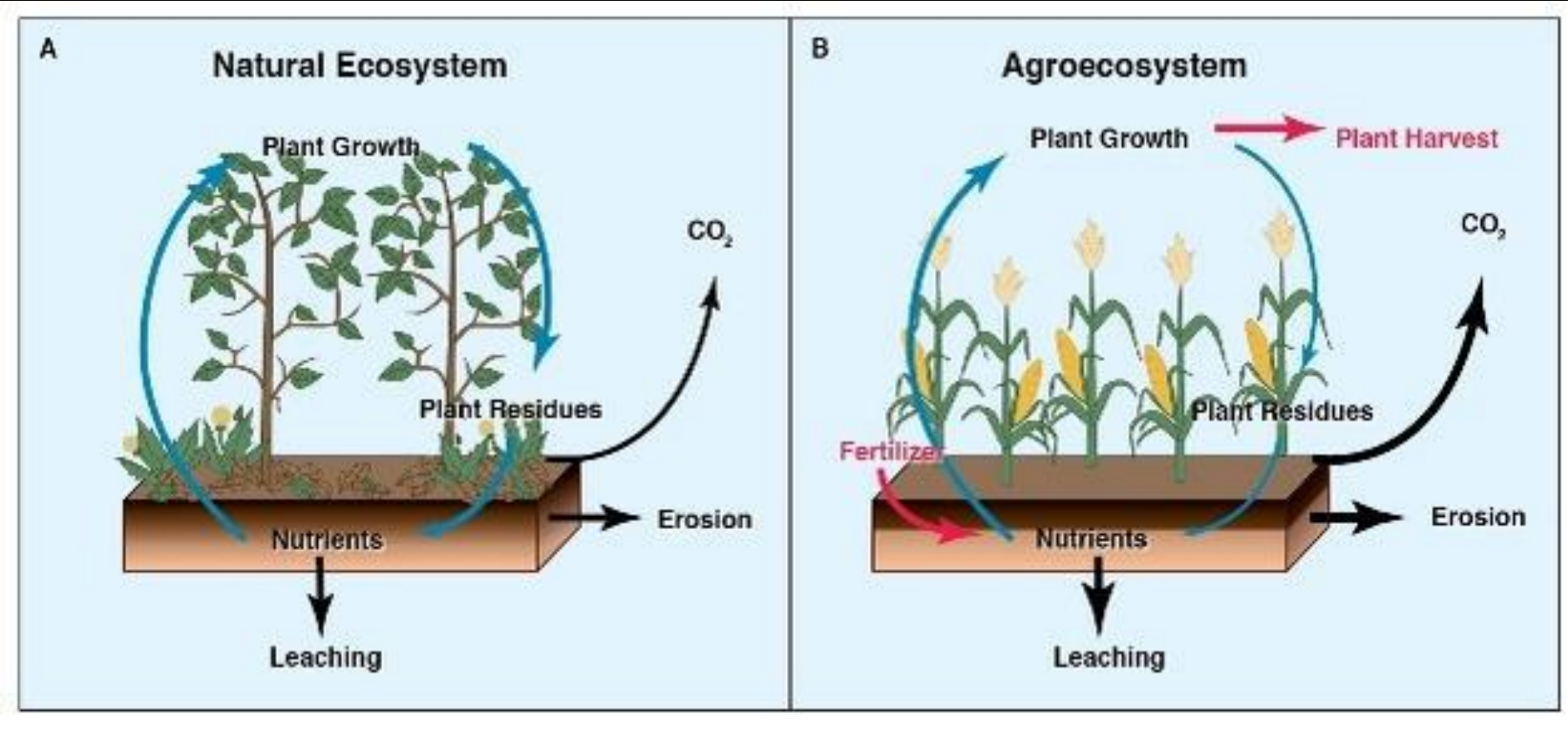


Gestionando los microbiomas del suelo para una agricultura sostenible

Dr. Chang-Hui Shen Profesor y Director
del Departamento de Biología, CSI
Ciudad Universidad de Nueva York, USA

