

Diversidad de microorganismos  
asociados a las plantas:  
conocimiento y uso en la agricultura



Yo soy UCO,  
evoluciono

Ph.D. Dagoberto Castro R  
Universidad Católica de Oriente

Juntos,  
somos más que dos



# Agenda



01

Introducción

02

Rizobioma

03

Filosfera

04

Bioprospección y uso comercial de microorganismos

05

Endófitos

Yo soy UCO,  
evoluciono

# Los pesticidas de síntesis química y la trasgresión de los límites planetarios

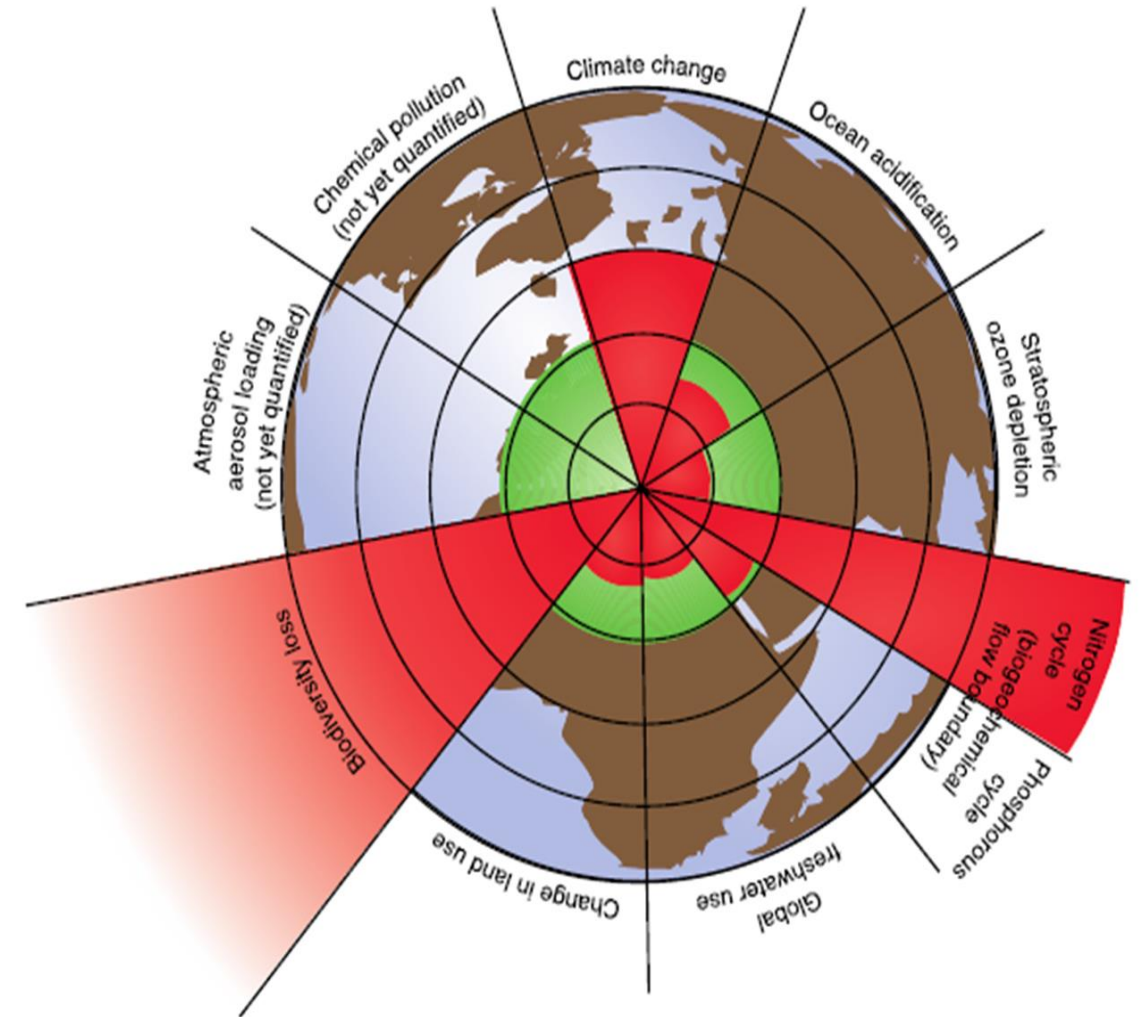


Límites planetarios  
Jeffrey, Sachs

## Efectos toxicológicos:

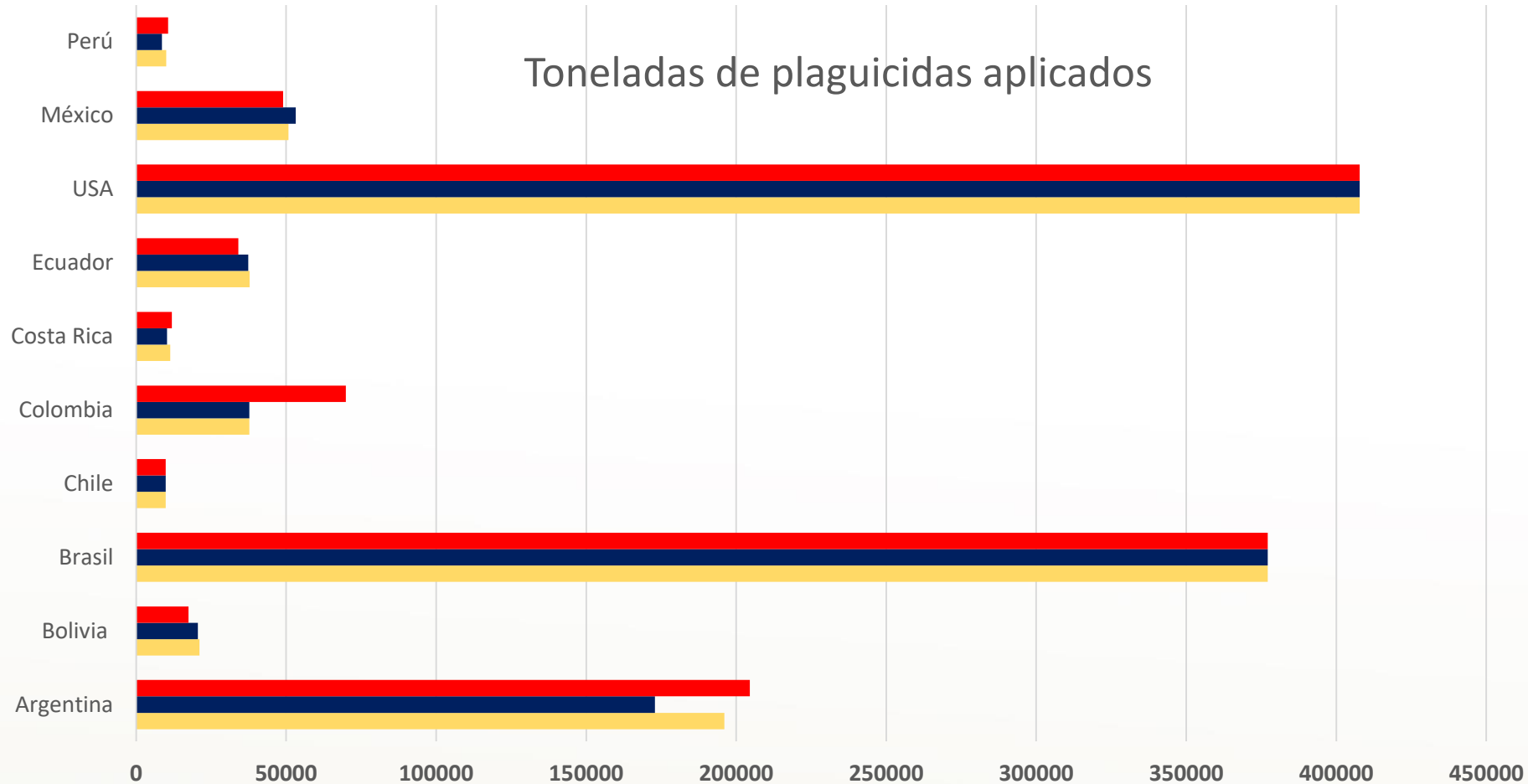
- Agudos
- Crónicos (carcinogenicidad, neurotoxicidad, disrupción endocrina, genotoxicidad)
- 200.000 muertes por intoxicación aguda al año en el mundo (Máns, 2013)

**Ecotóxicológicos:** gases invernadero, uso excesivo P,N, pérdida biodiversidad, acidificación suelos  
- 2982 empresas registradas en Colombia



Yo soy UCO,  
evoluciono

# Uso de pesticidas en Colombia



De acuerdo con el ICA (2017) Colombia importó 43.3 millones de litros y 34.7 millones de kilos. Las ventas actualmente se estiman en US 600 millones

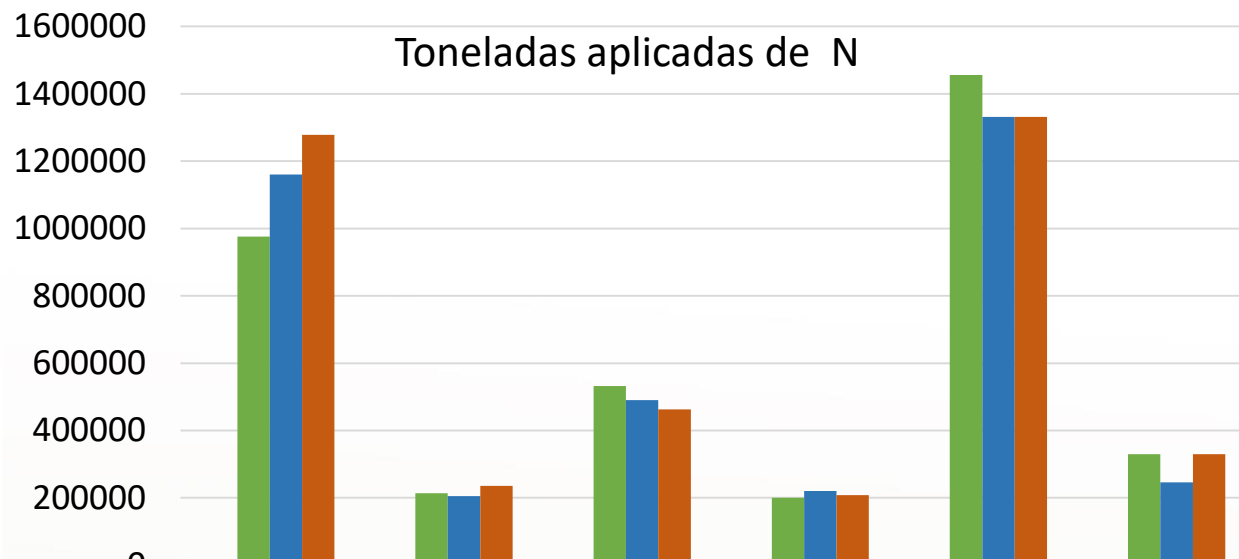
	Argentina	Bolivia	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Ecuador	USA	México	Perú
■ 2019	204559	17453	377176	9831	69862	11866	34081	407779	48989	10636
■ 2018	172928	20549	377176	9831	37773	10285	37408	407779	53144	8618
■ 2017	196009	21070	377176	9831	37699	11397	37808	407779	50802	10037

