de su sostenibilidad. En este sentido casi se ha olvidado clasificar las arvenses atendiendo a sus bondades porque ello implicaría aceptarlas como necesarias. Tal propuesta promovería obrar contrario a la lógica universalizada, con consecuencias adversas, ligadas a la censura y al aislamiento ⁽²²⁾.

Aportes de las arvenses a la fertilidad del suelo

En la naturaleza no existen “malas hierbas”, pero sí plantas “invasoras” que deben percibirse como indicadores ecológicos de gran utilidad para entender el estado de la calidad física, química y biológica de los suelos, debido a que estas favorecen la toma de elementos minerales por la planta, mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como, aportan sustancias estimuladoras del crecimiento para las plantas ^(5,23).

Estas plantas juegan un rol importante en la relación suelo-arvense, ya que, mediante la acción ecológica-fisiológica, pueden mostrarse como indicadoras de las propiedades del suelo por diferentes elementos, ya sea el fósforo, el potasio, el nitrógeno o el humus.

La planta cultivada gastaba mucha energía para establecerse, quizás por deficiencia de nutrientes, pues el suelo se encontraba dominado por gramíneas estoloníferas (que disponen de tallos o estolones a lo largo de la superficie del suelo, raíces en los nodos y producen retoños nuevos), como la *Digitarias anguinalis* (L.) M. Scop, que representa una estructura física deficiente (Tabla 1) ^(5,24).

Existe una diversidad de malezas ya reportadas en la literatura capaces de indicar la calidad del suelo a través de diferentes parámetros (Tabla 2) ^(5,25).

Tabla 1. Enfermedades. Insectos indicadores

Cultivo	Enfermedad o insecto que aparece	Indica deficiencia de
<i>Phaseolus vulgaris</i> L	<i>Bemisia tabaci</i> , Mosaico dorado amarillo (BGYMV)	Calcio
<i>Zea mays</i> L	<i>Agrotis ipsilon</i>	Boro
<i>Zea mays</i> L	<i>Elasmo palpuslignosellus</i>	Zinc

Fuente: ⁽¹⁷⁾

Tabla 2. Plantas indicadoras

Nombre Científico	Lo que indica
<i>Oxalis oxypetra</i> Progel	Suelo arcilloso, pH bajo, falta de calcio o molibdeno
<i>Portulaca oleraceae</i> L	Suelo bien estructurado, húmedo y MO
<i>Echino chloacrus-galli</i> (L) Beauv	Suelo anaeróbico, con nutrientes restringidos a sustancias tóxicas
<i>Carex</i> ssp	Suelo empobrecido con nivel de calcio extremadamente bajo
<i>Amaranthuss</i> sp	Presencia de nitrógeno libre (MO)
<i>Sida</i> ssp	Suelos muy compactados
<i>Bidens pilosus</i> L	Suelos de fertilidad media
<i>Pteridium aquilinum</i> Kuhn	Exceso de aluminio tóxico
<i>Cyperus rotundus</i> L	Suelos ácido a espesos, mal drenados

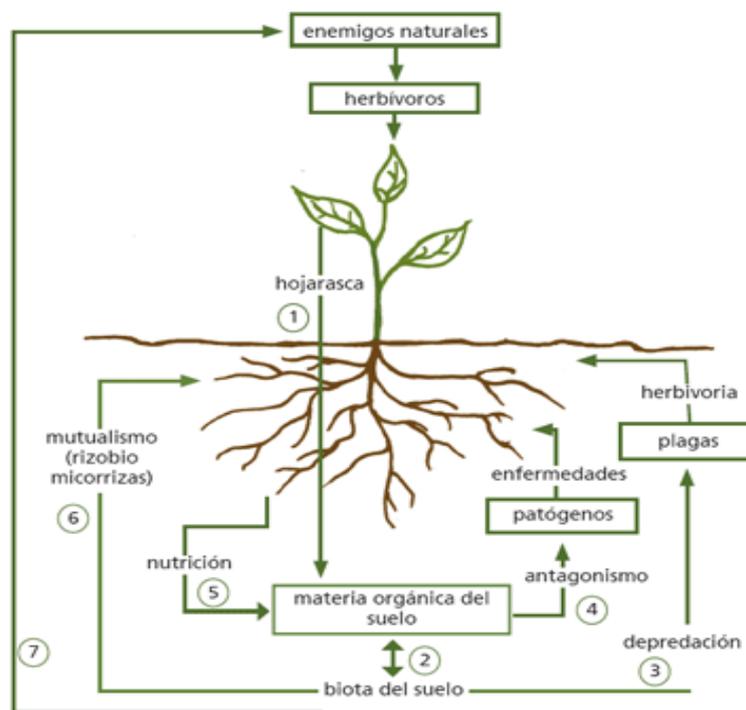
Fuente: ⁽¹⁷⁾

Aportes al equilibrio edáfico

Las prácticas para mejorar la fertilidad de los suelos pueden impactar directamente la susceptibilidad fisiológica del cultivo a los insectos plaga, ya sea al afectar la resistencia al ataque de las plantas individuales o al alterar la aceptabilidad de algunas plantas hacia ciertos herbívoros ⁽²⁶⁾.