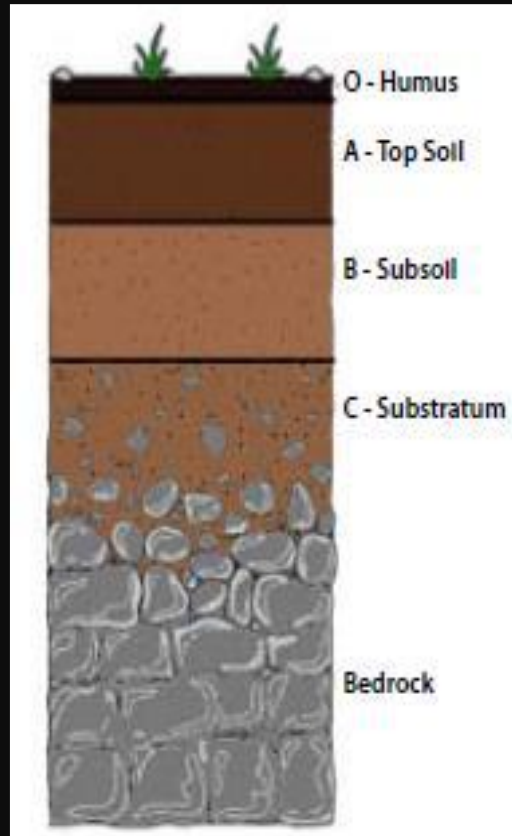


Agricultura Sostenible



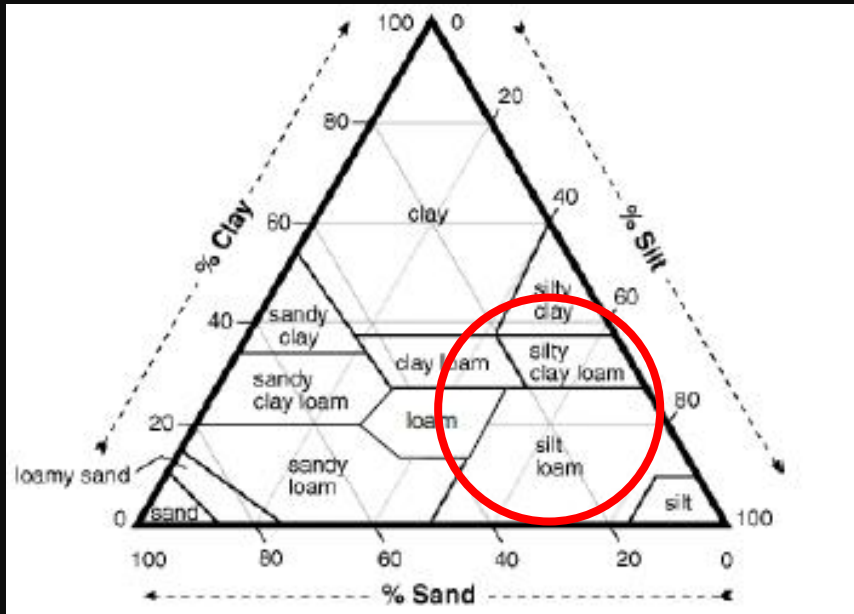
La base de la agricultura - suelo

Perfil del Suelo



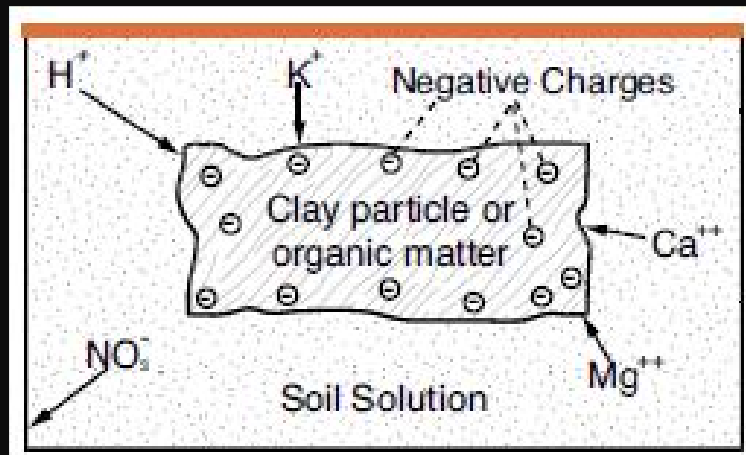
Propiedades del suelo

- Propiedades físicas
 - Textura, estructura, drenaje y contenido de materia orgánica



Propiedades del Suelo

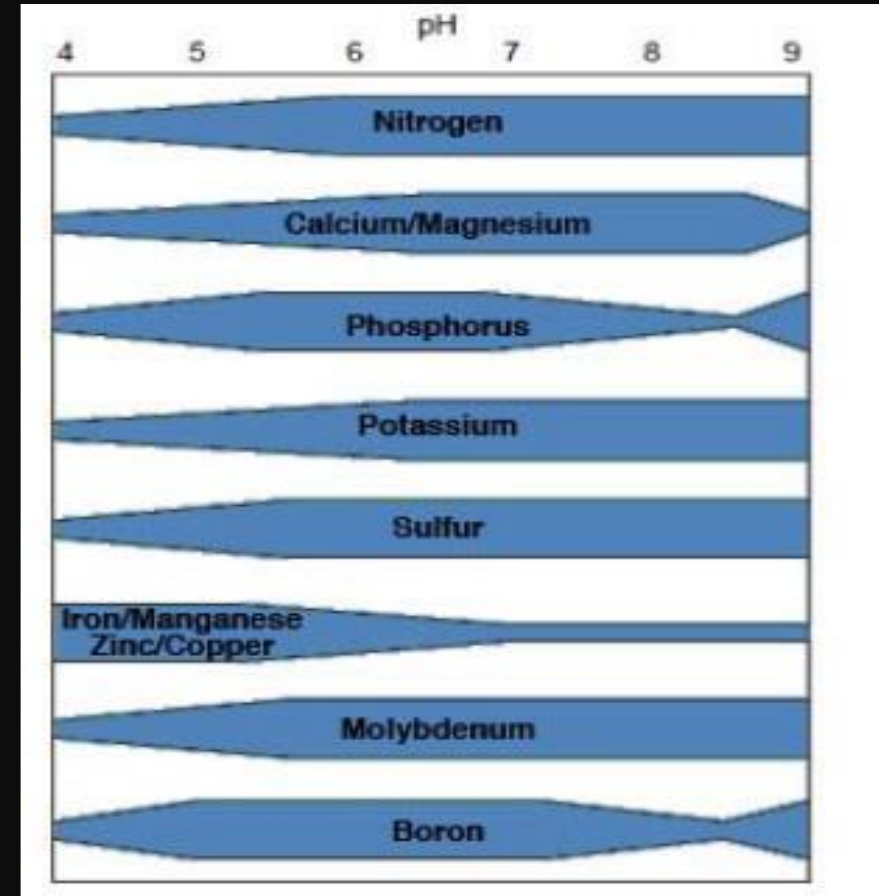
- Propiedades Químicas
 - Capacidad de intercambio catiónico y pH



SOIL TYPE	CEC (MEQ/100G)
Sand	1 - 5
Fine sandy	5 - 10
Loam	5 - 15
Silty loam	15 - 25
Clay loam	30 - 35
Clay	> 35
Organic	50 - 100