Yo soy UCO,  
evoluciono

# Uso de fertilizantes en Colombia

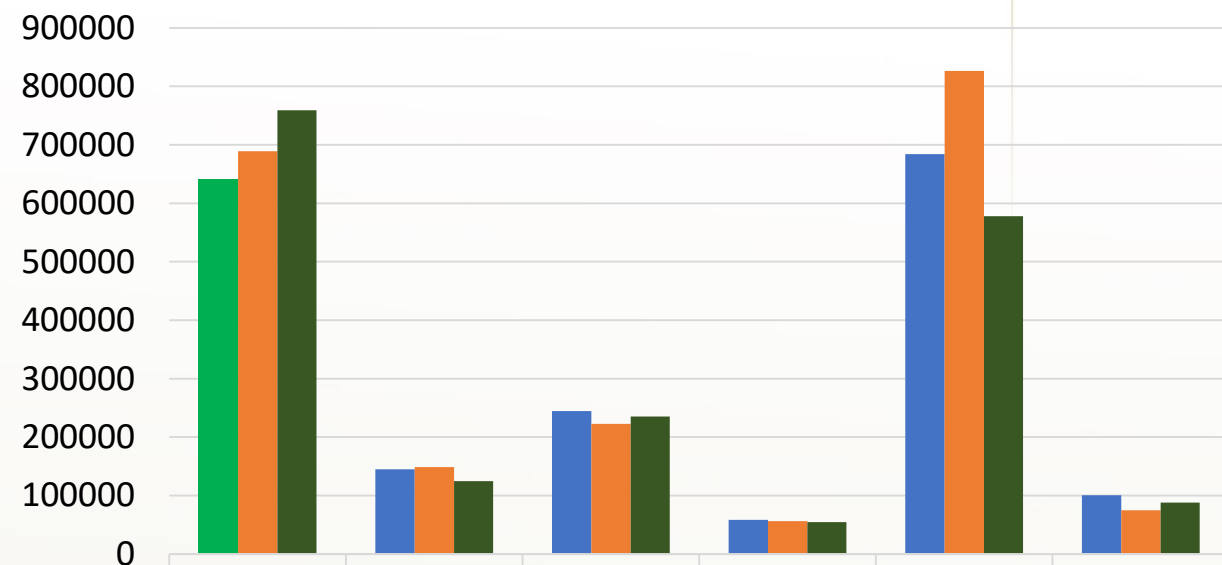


Toneladas aplicadas de N



	Argentina	Chile	Colombia	Ecuador	México	Perú
■ Año	2017	2017	2017	2017	2017	2017
■ 2017	975843.08	213986.37	532467.51	200593.86	1455988.9	330068.39
■ 2018	1160519.5	205522.83	490329.17	219923.07	1331837.2	246045.91
■ 2019	1278498.8	235689.85	462365.73	208212.58	1331837.2	329921.65

Toneladas aplicadas de P



	Argentina	Chile	Colombia	Ecuador	México	Perú
■ 2017	640480.16	144635.27	244533.59	58146.34	683973	100297.88
■ 2018	689062.77	148927.97	222604.43	56130.21	826309	74965.26
■ 2019	758871.33	124649.89	234974.24	54721.62	578027.4	87974.94

Yo soy UCO,  
evoluciono

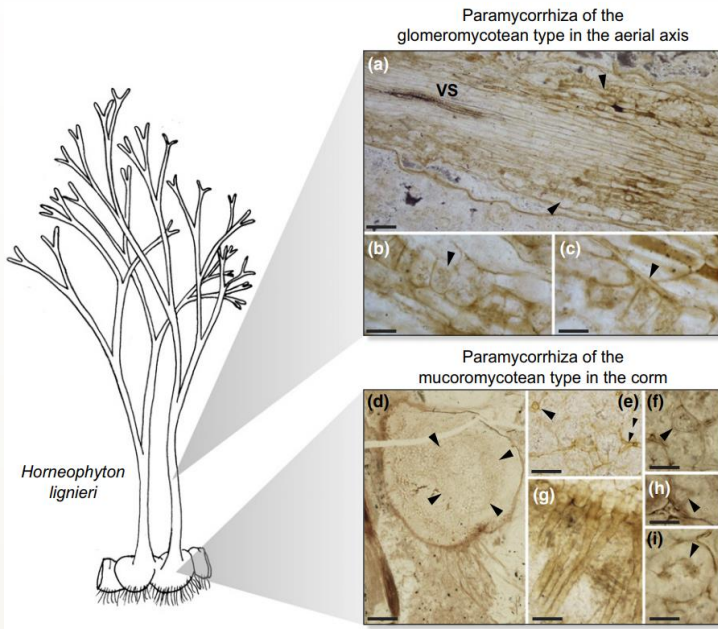
FAOSTAT, 2021



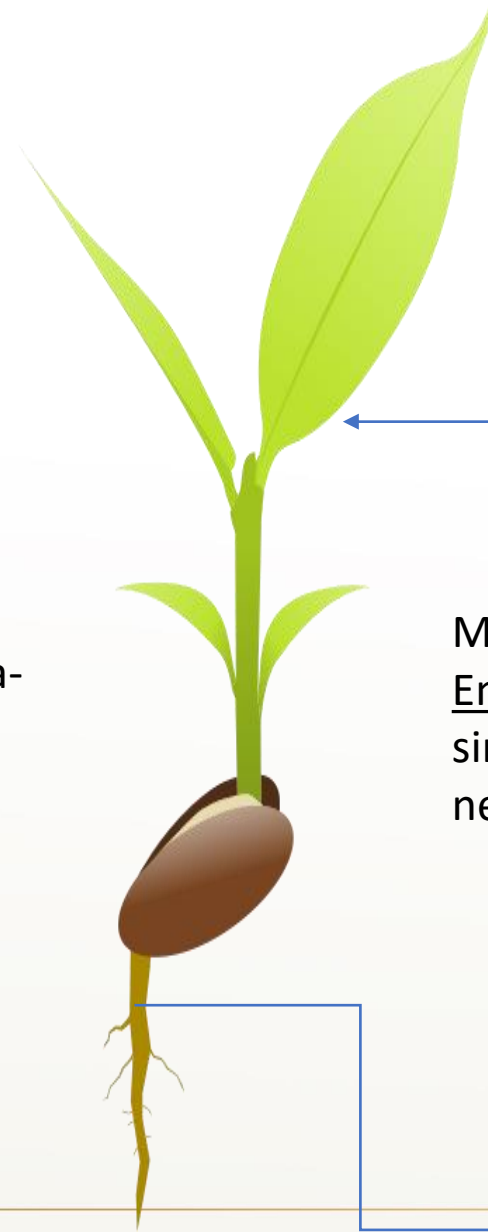
# Plantas y microorganismos una simbiosis ancestral



Malloch (1975) planteó la hipótesis de que "las plantas terrestres son el producto de una simbiosis antigua y continua de un alga verde ancestral semiacuática y un hongo acuático (...), y de hecho la evolución misma de las plantas sólo fue posible a través de tales asociaciones mutualistas".



La evidencia fósil directa más temprana de interacciones planta-hongos proviene del Chert Rhynie de 407 millones de años (Trewin & Rice, 2004)



Filosféricos

Microorganismos Epífitos y Endófitos: saprófitos simbiotes, parásitos, neutrales

Rizosféricos

Yo soy UCO, evoluciono

# Diversidad microbial de los suelos



Arqueas

Protozoos

organismos unicelulares, 10.000 a 100.000 / g de suelo

Algas

100 a 10.000 g/suelo.  
Aportan a la fertilidad del suelo, previenen la erosión

Bacterias

Se estima que un gramo de suelo contiene alrededor de 90 – 100 ( $9 \times 10^7$ ) millones de **bacterias** y localizados en la rizosfera (Glick, 2018). La relación con plantas se inició hace 80 a 100 millones de años

Hongos

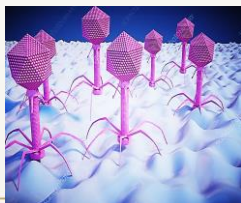
Algunos hongos iniciaron su desarrollo hace 450 millones de años (200.000/gr suelo) (Micorrizas vegetales y endófitos)

- Descomponedores
- Mutualistas
- Parásitos

Actinomycetes

1 – 100 millones / gramo de suelo. Intermedios entre hongos y bacterias. Participan en la formación de humus

¿Los virus? (especialmente bacteriófagos) se estiman en (cien millones/gr)  $1 \times 10^8$  (Roy et al., 2020)



Microartrópodos (colémbolos y ácaros); además lombrices, insectos y otros

Nematodos: fitoparásitos y saprobios

Qué efectos puede tener el uso de pesticidas y fertilizantes en el suelo?