Varias investigaciones demuestran que la capacidad de un cultivo de resistir o tolerar el ataque de los insectos plaga y las enfermedades, está ligada a las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo. Suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica, generalmente exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos abundantes que previenen la infección. Por otro lado, las prácticas agrícolas que causan desbalances nutricionales, como la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados sintéticos, bajan la resistencia de las plantas a las plagas ⁽²⁷⁾.

Las plantas funcionan en un ambiente complejo multitrófico, donde generalmente la flora y la fauna del suelo y los organismos de arriba del suelo (cultivos, insectos, otros) interactúan en redes tróficas complejas, con una serie de interacciones que pueden favorecer o desfavorecer la menor incidencia de plagas (Figura 1).



Fuente: ⁽⁵⁾

- (1) Residuos de las plantas incrementan el contenido de materia orgánica (CMO)
- (2) CMO provee el sustrato para la micro, meso y macro fauna del suelo
- (3) Depredadores edáficos reducen las plagas del suelo
- (4) CMO incrementa los antagonistas que suprimen patógenos del suelo
- (5) Mineralización lenta de C y N que activa los genes que promueven la tolerancia de los cultivos a enfermedades
- (6) Mutualistas incrementan la fijación de N, toma de P, eficiencia del uso del agua, otros
- (7) Ciertos invertebrados (coloibolos y detritívoros) sirven de alimento alternativo a enemigos naturales en épocas de menor incidencia de plagas

Figura 1. Vías complejas en las cuales la biodiversidad sobre el suelo interactúa en el agroecosistema

Las comunidades que se encuentran sobre la superficie del suelo se ven afectadas directa e indirectamente por interacciones con los organismos de la red trófica del suelo ⁽²⁸⁾.

Las actividades de alimentación de los descomponedores o detritívoros (básicamente bacterias y hongos) en la red trófica, estimulan el movimiento de nutrientes, la adición de nutrientes por las plantas y el funcionamiento de estas, indirectamente, influyen sobre los insectos que se alimentan de los cultivos ⁽²³⁾.

Ejemplos de plantas arvenses como hospedantes de microorganismos en la rizosfera

La presencia de arvenses dentro o alrededor de los campos de cultivo, influye en la dinámica de este y en las comunidades bióticas asociadas. Los estudios llevados a cabo durante los últimos treinta años, concuerdan en que la manipulación de arvenses específicas, son prácticas particulares del control de arvenses o un sistema de cultivo, que puede afectar la ecología de las plagas de insectos y de los enemigos naturales asociados ^(5,29).

Las arvenses ofrecen muchos recursos importantes a los enemigos naturales, tales como presas u hospederos alternativos, polen o néctar, así como microhábitats que no están disponibles en los monocultivos libres de arvenses ^(5,30).

La diversidad microbiana, asociada a la rizosfera de las arvenses, supone ser una problemática en extremo novedosa e interesante para los trabajos relacionados con la aplicación de principios agroecológicos, dirigidos al manejo y la conservación en los agroecosistemas, dada la elevada diversidad de microorganismos presentes en el suelo y la complejidad de sus interacciones ⁽⁵⁾.

Algunos autores han realizado estudios sobre diferentes especies de arvenses, de ellas, cinco mostraron ser las más integrales al albergar la diversidad edáfica (bacterias, hongos y actinomicetos). Ellas fueron: pata de gallina (*Eleusine indica* (L.)); mastuerzo (*Lepidium virginicum* (L.)); escoba amarga (*Parthenium hysterophorus* (L.)); gigantona (*Milleri aquinqueflora* (L.)) y yerba de Don Carlos (*Sorghum halepense* (L.) Pers.); mientras que el resto se mostró más selectiva. Especies como canutillo (*Commelina diffusa* Burm.), guizazo (*Cenchrus setosus* (L.)), estrella africana (*Cynodon plectostachyus* (K.SCHUM.) Pilg.), *Boerhavia* sp. y romerillo blanco (*Biden pilosa* (L.)), sólo albergaron bacterias, la causa pudiera ser de origen genético ⁽⁵⁾.

Se pone en evidencia las diferencias entre las especies para albergar microorganismos. Así la arvense *C. diffusa* presentó mayores poblaciones de bacterias y hongos totales, comparada con *L. virginicum*; por lo tanto, las especies de arvenses pueden servir para la reproducción microbiana de determinada

especie o para identificar su presencia en los agroecosistemas, ya sean a favor o en contra de los procesos productivos o como fuente de reserva para investigaciones de otra naturaleza ⁽⁵⁾ (Tabla 3).