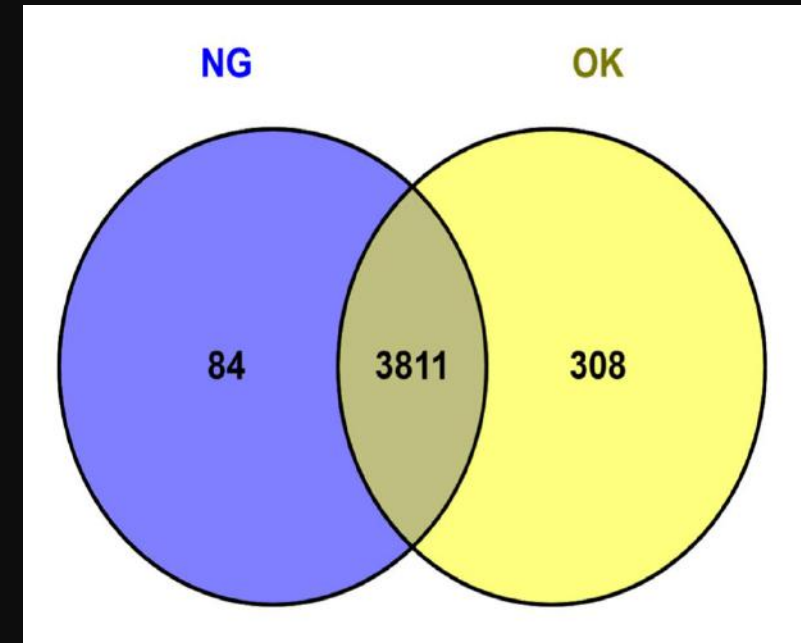
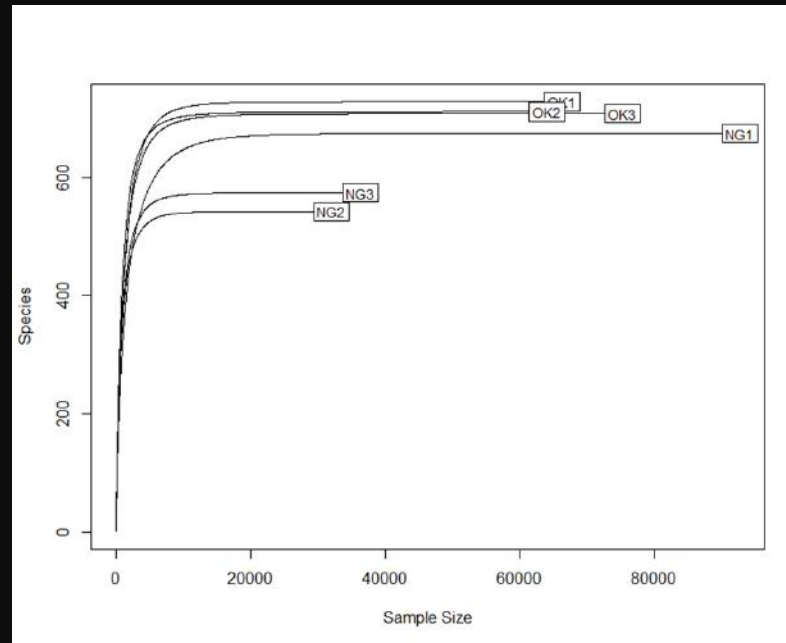
Ajustando el pH

- El pH del suelo afecta la disponibilidad del nutriente
- Sistema orgánico
 - Cal calcítica (también llamada calcita)
 - Cal dolomítica (también llamada dolomita)



Calidad y organismos del suelo

SOIL ORGANISM	Number per gram of soil (dry weight)
Bacteria	100,000,000 to 1,000,000,000
Actinomycetes	10,000,000 to 100,000,000
Fungi	100,000 to 1,000,000
Protozoa	10,000 to 100,000
Nematodes	10 to 100