# Rizobioma: rizosfera microbiana que comprende microorganismos asociados a la raíz

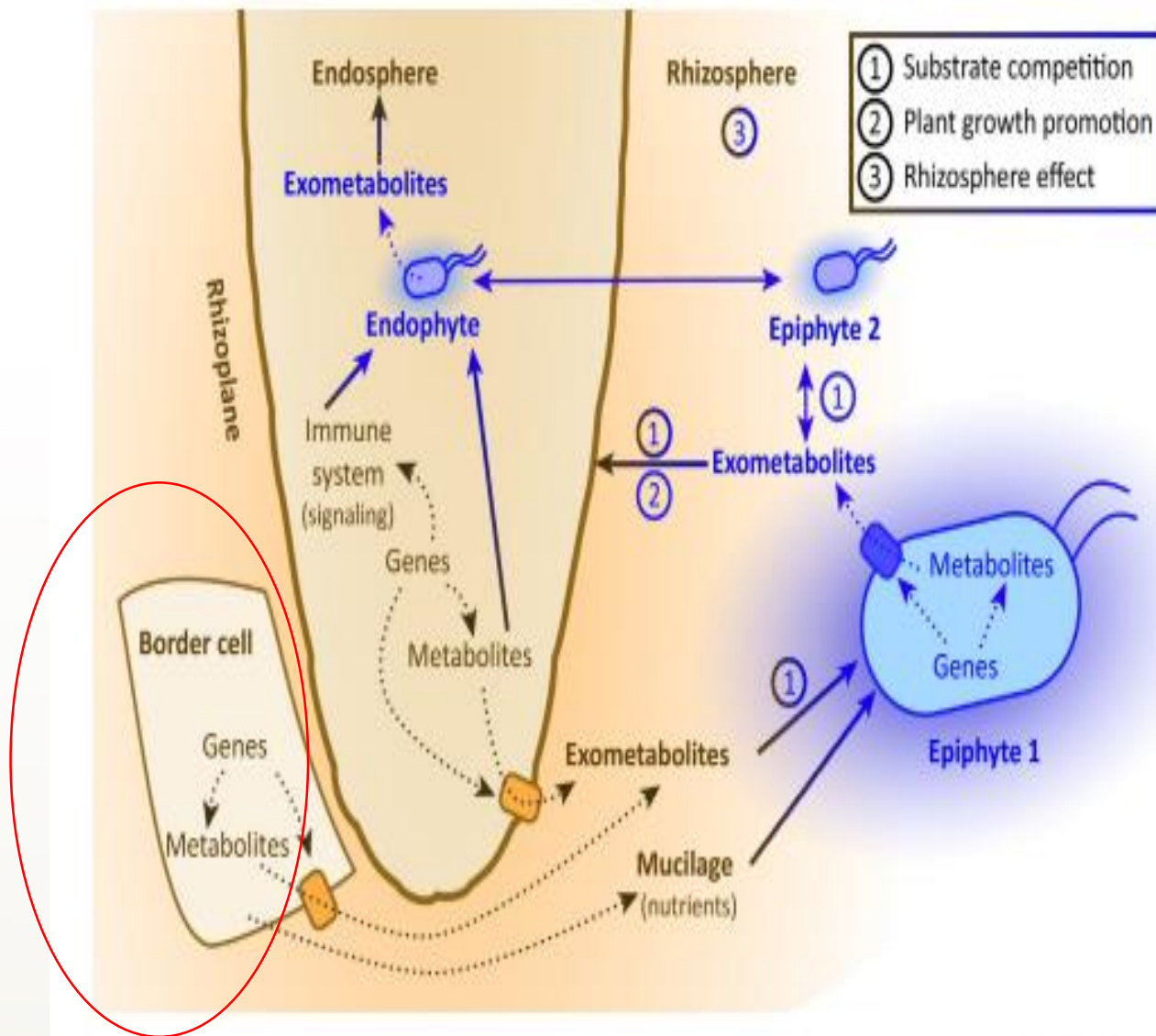


La zona de maduración se asocia con descomponedores

La zona de elongación es colonizada por *Bacillus subtilis*

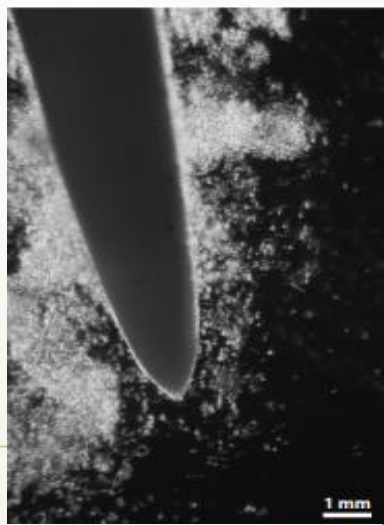
La zona apical está relacionada con un alto número de bacterias activas.

Células fronterizas o de borde liberan flavonoids que atraen *Rhizobium*, hifas de micorrizas y arabinogalactonas que inducen a la formación de biofilmes.



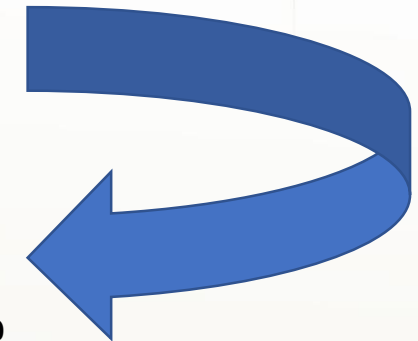
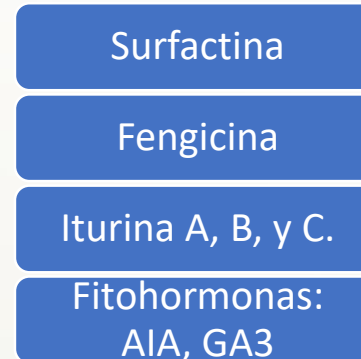
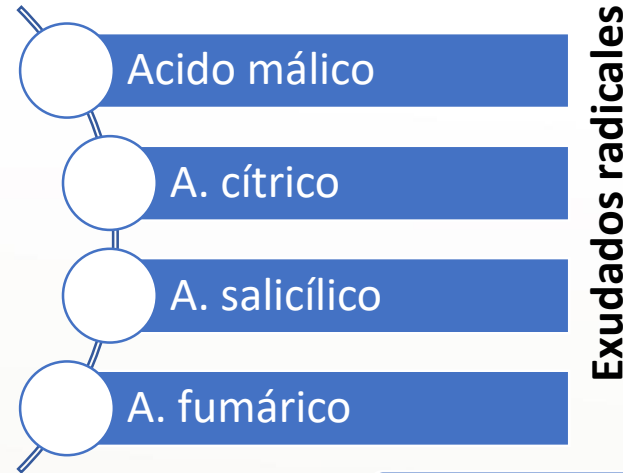
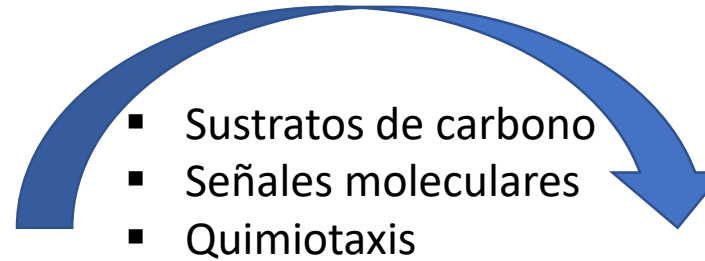
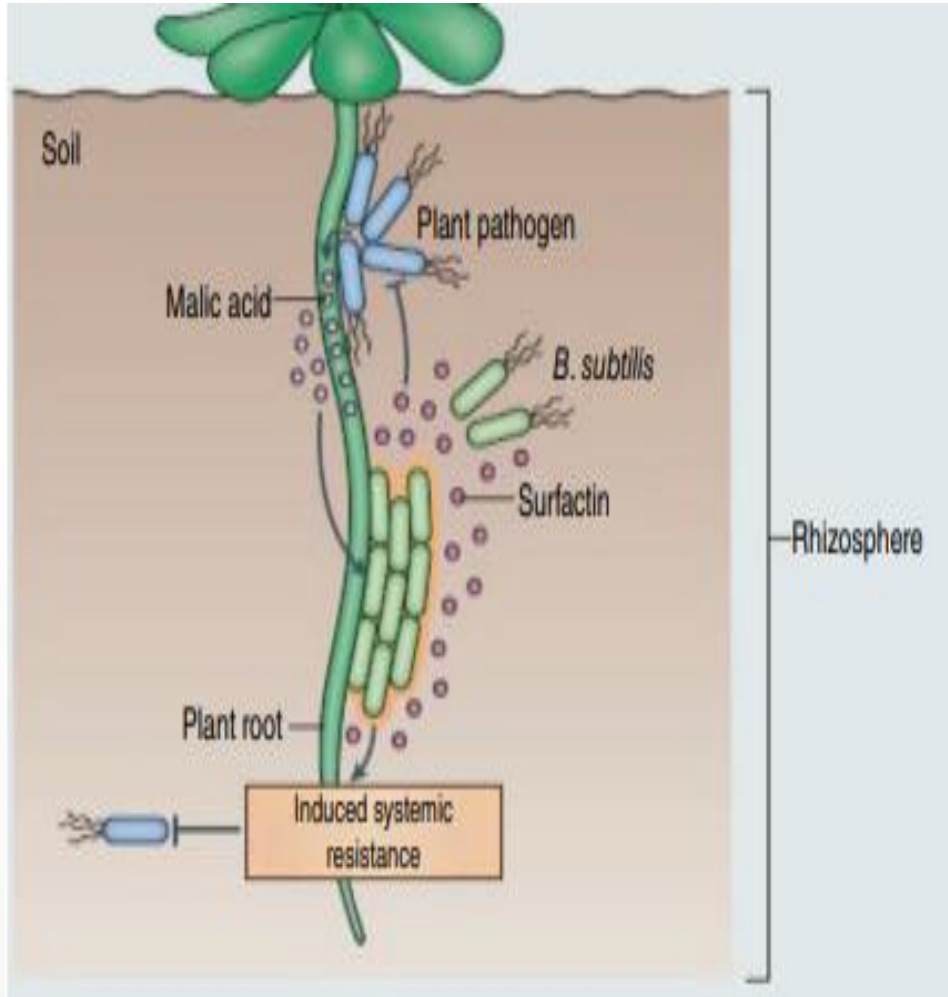
Tomado de: Sasse et al., 2018

Trends in Plant Science





# Exudados radicales: señales y fuente de nutrientes a los microorganismos

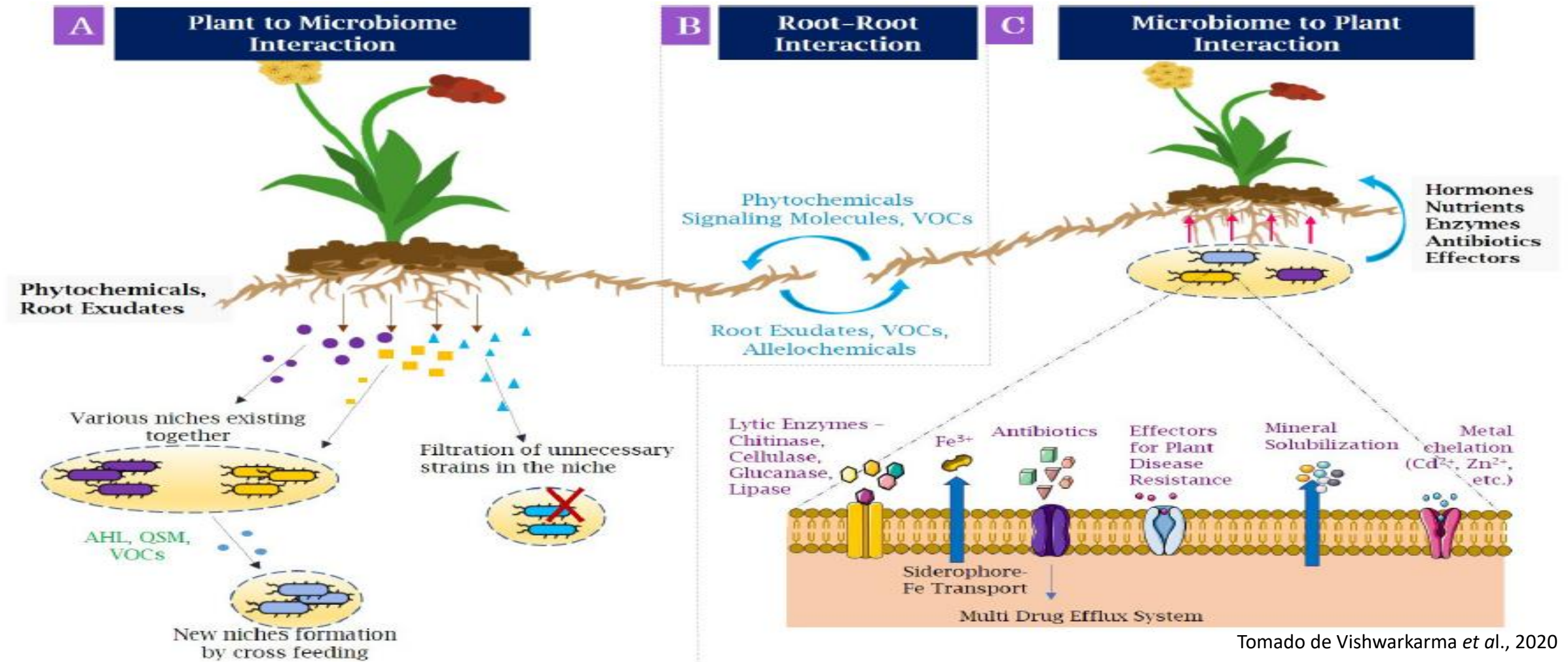


Formación de Biofilmes de bacterias en raíces de *A. thaliana*.  
Imagen de: Nature reviews microbiology 2013 (42)

Yo soy UCO,  
evoluciono

Adaptado de  
Dwivedi et al, 2017.