Tabla 3. Conteo de microorganismos en la rizosfera de las arvenses

Arvenses	Bacterias		Hongos		Actinomicetos	Total
	Cantidad (UFC/g)	Morfotipos	Cantidad (UFC/g)	Morfotipos	Cantidad (UFC/g)	
<i>B. pilosa</i>	2 x 10 ⁵	2	-	-	-	2 x 10 ⁵
<i>Boerhavia</i> sp.	5 x 10 ⁵	5	-	-	-	5 x 10 ⁵
<i>C. diffusa</i>	8 x 10 ⁶	7	5 x 10 ⁴	4	-	8,05 x 10 ⁶
<i>L. virginicum</i>	2 x 10 ⁵	1	6 x 10 ⁴	4	2,4 x 10 ⁵	5 x 10 ⁵
<i>S. halepense</i>	4 x 10 ⁵	3	2x 10 ⁴	2	1,2 x 10 ⁴	4,22 x 10 ⁵
<i>C. dactylon</i>	-	-	1x 10 ²	2	8,2 x 10 ⁴	8,2 x 10 ⁴
<i>M. quinqueflora</i>	5 x 10 ⁵	2	4 x 10 ⁴	2	1,79 x 10 ⁵	7,19 x 10 ⁵
<i>P. hysterophorus</i>	6 x 10 ⁵	3	4 x 10 ⁴	2	1,63 x 10 ⁵	8,03 x 10 ⁵
<i>E. indica</i>	8 x 10 ⁵	2	1,1 x 10 ⁵	2	4,4 x 10 ⁵	1,35 x 10 ⁶
<i>P. oleraceae</i>	1,83x 10 ⁵	8	1 x 10 ⁴	1	-	1,93 x 10 ⁵
<i>C. plectostachium</i>	1,41 x 10 ⁶	7	-	-	-	1,41 x 10 ⁶
<i>C. echinatus</i>	8,6 x 10 ⁴	5	-	-	-	8,6 x 10 ⁴
<i>C. rotundus</i>	5,1 x 10 ⁵	3	10 ⁵	1	-	5,11 x 10 ⁵
<i>A. mexicana</i>	2,4 x 10 ⁵	3	-	-	-	2,4x 10 ⁵
<i>A. dubius</i>	5 x 10 ⁵	2	10 ⁴	1	-	5,1 x 10 ⁵

Fuente: ⁽⁵⁾

Por otra parte, los exudados de las plantas pueden influir de forma determinante en la dinámica de las poblaciones de la rizosfera ^(5,31). El efecto de la diversidad de especies de plantas en la dinámica de las poblaciones de las rizosferas puede ocurrir, porque las especies de plantas presentan diferencias fisiológicas y composiciones bioquímicas distintas, que generan exudados radiculares diferenciales ^(5,32).

En el caso de los HMA están presentes en todos los ecosistemas tropicales, pero su distribución no es homogénea y existen suelos y cultivos donde el potencial micorrízico natural de HMA es muy bajo para promover el desarrollo de las plantas ^(5,33–35); por ello, reconocer las áreas en las cuales las poblaciones de HMA son bajas y así evaluar la contribución que podrían hacer las arvenses que las habitan, pudiera resultar una información de interés para este campo de la ciencia microbiológica.

Se refleja el porcentaje de colonización y densidad visual (variable que refleja con mayor claridad la eficiencia simbiótica), según la distribución de los HMA residentes en la rizosfera de las 10 especies de mayor plasticidad ecológica encontradas en la investigación ⁽⁵⁾ (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de los HMA residentes en la rizosfera de diferentes especies de arvenses

Arvenses	Porcentaje de colonización	Densidad visual
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	12,25 a	0,14 d
<i>Lepidium virginicum</i> (L.)	8,02 cd	0,31 a
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	2,00 ef	0,02 f
<i>Chamaesyce hirsutifolia</i> (L.) Small.	6,7 e	0,02 f
<i>Argemone mexicana</i> (L.)	1,22 f	0,02 f
<i>Echinochloa colonum</i> (L.) Link	10,95 b	0,20 e
<i>Amaranthus dubius</i> Mart.	1,15 f	0,02 f
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	9,20 c	0,27 b
<i>Cyperus rotundus</i> (L.)	7,05 d	0,11 e
<i>Parthenium hysterophorus</i> (L.)	9,12 c	0,31 a
ESx	1,23*	0,009*

Fuente: ⁽⁵⁾

Aunque en el lugar donde se condujo la investigación no se hicieron aplicaciones de HMA y, por tanto, las encontradas corresponden a los HMA residentes, todas las muestras de las raíces de las diferentes especies de arvenses, presentaron colonización micorrízica. La densidad visual aunque fue baja para todos los casos, las arvenses que presentaron mayor significación fueron *P. hysterophorus* y *L. virginicum* ⁽⁵⁾.

El resultado puede estar relacionado con las características del sistema radical de estas arvenses, ya que en el caso de *C. dactylon* presenta un sistema radical profuso. En general, las especies de arvenses con raíces no pivotantes, tienden a presentar mayor colonización ⁽³⁶⁾.

Microorganismos en el suelo

El suelo es habitado por una enorme variedad de microorganismos vegetales (microflora del suelo) y animales (micro fauna del suelo) y aun por organismos animales que van desde dimensiones sub-microscópicas a dimensiones medias e inclusive relativamente grandes (macro fauna). Tantos que su biomasa supera, normalmente, a todos los animales que viven sobre el suelo.

Con el desarrollo de la agricultura sobre bases agroecológicas, se ha incrementado el interés por el estudio de la diversidad biológica del suelo, la cual contempla dos grandes comunidades de organismos edáficos: la microflora, compuesta por bacterias, hongos, actinomicetos, arqueas, cianobacterias, mixomicetos y levaduras (se encuentran diversos grupos tróficos; por ejemplo, las algas son productores primarios (fotosintéticos), mientras que existen hongos descomponedores y otros, incluso, depredadores, como los carnívoros de la “microfauna”) y la fauna, que incluye a la microfauna: individuos entre 0,02 y 0,2 mm de diámetro (son los más pequeños de la fauna del suelo, por lo tanto, se necesita un microscopio para ser visto. Las dos criaturas del suelo más importantes son los nematodos y los protozoos. Los nematodos

se producen ampliamente en los suelos, especialmente en suelos arenosos y dependen de una fina película de agua alrededor de las partículas para su movimiento ⁽³⁶⁾.