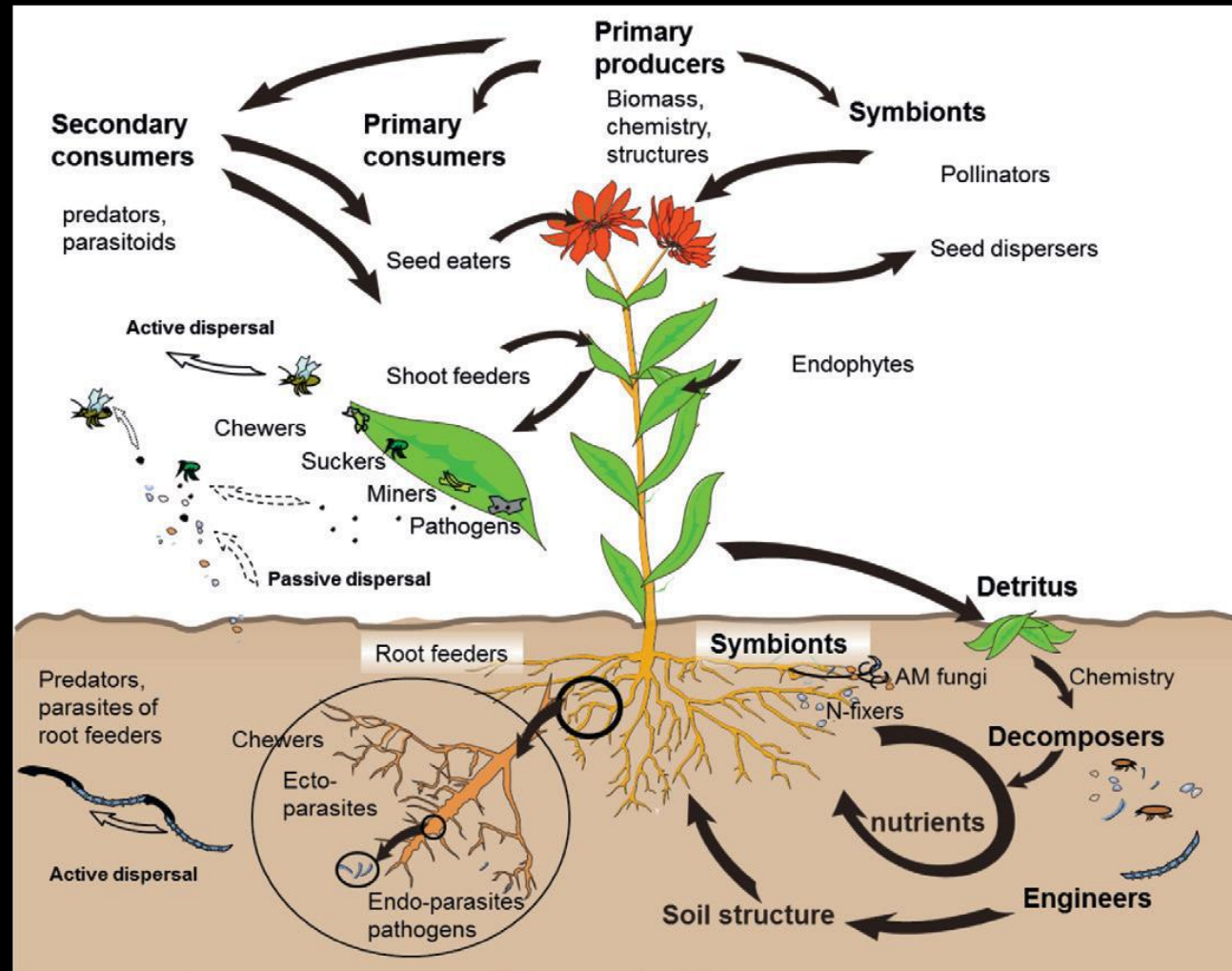


Biota del suelo

Biome	Sequencing platform	Bacteria % DNA	Archaea % DNA	Fungi % DNA	% DNA other eukaryotes	Location (reference)
Grassland	454	97.23	0.72	0.16	1.43	Park Grass, Rothamsted Research, Harpenden, Hertfordshire, UK (Delmont et al., 2012)
Grassland	454	97.56	1.17	0.51	0.71	Kellogg Biological Station, Hickory Corners, MI (Ramirez et al., 2010)
Grassland	454	97.01	1.17	0.18	1.60	Cedar Creek Ecosystem Science Reserve, Bethel, MN (Ramirez et al., 2010)
Tropical rainforest	454	96.99	1.22	0.52	1.05	Luquillo, Puerto Rico (Deangelis et al., 2010)
Tallgrass prairie	Illumina	98.07	0.38	0.27	0.35	Fricke Cemetery, NE (Fierer et al., 2013)
Arid soil	Illumina	95.75	2.48	0.27	0.21	Uluru, Northern Territories, Australia (www.bioplatforms.com/soil-biodiversity)
Rice paddy soil	Illumina	97.35	1.27	0.22	0.01	Typical paddy at unspecified location, South China (http://trace.ddbj.nig.ac.jp/DRAsearch/study?acc=SRP039858)
Rain-fed bog	Illumina	97.35	1.27	0.22	0.01	Marcell Experimental Forest, MN (Lin et al., 2014)
Mean (+/- se)		97.20 (0.43)	1.07 (0.21)	0.34 (0.34)	1.20 (0.21)	

Dodds. pp. 169 -Hirsch, P.R. 2018. Microorganismos del suelo: rol en la salud del suelo. En: Manejo de la Salud del Suelo para una Agricultura Sostenible. Volúmen 1: Fundamentals Cambridge, UK Burleigh 196

Procesos de relación entre la diversidad de la profundidad y superficie



Calidad del suelo y necesidades de fertilidad de la planta

- Calidad del suelo
 - Mantener el suelo
 - Controlar la fertilidad
- Nutrición del planta – elementos esenciales



CATEGORY	ELEMENT	INVOLVED IN:
Primary macronutrients	Nitrogen	Proteins, nucleic acids, coenzymes, chlorophyll
	Phosphorus	ATP, nucleic acids, proteins, phospholipids
	Potassium	Enzyme activation, stomata movement, meristems
Secondary macronutrients	Sulfur	Amino acids, coenzymes
	Calcium	Movement of substances through cell membranes, enzymes
	Magnesium	Chlorophyll, enzymes
Micronutrients	Iron	Photosynthesis, oxygen transport
	Manganese	Enzymes
	Copper	Metabolism, photosynthesis
	Zinc	Auxin, enzymes
	Boron	Sugar movement, RNA and DNA synthesis
	Molybdenum	Nitrogen fixation, metabolism, chloroplasts
	Chlorine	Photosynthesis

Fertilidad del Suelo

- Abono de estiércol, abono animal y abono verde

ORGANIC FERTILIZERS

Naturally occurring with minimal processing

Nutrients are usually slow release

Nutrients occur in low concentrations

Nutrients can be long-lasting

Examples include manure, rock phosphates, and fish meal

Usually not more than one application per season

Nutrients that are slow release will have less potential to cause environmental damage

CONVENTIONAL FERTILIZERS

Manufactured or extracted with substantial processing

Nutrients are usually immediately available

Nutrients occur in high concentrations

Nutrients are not long-lasting

Examples include ammonium sulfate, processed urea, and potassium chloride

May require multiple applications ap- within a single season

Nutrients have more potential to cause environmental damage

ALLOWED AMENDMENTS

Aquatic plant extracts (other than hydrolyzed)

Elemental sulfur

Humic acids (naturally occurring)

Magnesium sulfate

Soluble boron

Sulfates, carbonates, oxides, or silicates of zinc, copper, iron, manganese, molybdenum, selenium, and cobalt.

Liquid fish products

Lime (naturally occurring)

FIRST

Establish an initial C:N ratio between 25:1 and 40:1

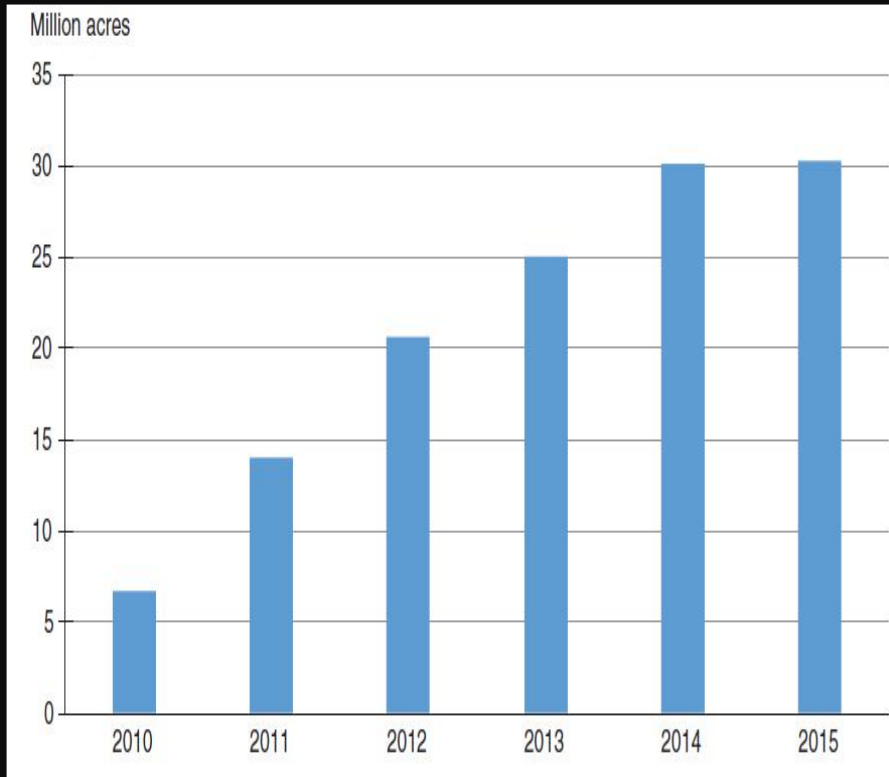
THEN

Maintain a temperature of between 131° F and 170° F for 3 days using an in-vessel or static aerated pile system

OR

Maintain a temperature of between 131° F and 170° F for 15 days using a windrow composting system, during which period, the materials must be turned a minimum of five times.