**Interacciones en la rizosfera. A) Interacciones planta – microbioma. B) Interacciones raíz – raíz. C) Interacciones microbioma – planta (Vishwakarma et al, 2020)**

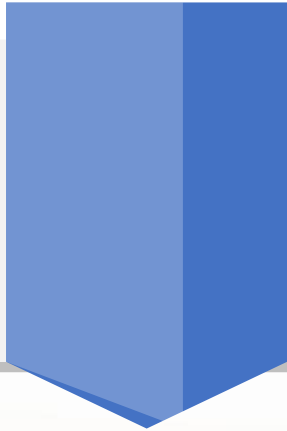


Estos aspectos permiten la posibilidad de diseñar y modelar arquitecturas de los sistemas radiculares con base al uso de autoinductores de origen bacteriano y sintéticos, que permitan una mejor adaptación de la planta a los diferentes ambientes y condiciones de cultivo

# Funciones de los microorganismos en el suelo:



## Actinomicetos



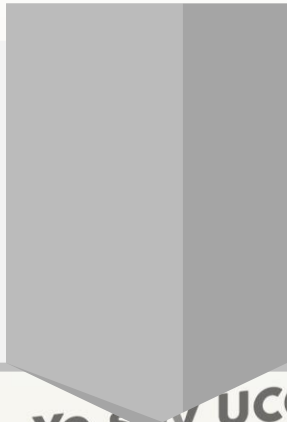
Degradación todo tipo de sustancias orgánicas (celulosa, polisacáridos, grasas, descomposición del humus. Producción de antibióticos (estreptomycina, terramicina). Como patógeno: Roña de la papa

## Bacterias



Descomponedoras  
Fijadoras de N  
Solubilizadoras de P, K  
Rizobacterias promotoras de crecimiento  
SAR, ISR

## Hongos



Saprófitos (descomponedores)  
Parásitos  
Mutualistas (simbiosis)  
Solubilización de P,K.

## Arqueas

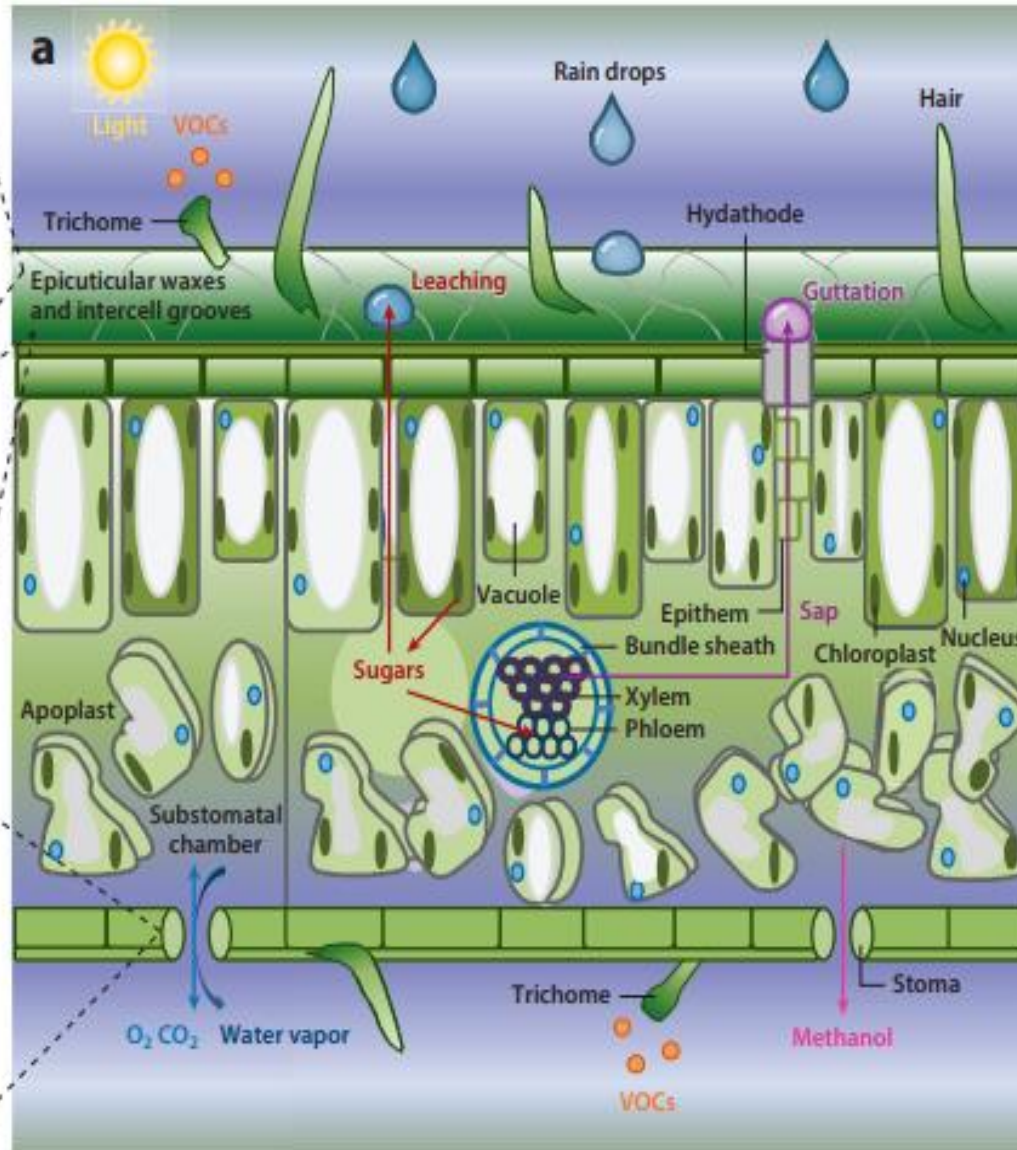
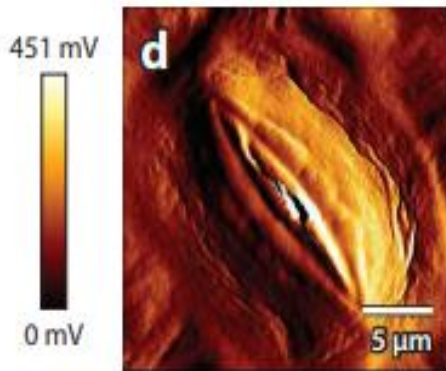
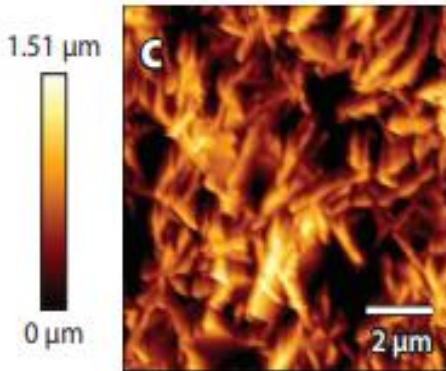
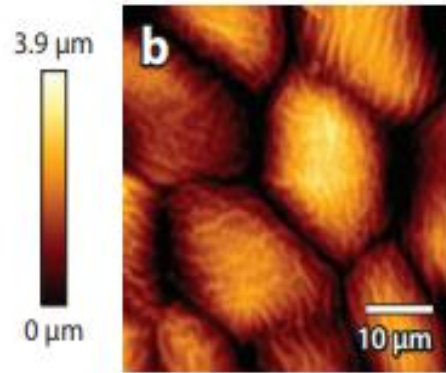


Ciclos de N, P, Saprófitos (descomponedores)  
Parásitos  
Mutualistas (simbiosis)  
Solubilización de P,K, C, S  
Estrés abiótico  
PGP, ISR



# Comunidades microbiales de la Filosfera - CMF

Bacterias, arqueas, hongos filamentosos, líquenes, briofitos, levaduras, protozoos + **patógenos e insectos**



Parte aérea

Capa límite

Filosfera lado adaxial

Cutícula

Epidermis

Mesófilo de empalizada

Endosfera foliar

Mesófilo esponjoso

Epidermis

Cutícula

Filósfera lado abaxial

Capa límite

Zona aérea

Yo so  
ev

Tomado de Vacher *et al.*, 2016.



# Tipos de bioinsumos

**Biofungicidas:** están compuestos de microorganismos beneficiosos tales como hongos o bacterias que actúan sobre enfermedades. p.e. *Trichoderma, Lecanicillium*

**Bioinsecticidas:** Microorganismos que ejercen control en insectos. *Beauveria, Metarhizium, Lecanicillium*

**Bioherbicidas:** Microorganismos y metabolitos primarios y secundarios para el control de arvenses. P.e. *Myrothecium verrucaria*

**Bionematicidas:** microorganismos y parásitos para el control de nematodos *Purpureocillium [Paecilomyces] lilacinus.*

**Biomolusquicidas:** Microorganismos para el control de moluscos (babosas y caracoles): *Pochonia* sp.

**Bioalgicidas:** microorganismos para el control de algas

**Biobactericidas:** microorganismos para el control de bacterias. *Bacillus subtilis, B. pumilus, B. thuringiensis, Pseudomonas*

**Biorracionales:** extractos vegetales, semioquímicos, endófitos.

**Biofertilizantes / Biorremediación :** Solubilizadores de P, K, Transportadores de P. / Precipitación, lixiviación, biosorción.