En el caso de la macrofauna edáfica que son los organismos mayores a 5 mm de diámetro (considerados los "microingenieros" del suelo), contribuyen a la mejora de las propiedades físicas y químicas del mismo, ya que participan en la aeración, porosidad, infiltración del agua, descomponedores de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes ⁽³⁷⁾. Esta es considerada como la comunidad de los "ingenieros" de los ecosistemas, como se mencionó, ya que contribuyen, notablemente, en el proceso de transformación de los residuos orgánicos del suelo y como activadores de la microfauna edáfica, generando un impacto notable en la fertilidad natural de los suelos; es decir, determinan la abundancia y la estructura de otras comunidades, además de ser indicadores de la salud y de la calidad de los mismos ⁽³⁸⁾.

Gran parte de la productividad de los cultivos está determinada por la fertilidad del suelo ^(39,40). Esa fertilidad puede ser evaluada con base en sus características físicas (densidad, estructura, porosidad, etc.), químicas (actividad de las arcillas, potenciales de óxido-reducción, materia orgánica, etc.) y biológicas (microorganismos que conforman la microflora y microfauna, además de la meso y macrofauna). Las interacciones que se derivan de estas tres características producen cambios significativos en los ciclos biogeoquímicos del suelo y en la disponibilidad de nutrimentos para las plantas; además, estas interacciones permiten que las comunidades vegetales también contribuyan a la estabilidad del suelo como componente integral del ecosistema o agroecosistema en cuestión ⁽⁴⁰⁾.

Papel de los microorganismos del suelo. Biodiversidad microbiana y su efecto en la calidad del suelo

La calidad del suelo es definida por su capacidad para funcionar en un marco de ecosistema natural o modificado, sostener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua, el aire, además de contribuir a la salud humana y habitabilidad. La calidad del suelo está fuertemente influenciada por los procesos microbianos que en él ocurren y estos, relacionados con la diversidad; por tanto, es muy probable que el mantenimiento de la estructura de la comunidad microbiana tenga la capacidad de servir como indicador temprano y de gran sensibilidad de la degradación o empobrecimiento del suelo ^(41,42).

La interacción entre la raíz de la planta y las comunidades microbianas promueve el desarrollo de un ambiente dinámico, conocido como rizosfera ^(43,44). Se define como la porción del suelo que está adyacente al sistema de raíces de una planta y que, a su vez, está influenciada por los exudados de dichas raíces ⁽⁴⁴⁻⁴⁶⁾.

Tanto los exudados, como el material orgánico del suelo depositado por la misma biota, proveen la fuerza necesaria para el desarrollo de la población microbiana activa alrededor de las raíces, lo que se conoce como efecto rizosférico ^(44,46,47). La comunidad de la rizosfera está compuesta, principalmente, por microorganismos no-patógenos ^(44,48); los cuales pueden afectar, de forma positiva, el crecimiento y el desarrollo de la planta, la nutrición, la defensa contra enfermedades, la tolerancia a metales pesados y la resistencia a la degradación de xenobióticos ocasionada por productos químicos de origen natural o sintético presentes en el ambiente ^(43,44).

Ha sido ampliamente demostrado que los microorganismos del suelo interactúan con las raíces de las plantas y constituyentes del suelo en la interfase raíz-suelo. Este gran conjunto de interacciones entre suelo, raíces y microorganismos da lugar al desarrollo de un ambiente dinámico conocido como rizósfera, donde una variedad de formas microbianas pueden desarrollarse activamente y en equilibrio. La rizósfera constituye uno de esos puntos sensibles a la respuesta del cultivo, porque concentra una gran actividad metabólica con intercambio de nutrientes entre la atmósfera y el suelo, la cual es mediada por la acción e interacción de plantas y microorganismos del suelo ⁽⁴²⁾.

Se considera que las plantas constituyen ecosistemas complejos de eucariotas y procariotas que determinan las condiciones del hábitat que los circunda ^(42,49). Los microorganismos de la rizosfera contribuyen al crecimiento vegetal, aumentando la disponibilidad de nutrientes limitantes como el fósforo y el nitrógeno y, a su vez, la composición y la actividad de la comunidad bacteriana, está fuertemente influenciada por el tipo de vegetación presente en el suelo ^(42,50,51).

Uso de microorganismos benéficos como una biotecnología que favorece la sustentabilidad de los ecosistemas

Uno de los factores que permiten alcanzar mayor competitividad en el mercado mundial de los productos agrícolas es la reducción del uso de agroquímicos, cuyo costo depende, en gran medida, del precio del petróleo (especialmente el fertilizante nitrogenado) y cuyo efecto puede tener impactos nocivos sobre el ambiente. La sustitución parcial o total de agroquímicos por microorganismos, manteniendo altos rendimientos del cultivo, es una alternativa valiosa para lograr una producción sostenible y para conquistar mercados exigentes ⁽⁴²⁾.