Aumentando las prácticas de administración de la salud del suelo



Selected Soil Health Management Practices

No-till: Growing crops without tilling (i.e., plowing) the soil

Reduced-till/mulch-till/conservation-till: Ways of tilling the soil that minimize disturbance to the soil or maintain more residue cover than conventional tillage

Mulching: Adding plant residue (or other materials) to the surface of the soil

Cover cropping: Growing a crop, often over the winter, that will be left in place as residue or incorporated into the soil to increase organic matter

Conservation crop rotation: Choosing crop rotations to maximize crop diversity, build organic matter, and improve soil biodiversity

Nutrient management: Adjusting the type, location, rate, and timing of fertilizer or other nutrients to meet plant needs and minimize environmental impacts

Prescribed/rotational grazing: Managing where and when livestock graze in order to prevent over-grazing and to optimize pasture growth

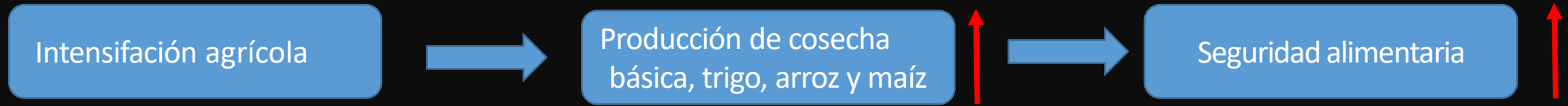
Note: See USDA Natural Resources Conservation Service (2017a) for more information on soil health practices.
Source: USDA, Economic Research Service, Bowman et al., 2016.

Los acres involucrados en el Programa de Seguridad, Conservación y Manejo (CSP) por sus siglas en inglés) con al menos una buena práctica del suelo o mejoramiento, 2010-15 [30/915 millón de acres= 3.3%]

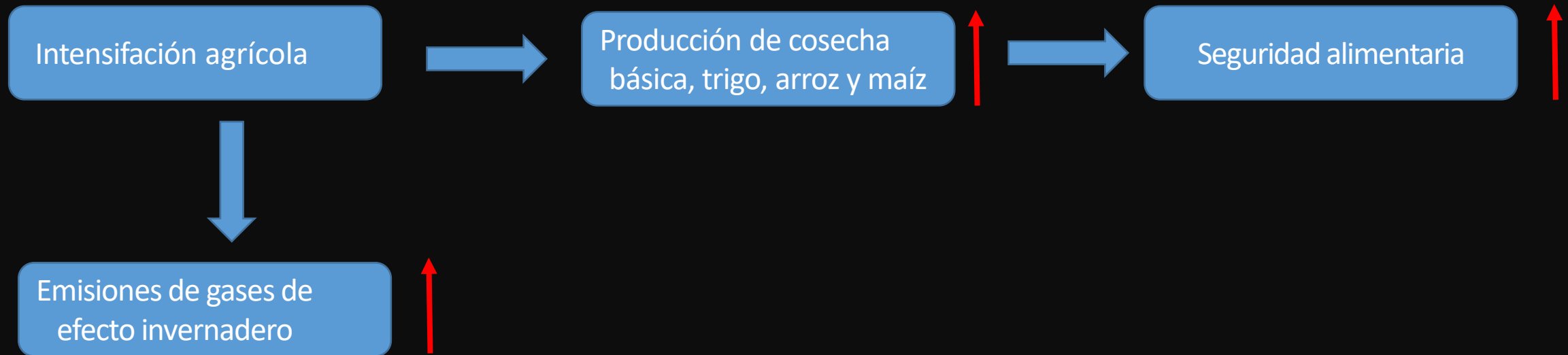
¿Cómo se mantiene la salud del suelo?

1. La importancia de los micro biomas
2. El uso de nuevas tecnologías de secuenciación (NGS por sus siglas en inglés) de acuerdo con el microbioma del suelo - la nueva e inteligente agricultura orgánica
3. Direcciones futuras