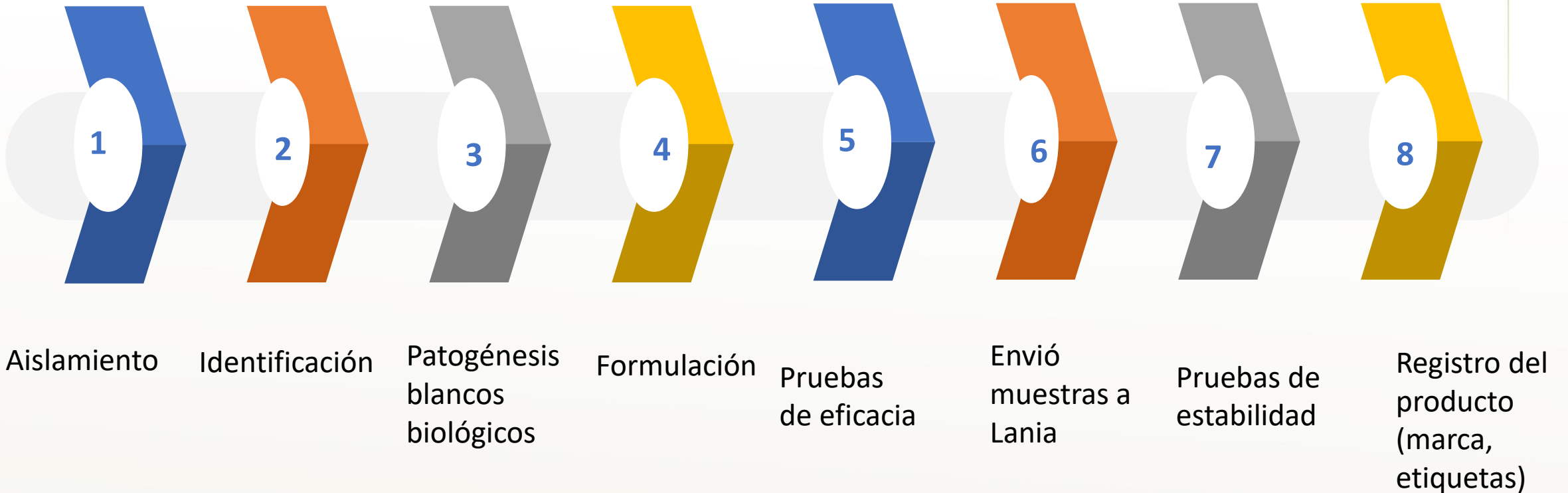
239  
empresas  
productoras  
de  
bioinsumos  
registradas  
en  
Colombia

# Estudio de caso: bioprospección y uso comercial de microorganismos entomopatógenos



## Marco normativo:

- Convenio de diversidad biológica (CDB) /1992
- Decisión Andina 391/1996
- Resolución 068370/2020 Registro bioinsumos de uso agrícola



Yo soy UCO,  
evoluciono

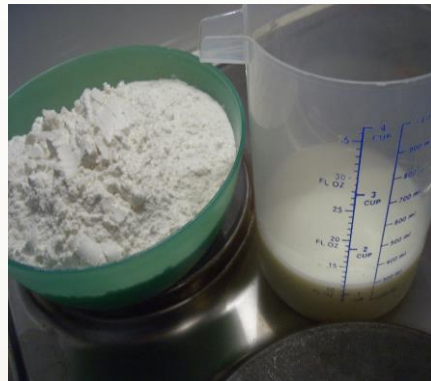
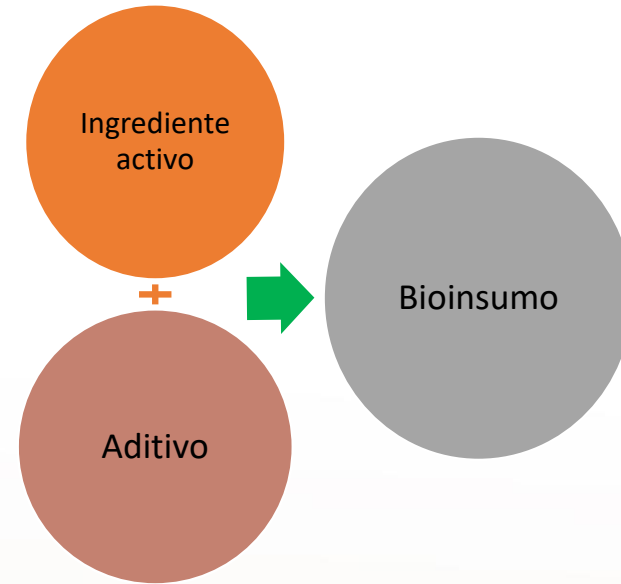




# Alternativas de formulación del producto comercial

Formulación es la mezcla del ingrediente activo con otros materiales para facilitar su aplicación tales como:

- Disolventes
- Dispersantes
- Excipientes
- Inertes



Polvo - Talco (P)



Polvo humectable (WP) con arcillas o Silicato de Calcio y aditivos



Concentrado emulsionable (EC)



Suspensión Concentrada (SC)



Concentrado líquido para aplicación ultra bajo volumen (UBV)

Yo soy UCO,  
evoluciono



# Procesos de diseño del producto comercial



Diseño de la fórmula

Elaboración y evaluación de fórmula (estabilidad)

Pruebas de calidad y eficacia

Escalamiento

Registro del producto

Producción y comercialización

- pH
- Densidad
- Color
- Olor

- Pureza
- Concentración
- Viabilidad
- % germinación
- Actividad biológica (Reactivación)
- Pruebas en condiciones de campo

- Biofertilizante: inoculante, bioabono
- Biocontrolador  
Agente microbial  
Macroorganismo  
Extracto vegetal

Concepto toxicológico

Yo soy UCO,  
evoluciono

# Equipos para el proceso de escalamamiento comercial



Procesos bajo condiciones de asepsia



Procesos de esterilización de medios



Semiescalamiento en agitador orbital



Fermentación en biorreactores



Dispensado y tapado automático



Tamizaje y formulación de suspensiones concentradas.

Yo soy UCO,  
evoluciono

Cortesía BIOQUIRAMA SAS

# Producto registrado como entomopatógeno



## INTERACTOR:

*Metarhizium anisopliae*

*Beauveria bassiana*

*Bacillus thuringiensis*

*Lecanicillium lecanii*

Gusanos en cultivos  
(*Spodoptera*,  
*Heliothis*)

Mosca blanca  
(*Trialeurodes vaporarorium*;  
*Bemisia tabaci*)

Áfidos (*Aphis gossypii*, *Myzus persicae*)

Prevención y manejo  
de insectos plaga

**INTERACTOR**

Pulguilla  
(*Epitrix* sp)

Thrips  
(*Frankliniella occidentalis*;  
*Thrips palmi*)

Minadores  
(*Liriomyza* sp)



Yo soy UCO,  
evoluciono

Cortesía BIOQUIRAMA SAS



# Manejo de Botritis con *Bacillus spp*

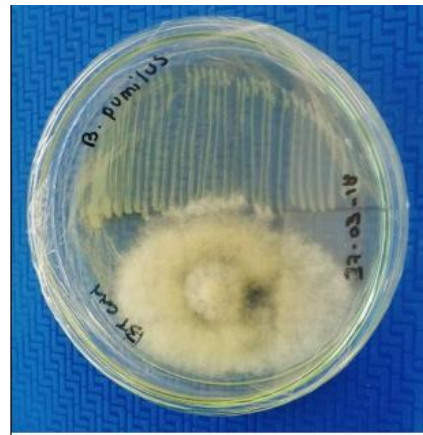
*Botrytis sp.*



Otros microorganismos de C.B.

- *Trichoderma sp*
- *Gliocladium sp*

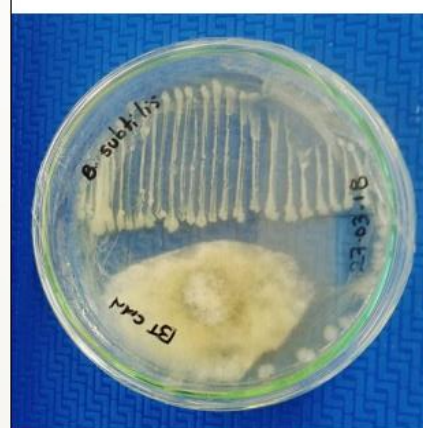
Yo soy UCO,  
evoluciono



*Bacillus pumilus*



*Pseudomonas fluorescens*



*Bacillus subtilis*

[www.bioquirama.com](http://www.bioquirama.com)



Bacterias del género *Bacillus*:

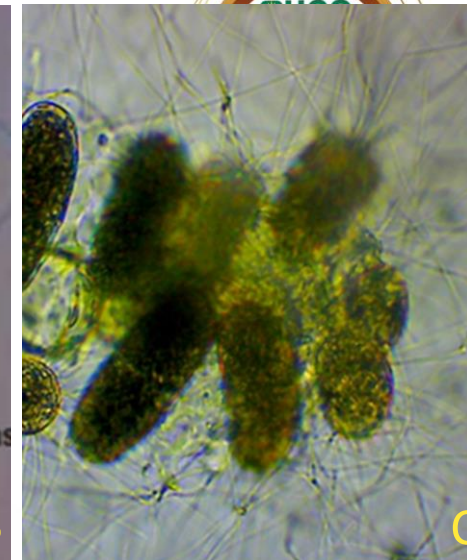
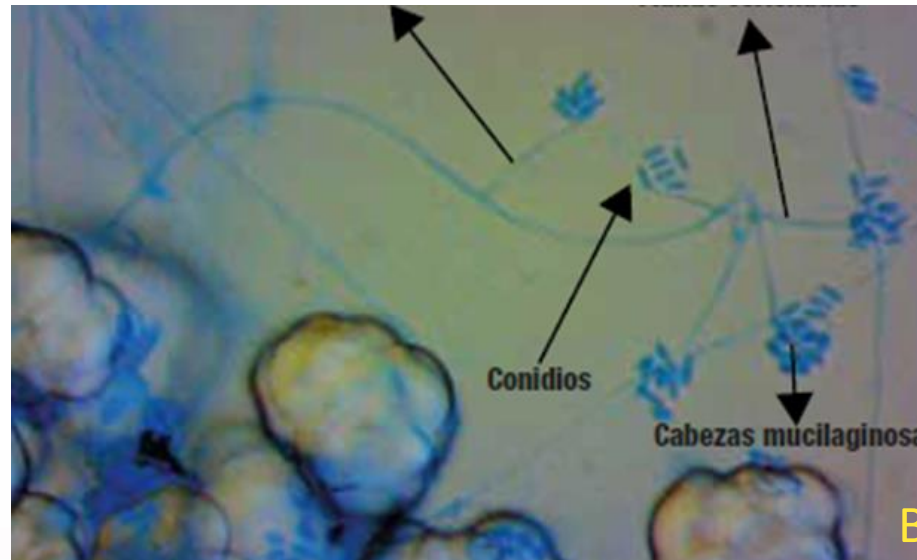
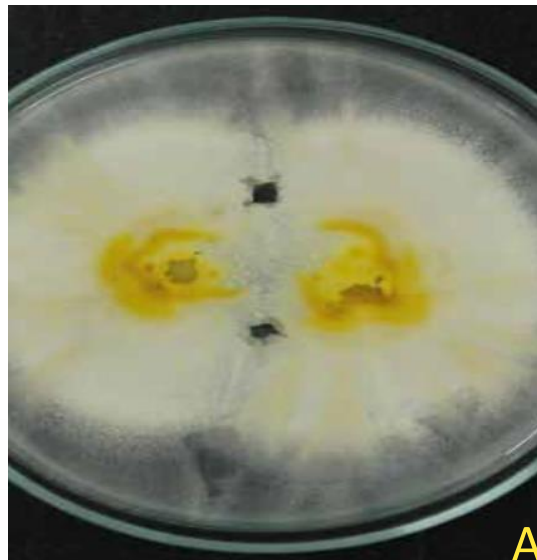
- *Bacillus subtilis*
- *Bacillus thuringiensis var. kurstaki*
- *Bacillus pumilus*
- *Bacillus amyloliquefaciens*