La utilización de microorganismos benéficos ha tenido una amplia difusión en los últimos años, debido a su efecto positivo sobre el rendimiento de muchos cultivos en distintas situaciones y a la factibilidad de permitir desarrollar una agricultura orgánica ^(42,52,53).

Microorganismos benéficos y su efecto en la productividad

Un número amplio de microorganismos se encuentran en el suelo. La diversidad y el número de los mismos dependen, en gran medida, de la composición y concentración de los nutrientes exudados por las raíces de las plantas ^(54,55). La interacción entre los microorganismos y los cultivos puede ser beneficiosa, dañina o neutral, en ocasiones esto puede variar en función de las condiciones del suelo ⁽⁵⁵⁾.

Para entender el funcionamiento de los agroecosistemas desde el componente microbiológico, es necesario interpretar valores de biomasa y actividad microbiana tendientes a desarrollar estrategias de manejo en los sistemas de producción ^(45,56) y, de esta forma, contribuir al mejoramiento de las prácticas agrícolas y los métodos de conservación de la biodiversidad ^(44,56).

Conocer los integrantes de la comunidad microbiana, asociada al cultivo de interés, es un aspecto de particular atención para desarrollar una floricultura ecológica, ya que es posible favorecer la aplicación de inoculantes sin perjudicar el equilibrio biológico de los suelos. También, el análisis del comportamiento de los hongos y bacterias ante los exudados vegetales, constituye uno de los principios básicos de la interacción planta-microorganismo. Los exudados radicales son utilizados por los microorganismos como fuente nutritiva, influyendo indirectamente en las interrelaciones entre los microorganismos colonizadores, a través de la acción selectiva que ejercen sobre especies o grupos particulares ⁽⁵⁵⁾.

Los HMA son considerados insumos biológicos de enorme potencial en la agricultura, debido a sus efectos positivos sobre la adaptación y el crecimiento de una gran variedad de cultivos. Además, estos microorganismos son componentes clave para el desarrollo de la biota del suelo por su gran capacidad de interacción con diferentes especies microbianas, a la vez que, pueden modificar muchos aspectos de las propiedades físicas en la zona rizosférica (Tabla 5) ^(55,57).

Tabla 5. Abundancia de hongos micorrízicos presentes en la rizosfera de Gergera

Especies de hongos micorrízicos	Esporas g ⁻¹
<i>Glomus hoilike</i>	10,47 a
<i>Glomus mosseaelike</i>	1,76 b
<i>Glomus intraradices</i>	1,08 b
<i>Glomus</i> sp.	0,84 b
<i>Scutello spora</i> sp.	1,27 b
ES(+/-)	0,37

Fuente: ⁽⁴⁸⁾

CONCLUSIONES

- Por todo lo explicado anteriormente se hace necesario desarrollar investigaciones, para demostrar que las arvenses, que siempre han sido consideradas como perjudiciales por su interferencia en los cultivos económicos, estableciendo una marcada competencia con ellos por la luz, el agua, los nutrientes el CO₂ y espacio físico, o por la producción de sustancias nocivas para el cultivo, juegan también un papel beneficioso dentro del agroecosistema. Estas y los microorganismos asociados a la rizosfera de las mismas se podrían utilizar como una herramienta en la biotecnología, para favorecer la sustentabilidad y la calidad de los suelos, sino también como alternativa de biofertilización que repercuta en un beneficio para el cultivo de interés y luego en un beneficio para los productores.
- Se ha podido apreciar la importancia de la actividad de los microorganismos en los diferentes aspectos que denotan la fertilidad de un suelo y la sostenibilidad de los agroecosistemas, permitiendo así que los sistemas agrícolas requieran menos aplicaciones externas y, con ello, se favorece la conservación del recurso suelo.
- Es necesario establecer normas de convivencia, mediante el manejo adecuado de las arvenses en convivencia ínterespecífica con los cultivos, pues está demostrado que la presencia de diferentes especies de arvenses en ellos, mantiene la diversidad edáfica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cerrudo D. Effects of early stress on plant-to-plant variability and grain yield in maize (*Zea mays* L) [Internet]. 2010. Available from: https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/20252/Cerrudo_Diego_MSc.pdf?sequence=1
2. Pitty A. Guia practica para el manejo de malezas. Escuela Agrícola Panamericana; 1991. 222 p.
3. Blanco Y, Leyva A. Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. Cultivos tropicales [Internet]. 2007;28(2):21–8. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217731003.pdf>
4. Vaz Pereira DJCJ. Contribución a la sostenibilidad de la producción de maíz (*Zea mays* L.), en Huambo, Angola a través del manejo agroecológico de las arvenses [Internet] [Thesis]. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 2015 [cited 12/11/2021]. Available from: <http://repositorio.geotech.cu/xmlui/bitstream/handle/1234/3655/Contribuci%C3%B3n%20a%20la%20sostenibilidad%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20ma%C3%ADz%20en%20Huambo%20001-055.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