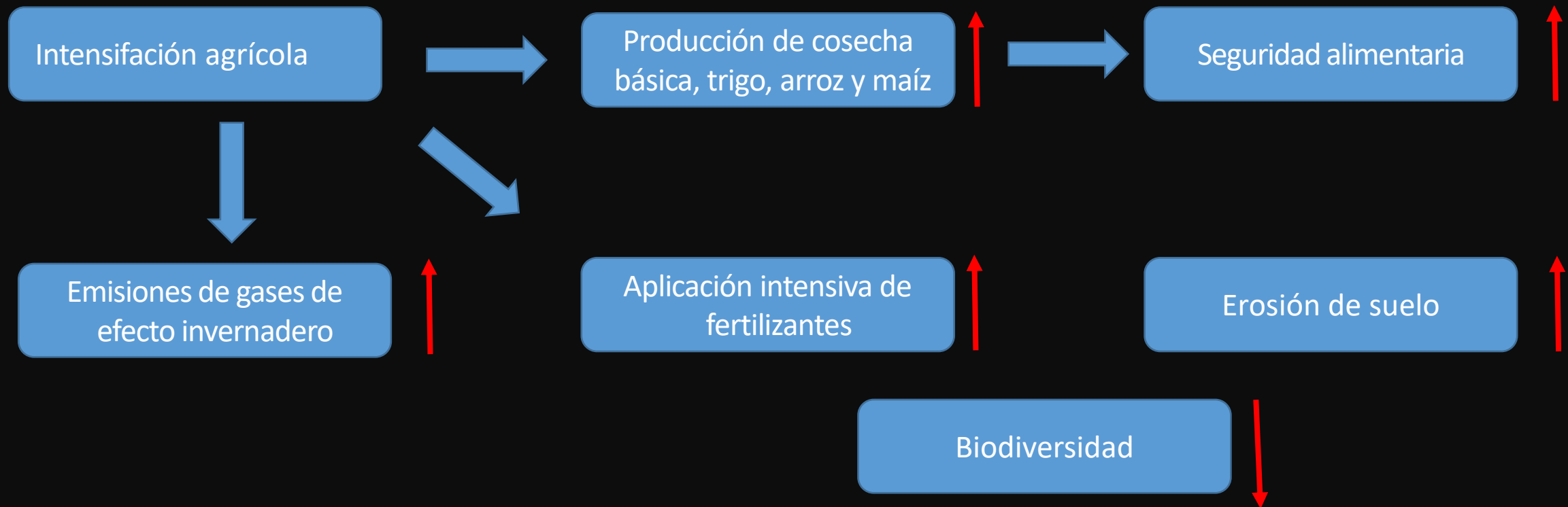
Actividades agrícolas



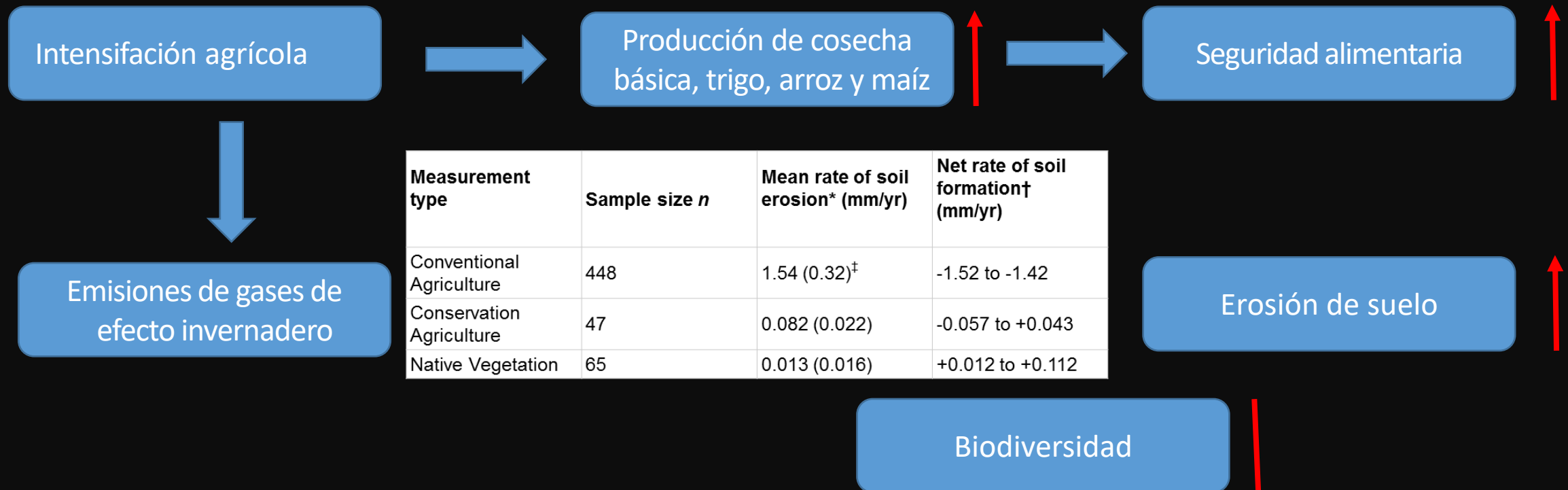
Actividades agrícolas



Actividades agrícolas



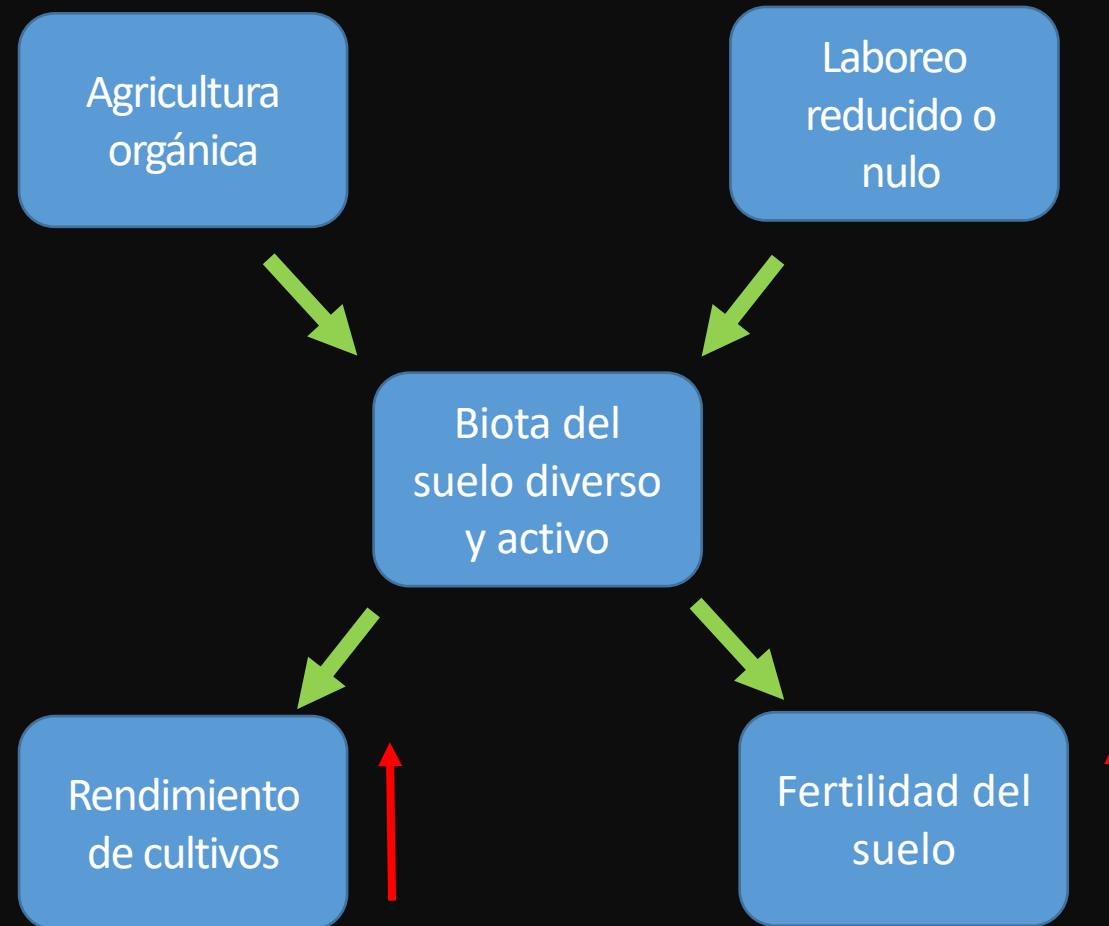
Actividades agrícolas



Measurement type	Sample size <i>n</i>	Mean rate of soil erosion* (mm/yr)	Net rate of soil formation† (mm/yr)