PROMOBAC®





# *Pochonia chlamydosporia* para el control de huevos de nematodos y moluscos



Aislamiento (A), caracterización (B), estudios de patogenicidad (huevos del nematodo *Meloidogyne* spp., infectados (C) y ensayos de campo con *P. chlamydosporia* para el manejo de nematodos (D)



Yo soy UCO,  
evoluciono

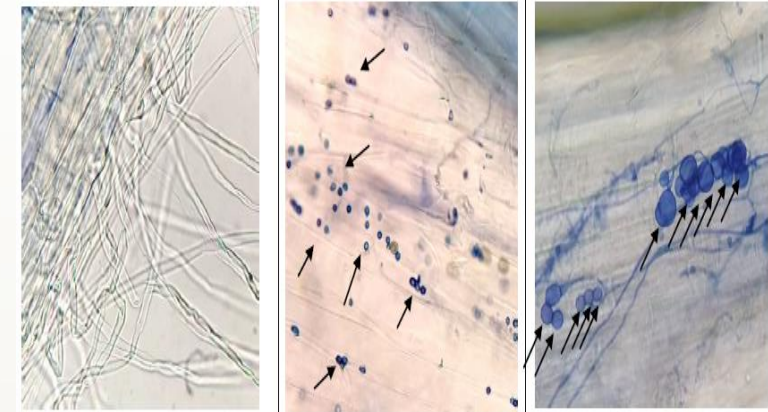
## ENDORHIZA® (MIKORHIZE SC)



Producto biotecnológico en formulación líquida ideal para aplicar en semilleros, enraizamiento, en cultivos establecidos en campo compuesto por:

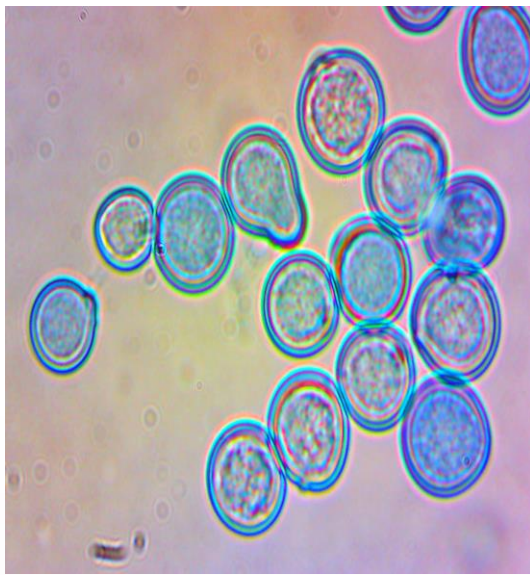
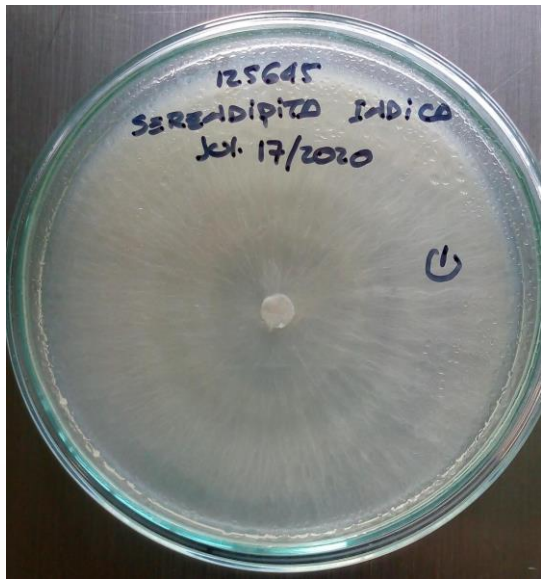
- *Rhizophagus irregularis*
- *Rhizophagus clarus*
- *Rhizophagus aggregatus*
- *Claroideoglossum etunicatum*

- Favorece absorción de nutrientes y agua
- Mejora el desarrollo de raíces y tallos
- Reduce el uso de fertilizantes
- Incrementa tolerancia a estrés ambiental

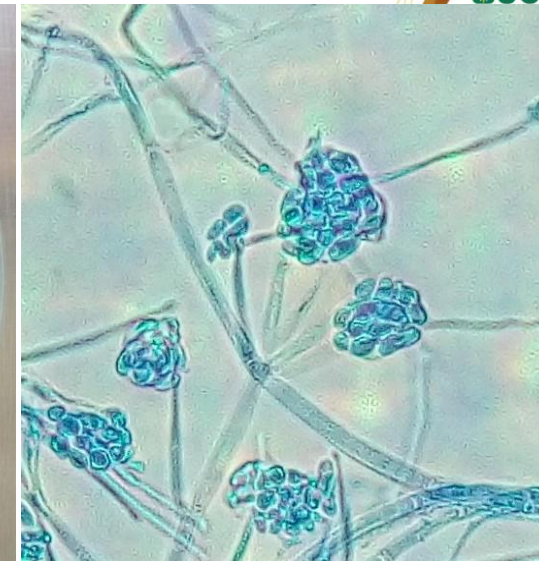
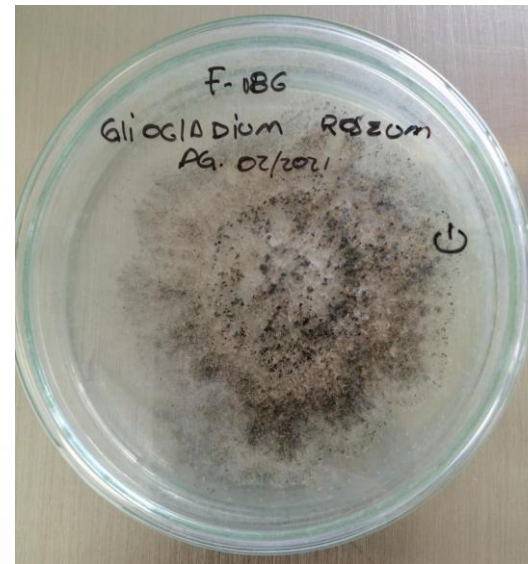




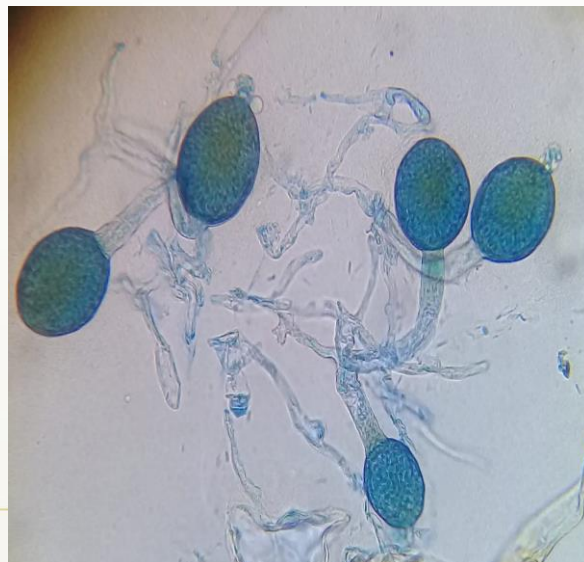
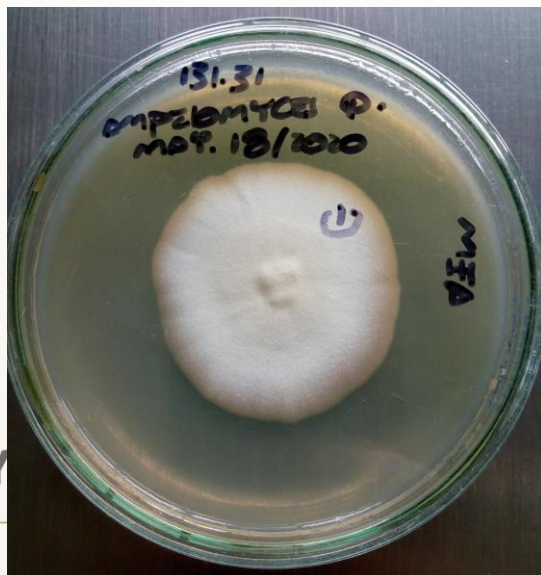
# Nuevos microorganismos en desarrollo



*Serendipita indica*: estrés abiótico y transporte de P



*Gliocladium* sp. Para el control de *Alternaria*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*,



*Ampelomyces quisqualis* para el control de mildés polvosos

# Endófitos microbiales

Un endófito es un microorganismo (generalmente hongos o bacterias) que habitan los tejidos vegetales sin causar enfermedades. Pueden ser transmitidos por semillas o captados del suelo

Estrés biótico: hídrico, salinidad, toxicidad, nutricional, acidez, déficit

Tolerancia a salinidad, osmoprotección, enzimas antioxidantes, tolerancia a T°, sideróforos, quelación de metales

Tolerancia a estrés abiótico mediada por endófitos



Estrés abiótico: patógenos, insectos, herbívoros

ISR, metabolitos, resistencia a herbívoros, antibióticos, secundarios,

Tolerancia a estrés biótico mediada por endófitos

Producción de AIA, GAS, Actividad ACC desaminase, producción metabolitos, fijación N, solubilización P,K.

Promoción de crecimiento mediado por endófitos

Adaptado de Nanda, SB. Mohanty, 2018.