5. Blanco Valdes Y. Manejo oportuno de los arvenses en sus relaciones interespecíficas con los cultivos del maíz (*Zea mays* L.) y del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en un sistema sucesional [Internet]. Editorial Universitaria; 2017. Available from: <https://www.worldcat.org/title/manejo-oportuno-de-los-arvenses-en-sus-relaciones-interespecificas-con-los-cultivos-del-maiz-zea-mays-l-y-del-frijol-phaseolus-vulgaris-l-en-un-sistema-sucesional/oclc/1019666200>
6. CATIE PRMI de P. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo del maíz [Internet]. Turrialba. Costa Rica; 1990. (Técnica). Available from: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7040e/A7040e.pdf>
7. Richardson AE, Barea J-M, McNeill AM, Prigent-Combaret C. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and soil* [Internet]. 2009;321(1):305–39. Available from: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.727.1665&rep=rep1&type=pdf>
8. del Carmen Jaizme-Vega M, Rodríguez-Romero AS. Integración de microorganismos benéficos (hongos micorrízicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de las Islas Canarias. *Agroecología* [Internet]. 2008;3:33–40. Available from: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/95491>
9. Sans FX. La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas* [Internet]. 2007;16(1). Available from: <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/137>
10. Hoy M, Herzog DC. Biology control in agriculture IPM system [Internet]. Elsevier; 2012. Available from: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=sb5ls0kttqgC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Biology+Control+in+Agriculture+IPM+System&ots=9WXfFM8rhg&sig=6O33F3NMULUF1ZkmiC7mzwZiltg#v=onepage&q=Biology%20Control%20in%20Agriculture%20IPM%20System&f=false>
11. García Torres L, Fernández-Quintanilla C. Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas/por Luis García Torres y César Fernández Quintanilla. [Internet]. Mundi-Prensa; 1991. 348 p. Available from: <https://www.casadellibro.com/libro-fundamentos-sobre-malas-hierbas-y-herbicidas/9788471143310/458756>
12. Gliessman SR, Engles E. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems* [Internet]. CRC Press; 2014. 371 p. Available from: https://books.google.com/cu/books/about/Agroecology.html?id=hoKfXwAACAAJ&redir_esc=y
13. Gliessman SR, Engles E, Krieger R. *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*. CRC press; 1998.
14. Nicholls C. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. *Enfermería Global* [Internet]. 2006;1:37–48. Available from: <https://revistas.um.es/eglobal/article/download/19/7>
15. Jarvis DI, Padoch C, Cooper HD. *Manejo de la Biodiversidad en los Ecosistemas Agrícolas* [Internet]. 2010. Available from: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/104622>
16. Blanco-Valdes Y. El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales* [Internet]. 2016;37(4):34–56. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362016000400003&script=sci_arttext&tln=pt

17. Baker HG. The evolution of weeds. *Annual review of ecology and systematics* [Internet]. 1974;5(1):1–24. Available from: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.es.05.110174.000245?journalCode=ecolsys.1>
18. Altieri M. Ecología y manejo de maleza [Internet]. Vol. Capítulo 14. 1996. 265–280 p. Available from: https://www.agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/LIBRO+CAPITULO+DE+Ecologia+y+manejo+de+maleza.pdf?op=d&ticket_id=8256&evento_id=16965
19. Leyva Galán A, Jurgen Pohlan A. Agroecología en el trópico: Ejemplos de Cuba: La biodiversidad vegetal, como conservarla y multiplicarla. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana (Cuba). *El Colegio de la ...*; 2005.
20. Labrada R, Caseley JC, Parker C. Manejo de malezas para países en desarrollo [Internet]. Vol. 120. *Food & Agriculture Org.*; 1996. Available from: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=i7inikglZZEC&oi=fnd&pg=PA43&dq=Manejo+de+malezas+para+pa%C3%ADses+en+desarrollo&ots=oIErMS1OM8&sig=a1WJRkMSnTyiksaW0xLJGy9lmzs#v=onepage&q=Manejo%20de%20malezas%20para%20pa%C3%ADses%20en%20desarrollo&f=false>
21. Altieri MA, MA A. The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. 1979; Available from: <https://ufdc.ufl.edu/UF00102043/00001>
22. Pawar RK. Weed Management [Internet]. 2009 [cited 1/11/2021]. Available from: <https://www.abebooks.com/Weed-Management-R.K-Pawar-Oxford-Book/4924174607/bd>
23. Nicholls CI, Altieri MA. Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. *LEISA revista de agroecología* [Internet]. 2008;24(2):6–8. Available from: <https://multiversidad.es/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Suelos-saludables.-Plantas-saludables.pdf>
24. Gliessman SR, Rosemeyer M. The conversion to sustainable agriculture: principles, processes, and practices [Internet]. CRC Press; 2009. Available from: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=pzp3NkGik1MC&oi=fnd&pg=PP1&dq=The+conversion+to+sustainable+agriculture:+principles,+processes,+and+practices&ots=teGPBgnl3m&sig=vZc0SjjZirFFMczKHOspLUfOggk#v=onepage&q=The%20conversion%20to%20sustainable%20agriculture%3A%20principles%2C%20processes%2C%20and%20practices&f=false>
25. Primavesi A. Agricultura sustentável: manual do produtor rural, maior produtividade, maiores lucros, respeito à terra [Internet]. Nobel São Paulo, Brazil; 1992. Available from: <https://www.worldcat.org/title/agricultura-sustentavel-manual-do-produtor-rural-maior-produtividade-maiores-lucros-respeito-a-terra/oclc/36213448>
26. Miller ZJ, Menalled FD. Impact of species identity and phylogenetic relatedness on biologically-mediated plant-soil feedbacks in a low and a high intensity agroecosystem. *Plant and Soil* [Internet]. 2015;389(1):171–83. Available from: https://scholarworks.montana.edu/xmlui/bitstream/handle/1/9096/MillerMenalled_PS_12_2014_A1b.pdf?sequence=1