Conventional Agriculture	448	1.54 (0.32) [‡]	-1.52 to -1.42
Conservation Agriculture	47	0.082 (0.022)	-0.057 to +0.043
Native Vegetation	65	0.013 (0.016)	+0.012 to +0.112

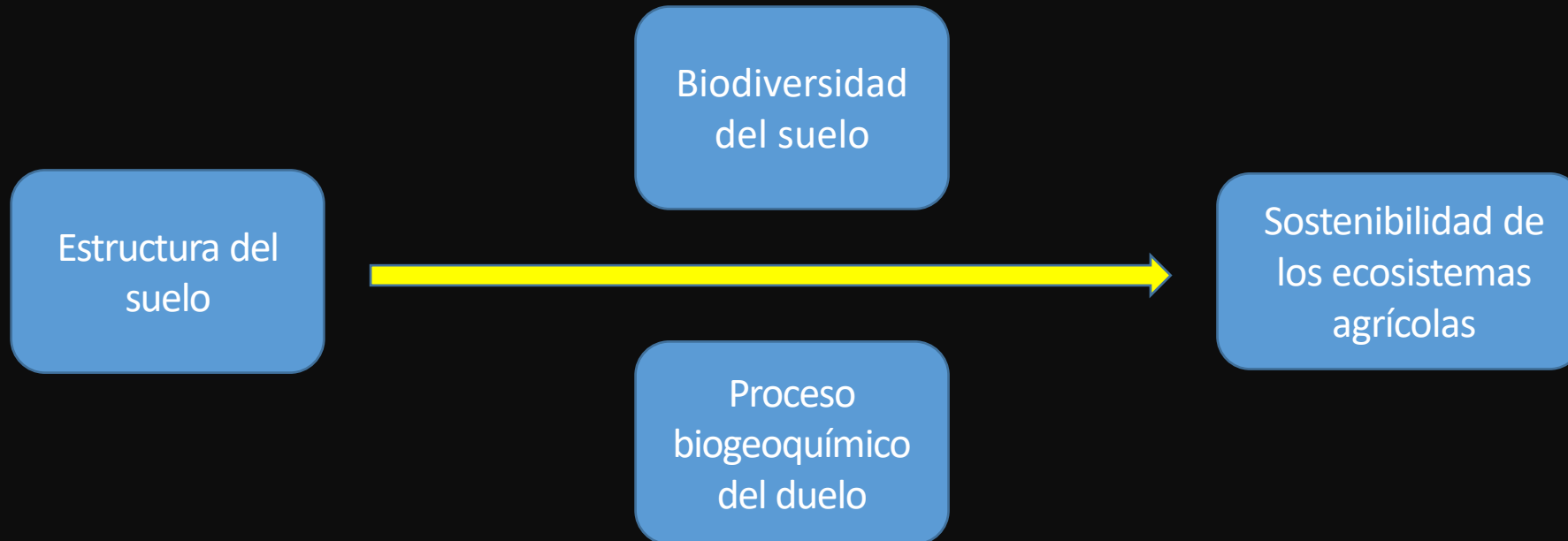
Parikh & James (2012) *Nature Education Knowledge* 3(10):2