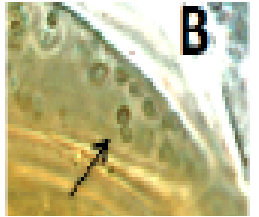


Ciclo de rizofagia: forma como ingresan los microorganismos por el ápice meristemático y que salen de las células de la raíz en las puntas de los pelos de las raíces que se alargan

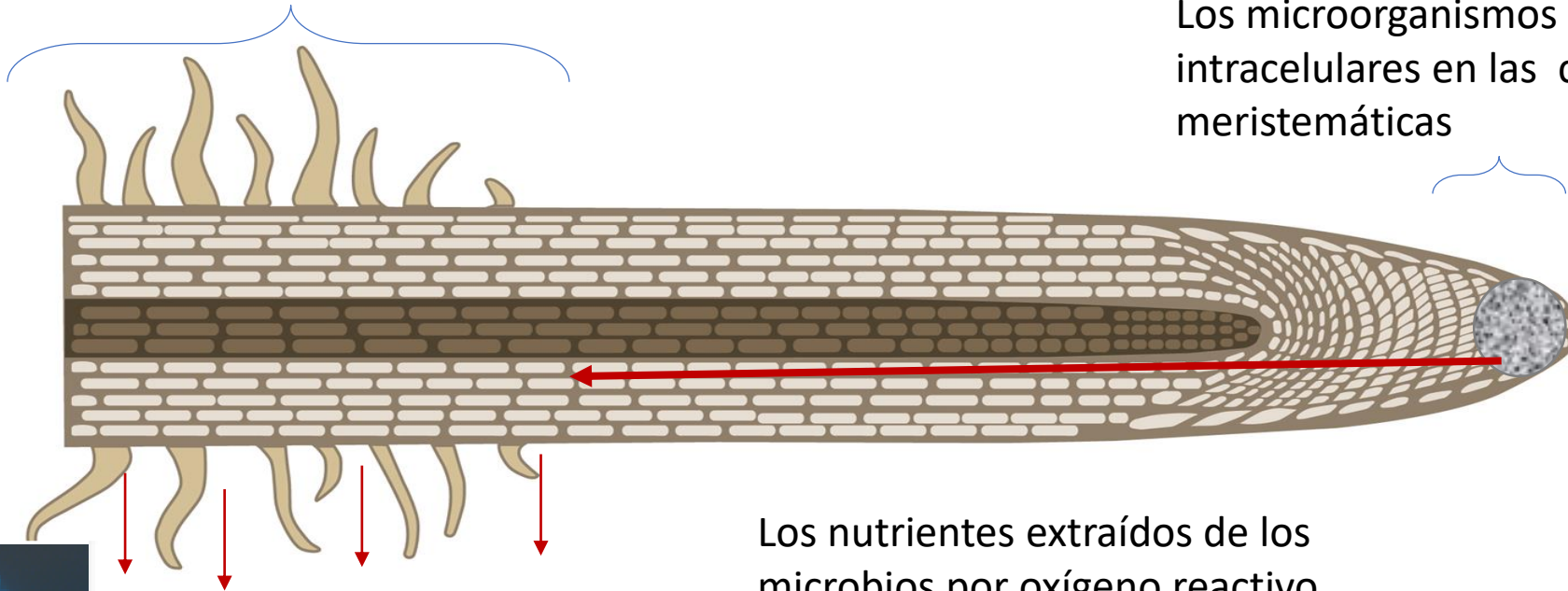
**Zona de salida microbial**

Los microorganismos estimulan la elongación de los pelos radicales y salen por las puntas de estos donde las paredes son delgadas.

Zona de entrada a la célula vegetal  
Los microorganismos vuelven intracelulares en las células meristemáticas



Bacteria (flecha) en células del parénquima radical cerca del ápice meristemático



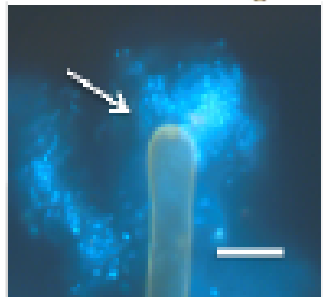
Los microorganismos salen de las raíces por agotamiento de nutrientes

Los nutrientes extraídos de los microbios por oxígeno reactivo producido por NOX en las membranas plasmáticas de células radicales

Los microbios entran a los espacios periplasmáticos celulares nutrientes del suelo

Los microbios se recargan con nutrientes en la rizosfera

Adaptado de White et al. 2018



Bacteria (flechas) emergiendo de los pelos radicales en una plántula de millo.

# Principales atributos de endófitos y hongos formadores de micorrizas



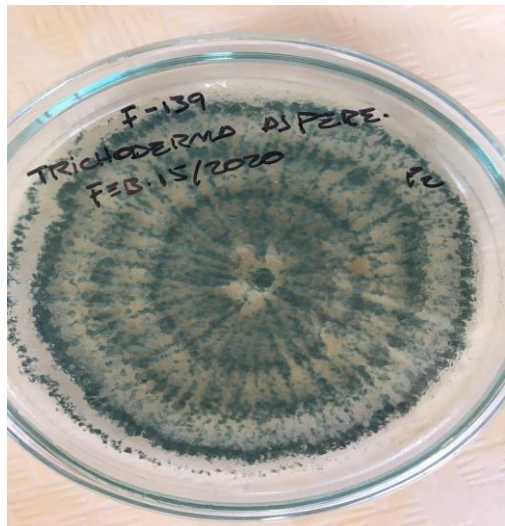
Atributos fungales	Verdaderos endófitos	Otros endófitos foliares	Micorrizas arbusculares	Ectomicorrizas
Grupo fungal	Ascomycota	Ascomycota, Basidiomycota	Glomeromycota	Basidiomycota
Plantas hospedantes predominantes	Pastos	Herbáceos, forestales	Pastos, herbáceos	Árboles
Transmisión	Vía semillas	Esporas del aire	Aire y esporas	Esporas en el aire
Órgano ocupado	Tejidos foliares	Tejidos foliares	Raíces	Raíces
Consideración mutualística	Si	Desconocida	Si	Si
Principal efecto en el huésped	Inducción de defensa	Desconocida	Absorción P	Absorción N
Beneficio al hongo	Nutrición, refugio	Desconocido	Adquisición C	Adquisición C

Hartley et al., 2009.

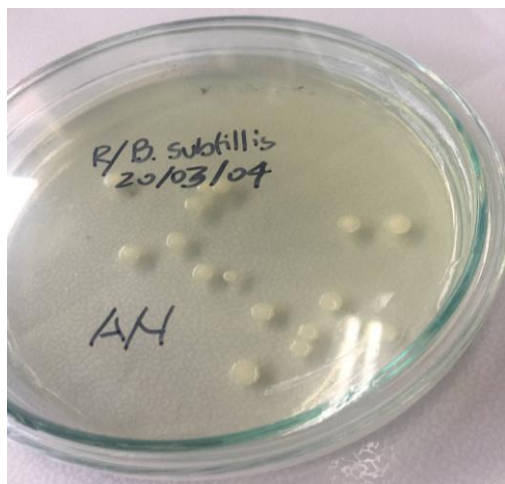
evolucion



# Inoculación con endófitos plantas de *Mentha* producidas in vitro con endófitos



Inoculación vitro con suspensiones de *T. asperellum*, *B. bassiana* y *B. subtilis*



Aislamiento de *T. asperellum* y *B. subtilis* de la rizosfera de *Mentha spicata*



Establecimiento de materiales en condiciones de vivero

Castro, Gaviria, Dominguez y Vanegas. UCO- Proyecto Mentha Regalías. 2021

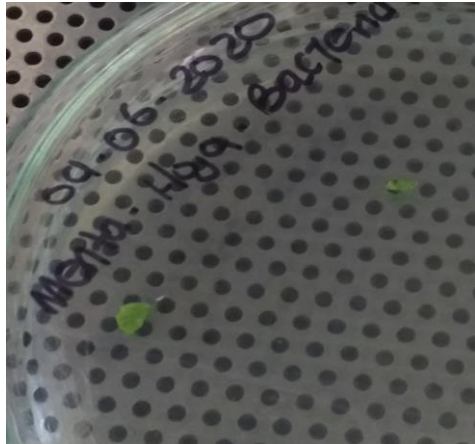


# Inoculación con endófitos plantas de *Mentha* producidas in vitro con endófitos



**Muestra 542-3:** Nuestra identificación indica que la secuencia obtenida corresponde a la especie de hongo *Metarhizium anisopliae* con un 99% de cobertura y una identidad de secuencia del 99.45% (E value: 0.0).

```
>542-3-ITS U4 TGATTTCGAGGTCAACTATAAAAAGTTGGGGGGTTTTACGGCAGTGGACCGCGCCGGGCTCCTGTTGCGAGTGTITTTACTACTGCGCAG
AGGAGGGCCACGGGCGAGACCCCAATTAATTAAGGGACGGCTGTGCTGAAAAACAGCCTCGCCGATCCCCAACACCAAGTCCACAGGGGACTTGG
GGCGTAATGACGCTCGAACAGGCATGCCCGCCAGAATACTGACGGGCGCAATGTGCGTTCAAAGATTTCGATGATTCA
CTGAATTCTGCAATTCACATTACTTATCGCATTTGCTGCGTTCTTCATCGATGCCAGAACCAAGAGATCCGTTGTTGAAAGTTTTGAT TCA
TTTTTTTTTAACTACTCAGAAAGATACTTATTAATAAATTCAGAAAGTTGGTCCCGCGGGCGCAAGTCCCGCGGAAGCAA
CAATTAAGGTATGATTCACAGGGTTGGGAGTTGGATAACTCGGTAATGATCCCTCCGCTGTTTACCAACGGAGACCTTGTTACGA
CTTTTTACTTCCACAA >542-3-ITS5
ACCGAGTTATCCAACCCCAACCCCTGTGAATCATACTTTAATTGTTGCTTCGGCGGGACTTCGCGCCCGCGGGGACCCAAACCTTC
TGAAATTTTTAATAAGTATCTTCTGAGTGGTTAAAAAATAAATGAATCAAACTTTCAACAACGGATCTCTGGTTCTGGCATCGATG
AAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAAGTTCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCGT AGTAT
TCTGGCGGGCATGCCTGTTGAGCGTCATTACGCCCTCAAGTCCCCTGTGGACTTGGTGTGGGGATCGGGCAGGGCTGTTTTCCAGC
ACAGCCGTCCCTAAATTAATTGGCGGTCTCGCCGTGCCCTCCTCTGCGCAGTAGTAAACACTCGCAACAGGAGCCCGGGCGCGGTCC
ACTGCCGTAATAACCCCAACTTTTTATAGTTGACCTCGAATCAGGTAGGACTACCCGCTGAACCTAAGCATATCAATAAGCGGAGGA
AAAGAAACCAACTCAACC
```



	290
Bacillus subtilis subsp. subtilis str. 168	AGGCAA
Bacillus sp	AGGCGA
Bacillus amyloliquefaciens DSM7	AGGCGA

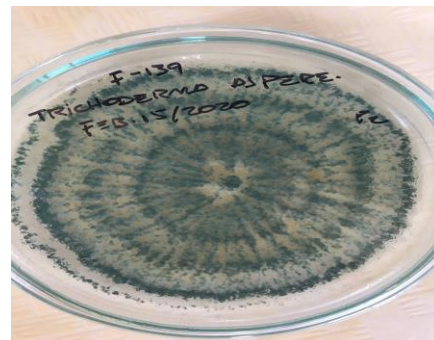
## Secuenciación Molecular

### >Forward *Trichoderma asperellum*

```
TACCGAGTTTACAACATCCCAAACCAATGTGAACGTTACCAACAGTTGCTCGCGGGGTACGCCCCGGGTGCGTCGCAGCCCCGGAACC
AGGCGCCCGCGGAGGAACCAACCAACTCTTTCTGAGTCCCCTCGCGGACGTATTTCTTTACAGCTCTGAGCAAAAATCAAATGAATCAA
AACTTTCAACAACGGATCTCTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATAAGTAATGTGAATTGCAGAATTCATTGAATCATC
GAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCAGCATTGAGCGCGTATGTGAAGTTCTGAGTCAATTTGTTTGTCTTGCAGCAAAATGAGAATCG
CTGGAATACTATATTTGAGGTCCCGGGCGGGCCGCTGGTCC
```