27. Uphoff N, Ball AS, Fernandes E, Herren H, Husson O, Laing M, et al. Biological approaches to sustainable soil systems [Internet]. CRC Press; 2006. Available from: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=lgbOBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=Biological+approaches+to+sustainable+soil+systems&ots=iJwmJ4qwY_&sig=wsOxwX_ZC376emvZ__CxD8vdaQY#v=onepage&q=Biological%20approaches%20to%20sustainable%20soil%20systems&f=false
28. Bainard LD, Koch AM, Gordon AM, Klironomos JN. Growth response of crops to soil microbial communities from conventional monocropping and tree-based intercropping systems. *Plant and Soil* [Internet]. 2013;363(1):345–56. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1321-5>
29. Altieri M, Nicholls C. Agroecología: potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo. *Revista de Economía crítica* [Internet]. 2010;10(2):62–74. Available from: <http://base.socioeco.org/docs/20110210093926617.pdf>
30. Van Driesche R, Hoddle M, Center TD, Ruíz CE, Coronada BJ, Manuel AJ. Control de plagas y malezas por enemigas naturales [Internet]. US Department of Agriculture, US Forest Service, Forest Health Technology ...; 2007. Available from: <https://www.zin.ru/labs/insects/Hymenopt/personalia/Myartseva/pdf/2007a.pdf>
31. Quisehuatl Tepexicuapan E. Comunidades de bacterias y protozoos asociados a la rizosfera de *Azolla filiculoides*, *Lemma gibba* y *Ricciocarpos natans*. 2013; Available from: <https://1library.co/document/myjd3d5y-comunidades-bacterias-protozoos-asociados-rizosfera-azolla-filiculoides-ricciocarpos.html>
32. Grayer RJ, Vieira RF, Price AM, Kite GC, Simon JE, Paton AJ. Characterization of cultivars within species of *Ocimum* by exudate flavonoid profiles. *Biochemical Systematics and Ecology* [Internet]. 2004;32(10):901–13. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305197804000936>
33. Rivera R, Fernandez F. Inoculation and management of mycorrhizal fungi within tropical agroecosystems. Norman Uphoff et al [Internet]. 2006;479–89. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Fernandez-Felix/publication/267324053_Inoculation_and_Management_of_Mycorrhizal_Fungi_within_Tropical_Agroecosystems/links/544a354d0cf2ea6541344172/Inoculation-and-Management-of-Mycorrhizal-Fungi-within-Tropical-Agroecosystems.pdf
34. Rivera R, Fernández F, Fernández K, Ruiz L, Sánchez C, Riera M. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. *Mycorrhizae in crop production* [Internet]. 2007;151–96. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Ramon-Espinosa-3/publication/269993713_Advances_in_the_management_of_effective_arbuscular_mycorrhizal_symbiosis_in_tropical_ecosystems/links/550c4e3f0cf2ac2905a3c2fb/Advances-in-the-management-of-effective-arbuscular-mycorrhizal-symbiosis-in-tropical-ecosystems.pdf

35. Dwivedi OP. Distribution of Arbuscular-mycorrhizal fungi in different cultivars of wheat. *Indian Phytopathology* [Internet]. 2013;66(2):220–3. Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133277306>
36. Robaina N, Socarrás A, Pérez D. Importancia de la cobertura vegetal para el mejoramiento de la diversidad biológica del suelo. *Agricultura orgánica* [Internet]. 2010;16(2):30–1. Available from: http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202010-2/19%20coberturavegetal.pdf
37. Zerbino MS. Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivos-pasturas con laboreo convencional. *Acta zoológica mexicana* [Internet]. 2010;26(SPE2):189–202. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000500014
38. Postma-Blaauw MB, de Goede RGM, Bloem J, Faber JH, Brussaard L. Soil biota community structure and abundance under agricultural intensification and extensification. *Ecology* [Internet]. 2010;91(2):460–73. Available from: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/09-0666.1>
39. Barea JM. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. In: *Advances in soil science* [Internet]. Springer; 1991. p. 1–40. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-3030-4_1
40. Cerrato RF, Alarcón A. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva* [Internet]. 2001;8(2). Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10402108.pdf>
41. Abril A. ¿ Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología austral* [Internet]. 2003;13(2):195–204. Available from: http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/1532
42. Pedraza RO, Teixeira KR, Scavino AF, de Salamone IG, Baca BE, Azcón R, et al. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Revisión. Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [Internet]. 2010;11(2):155–64. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945029007.pdf>
43. Barea J-M, Pozo MJ, Azcon R, Azcon-Aguilar C. Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of experimental botany* [Internet]. 2005;56(417):1761–78. Available from: <https://academic.oup.com/jxb/article/56/417/1761/484466?login=true>
44. Riascos-Ortiz D, Sarria-Villa GA, de Agudelo FV, Gómez-Carabalí A, Mosquera-Espinosa AT. Reconocimiento de hongos con potencial benéfico asociados a la rizosfera de chontaduro (*Bactris gasipaes* HBK) en la región Pacífico del Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica* [Internet]. 2011;60(4):319–27. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169922450004.pdf>
45. Cook RJ. Antagonism and biological control: concluding remarks. 1979; Available from: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALAGROLINEINRA8010253085>
46. Mukerji KG, Manoharachary C, Singh J. Microbial activity in the rhizosphere [Internet]. Vol. 7. Springer Science & Business Media; 2006. Available from:

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=vrJRJO_KfxEC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Microbial+activity+in+the+rhizosphere&ots=NL75VbeMIB&sig=dPwQWVDFt9sKSg_rjxMtWYNbNck#v=onepage&q=Microbial%20activity%20in%20the%20rhizosphere&f=false

47. Whipps JM. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of experimental Botany* [Internet]. 2001;52(suppl_1):487–511. Available from: https://academic.oup.com/jxb/article/52/suppl_1/487/2907083?login=true
48. Alexander M. Introducción a la microbiología del suelo [Internet]. AGT editor México DF, México; 1981. Available from: <http://catalogosuba.sisbi.uba.ar/vufind/Record/201603220240062137>
49. Gray EJ, Smith DL. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes. *Soil biology and biochemistry* [Internet]. 2005;37(3):395–412. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071704003608>
50. Semmartin M, Di Bella C, de Salamone IG. Grazing-induced changes in plant species composition affect plant and soil properties of grassland mesocosms. *Plant and Soil* [Internet]. 2010;328(1):471–81. Available from: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/43945766/Grazing-induced_changes_in_plant_species20160321-13559-1sorwqd-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1636778276&Signature=gD7sWp3n2xKW-TjQryRQFGXOI-wAyDbCkGE4LH7fJGST9Ap14DEjG27WNBiAZAhJJCxjt0~MgRW3-V2~LR-2IDv8c78L97uE3FdJRCuBrA~aRy5kfcPo~vTaIQQ8kVTxAS7RKvyDGRofUHk1SFKngyJ1rGAA46N NQZ08wi55XfZpZYDjmcI2U5~Yu9T2FNnbRXDvV3mwItyWWEgtDXCZ0d6xXtVt-L7XnHBBFkgDKNA4A6xGPltfldEyqcCLkXrYjPD0HY1avuD-YN6LYxWF7KytAC29S3jdBl6xGcpDqgVMOWBvL5UsGw2oRu8rXPQHRsOIL2d-rza3JckaQWj6g__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
51. Thomson BC, Ostle N, McNamara N, Bailey MJ, Whiteley AS, Griffiths RI. Vegetation affects the relative abundances of dominant soil bacterial taxa and soil respiration rates in an upland grassland soil. *Microbial ecology* [Internet]. 2010;59(2):335–43. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00248-009-9575-z>
52. Caballero Mellado J. Uso de *Azospirillum* como alternativa tecnológica viable para cultivos de cereales. En: *Biología del Suelo. Transformación de la materia orgánica. Usos y biodiversidad de los organismos edáficos*. de Asconegui, MA, García de Salamone, IE, Miyazaki, SS (Eds.) pp.(45-49). FAUBA. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 2004;
53. Cassán FD, Garcia de Salamone I. *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. *Asociación Argentina de Microbiología, Argentina* [Internet]. 2008;266. Available from: https://www.researchgate.net/publication/215588669_Azospirillum_Cell_physiology_plant_response_agronomic_and_environmental_research_in_Argentina
54. Wamberg C, Christensen S, Jakobsen I, Müller AK, Sørensen SJ. The mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) affects microbial activity in the rhizosphere of pea plants (*Pisum sativum*). *Soil Biology and*

- Biochemistry [Internet]. 2003;35(10):1349–57. Available from:
https://www.researchgate.net/profile/Soren-Sorensen-6/publication/222691180_Wamberg_C_Christensen_S_Jakobsen_I_Muller_AK_Sorensen_SJ_The_mycorrhizal_fungus_Glomus_intraradices_affects_microbial_activity_in_the_rhizosphere_of_pea_plants_Pisum_sativum_Soil_Biol_Biochem_35_1349-/links/5b029b6f4585154aeb0695a4/Wamberg-C-Christensen-S-Jakobsen-I-Muller-AK-Sorensen-SJ-The-mycorrhizal-fungus-Glomus-intraradices-affects-microbial-activity-in-the-rhizosphere-of-pea-plants-Pisum-sativum-Soil-Biol-Biochem-35-1.pdf
55. Soroa-Bell MR, Hernández-Fernández A, Soto-Carreño F, Terry-Alfonso E. Identificación de algunas especies de microorganismos benéficos en la rizosfera de gerbera y su efecto en la productividad. Revista Chapingo. Serie horticultura [Internet]. 2009;15(SPE):41–8. Available from:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2009000400007&script=sci_arttext
56. Morgan JAW, Bending GD, White PJ. Biological costs and benefits to plant–microbe interactions in the rhizosphere. Journal of experimental botany [Internet]. 2005;56(417):1729–39. Available from:
<https://academic.oup.com/jxb/article/56/417/1729/484470?login=true>
57. Riera M, Medina N. Influencia de las micorrizas sobre las poblaciones bacterianas y su efecto sobre los rendimientos en secuencias de cultivos. Cultivos Tropicales [Internet]. 2005;26(4):21–7. Available from:
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193216160003.pdf>