### >Reverse *Trichoderma asperellum*

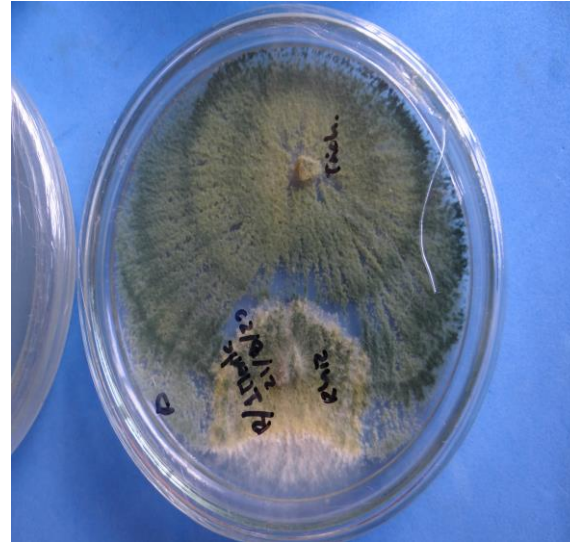
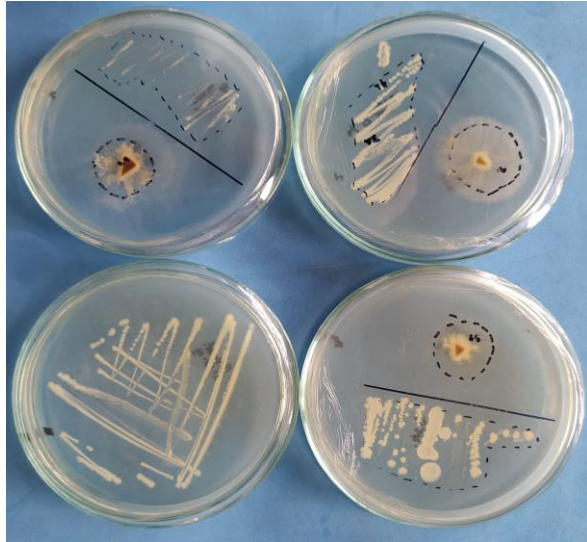
```
ACCTGATCCGAGGTCAACATTTAGAAAGTTGGGTGTTTTACGGACGTGGACGCGCCGCTCCCGGTGCGAGTTGTGCAAACTACAGCGCAG
GAGAGGCTGCGGCGAGACCCACTGTATTTTTGGGCGGCACCCGTGTGAGGGTCCCGATCCCAACGCCGATACCCCGAGGGGTTCCGA
GGGTTGAAATGACGC
```



Castro, Gaviria,  
Dominguez y  
Vanegas. UCO-  
Proyecto Mentha  
Regalías. 2021

# Pruebas de antagonismo de microorganismos con *B. subtilis* y *T. asperellum*

Pruebas de antagonismo *B. subtilis*, *T. asperellum* vs *Rhizoctonia solani*



Planta inoculada con dos endófitos y un simbionte (*Rhizophagus spp*)

Castro, Gaviria, Dominguez y Vanegas. UCO- Proyecto Mentha Regalías. 2021



# El suelo está vivo: calidad y salud

La salud del suelo y la calidad del suelo se definen como su capacidad para funcionar como un sistema vital dentro de los límites del uso de la tierra.

La calidad del suelo está relacionada con la función del suelo, mientras que **la salud del suelo** presenta el suelo como un recurso vivo finito, no renovable y dinámico. (Soil Quality and Soil Health, LAISHRAM et al. (2012))





pH, textura, salinidad, nutrientes,  
cationes, materia orgánica

### Propiedades físico - químicas

### Microorganismos cultivables en medios nutritivos:

aislamiento y conteo en caja  
de Petri, nivel de comunidad  
Perfil fisiológico

### Diversidad microbiológica

### No cultivables in vitro:

Métodos moleculares,  
hibridación (Phytochip), RT-  
PCR  
Metagenómica

Calidad del suelo



### Función microbiana

**Ensayos enzimáticos:** actividades  
hidrolíticas (quitinasa, celulasa)

Actividad microbiana: hidrólisis  
FDA; respiración

Métodos moleculares:

- Hibridación (geochip);
- RT- PCR
- Metatranscriptómica
- Metagenómica
- Metabolómica

Adaptado de De Vicente,  
2012.

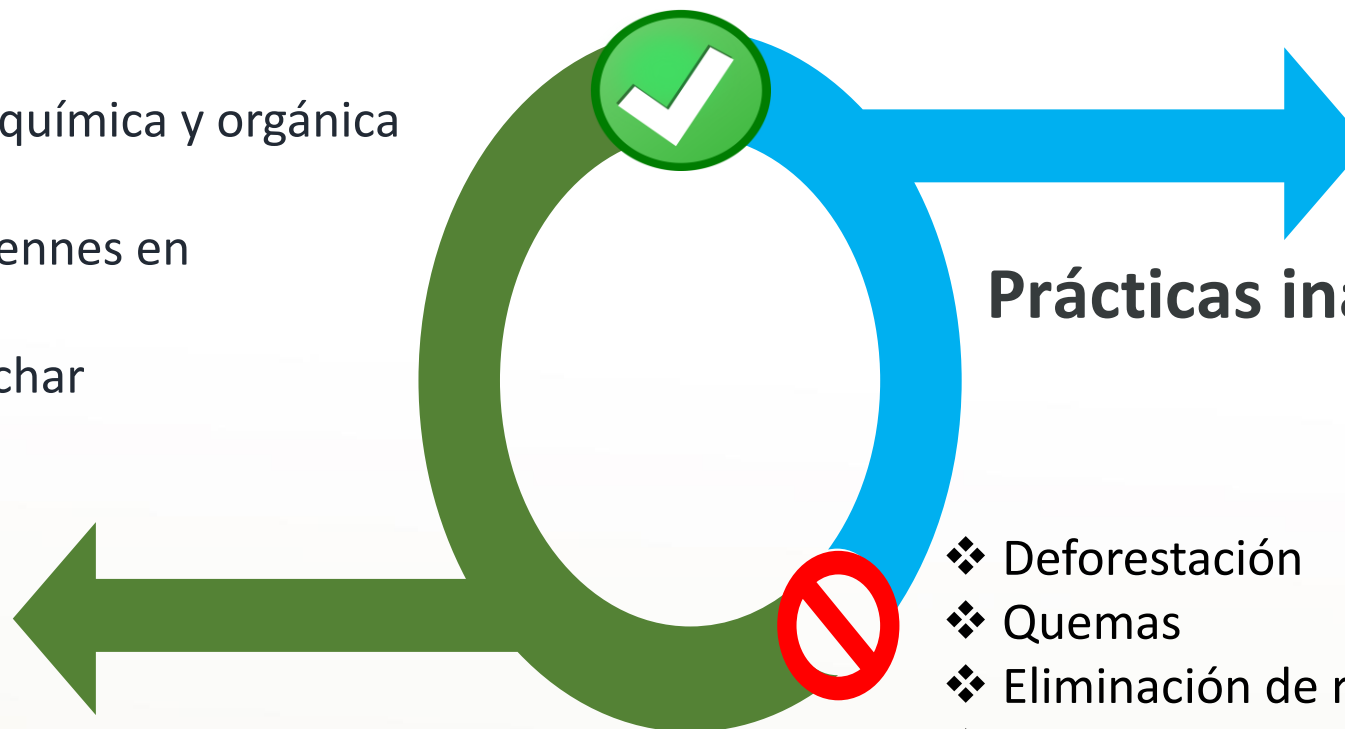


evoluciono



- Mínima labranza
- Rotación cultivos
- Cultivos de cobertura
- Agricultura orgánica
- Fertilización equilibrada química y orgánica
- Reforestación
- Siembra de especies perennes en suelos marginados
- Adición de compost, biochar
- Uso eficiente del agua
- Materiales genéticos

## Buenas prácticas para la gestión del C.O. en el suelo



## Prácticas inadecuadas

- ❖ Deforestación
- ❖ Quemas
- ❖ Eliminación de residuos vegetales
- ❖ Barbecho
- ❖ Monocultivos
- ❖ Sobrepastoreo
- ❖ Uso intensivo de agroquímicos

# Sostenibilidad ambiental .....todavía hay esperanza



Una persona genera al día: 1.2 Kg de residuos, y cerca del 50% son vegetales.



50 millones de habitantes  
30.000 tn/diarias

1 tn de residuos produce  
500 m3 de gas  
1 persona consume 4 m3  
al año en promedio



5 a 10 tn/ha

Rendimientos: 1:3-4

Yo soy UCO,  
evoluciono



## Referencias

- Hartley, S. and Gange, A. 2009. Impacts of plant symbiotic fungi on insect herbivores mutualism in a multitrophic context. *Annu. Rev. Entomol.* 54: 323 – 342
- Jung, J., Jun – Seob, K., Taffiner, J., Berg, G., Choong – Min, R. 2020. Archea, tiny helpers of land plants. *Computational and Structural biotechnology Journal.* 18: 2494 - 25000
- Máns et al. (2013). Migrant Agricultural Workers and Their Socio-Economic, Occupational and Health Conditions A Literature Review”, Universidad de Lund. En: Naciones Unidas. 2017. A/HRC/34/48
- Nanda, SB. Mohanty, RJ. 2018. Endophyte-mediated host stress tolerance as a means for crop improvement. *Endophytes and Secondary Metabolites* pp 1-25
- Roberts, E., O´Donoghue, P., Eargle, J. Sethi, A. 2014. Evolution of Biomolecular Structure. University of Illinois. Theoretical and Computational Biophysics Group. Pp. 46.
- Sasse, J., Martinoia, E., Northen, T. 2018. Feed Your Friends: Do Plant Exudates Shape the Root Microbiome?. *Trends Plant Sci.* 23(1):25-41.
- Trewin, NH., Rice, C.M. (eds.) 2004. The Rhynie Chert host – spring system: geology, biota and mineralization. *Trans. R. Soc. Edin Earth Sci.* 94: 283 – 521
- Vacher, C., Hampe, A., Porte, A., Sauer, U., Compant, S., Morris, C. 2016. The phyllosphere: microbial jungle at the plant – climate interface. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 47:1 – 24.
- Vishwakarma, K., Kumar, N., Shandilya, C., Mohapatra, S., Bhayana, S. Varma, A. 2020. Revisiting plant – microbe interactions and microbial consortia application for enhancing sustainable agricultura: a review. *Front. Microbiol.* 11:560406
- White, J., Kingsley, L., Verma, S., Kowalsky, K. 2018. Rhizophagy cycle: an oxidative process in plants for nutrient extraction from symbiotic microbes. *Microorganisms.* 6: 95 - 115





**Seguimos avanzando**  
en nuestro compromiso  
**con la Región**

**GRACIAS**