Prácticas para mejorar la sostenibilidad agrícola



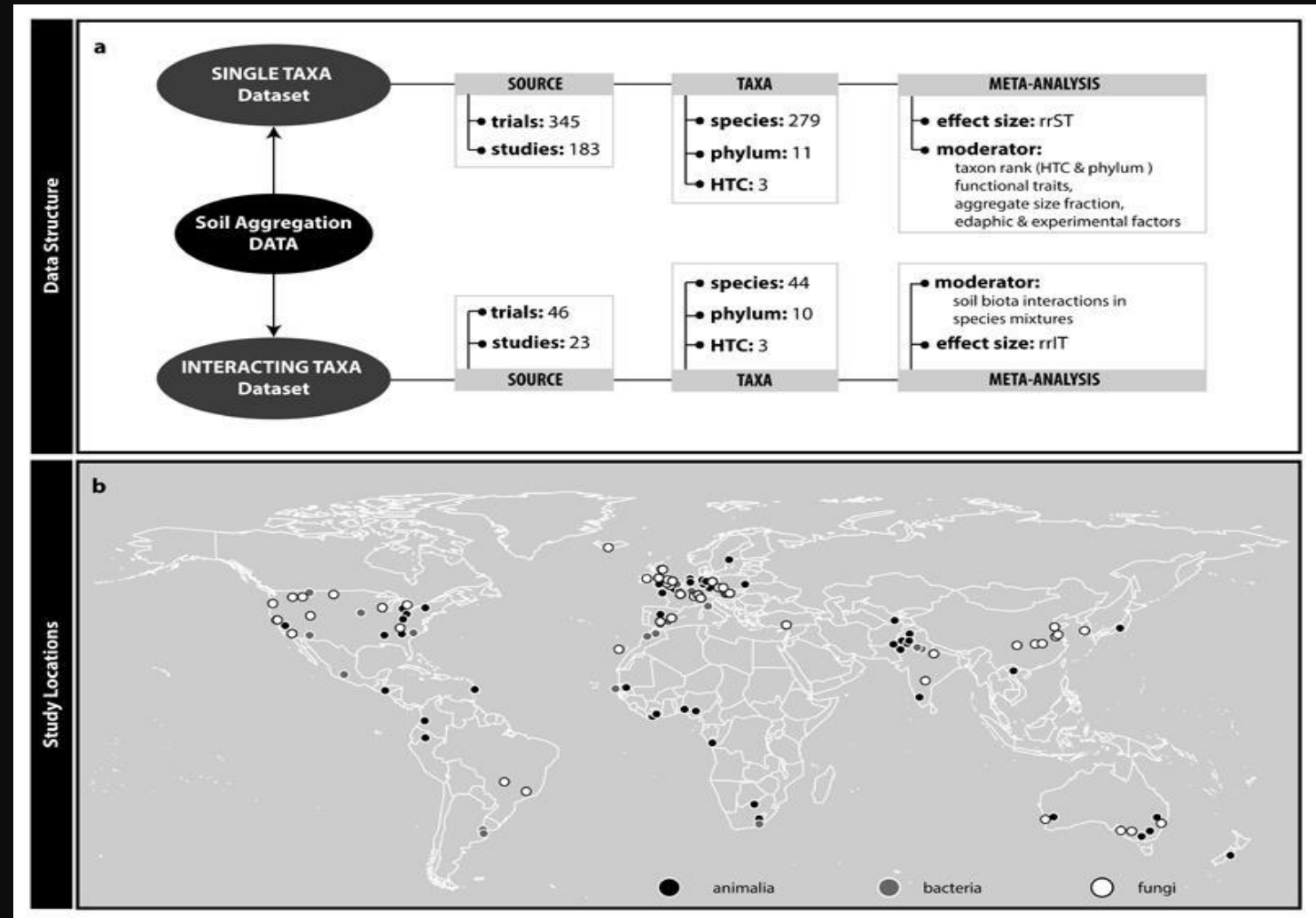
Estructura del suelo

- La disposición de partículas del suelo agregadas y asociadas a la red porosa.

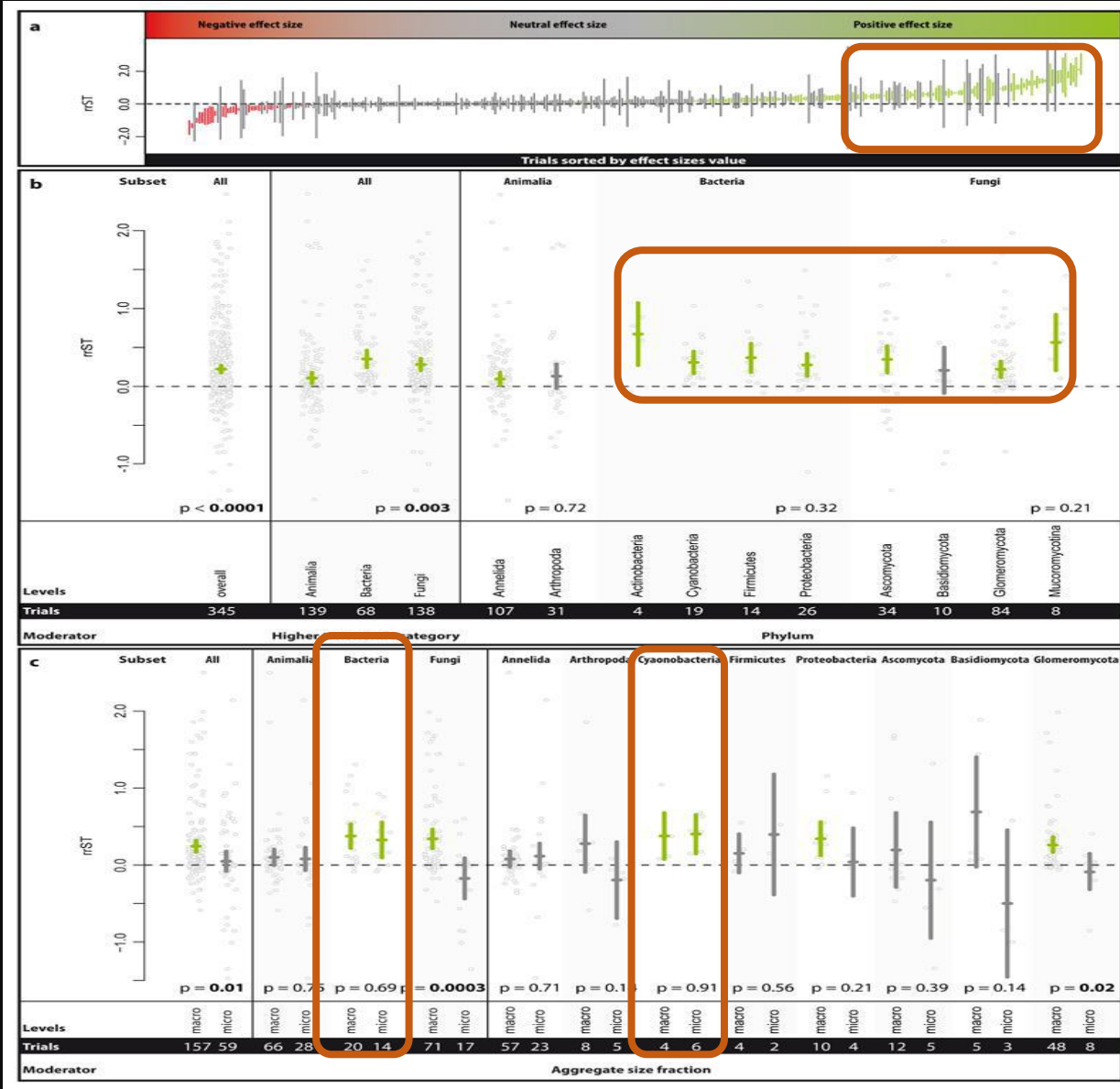


La biota del suelo contribuye a la acumulación del suelo

- Meta-análisis global comprometiendo a 279 especies de biota de suelo.

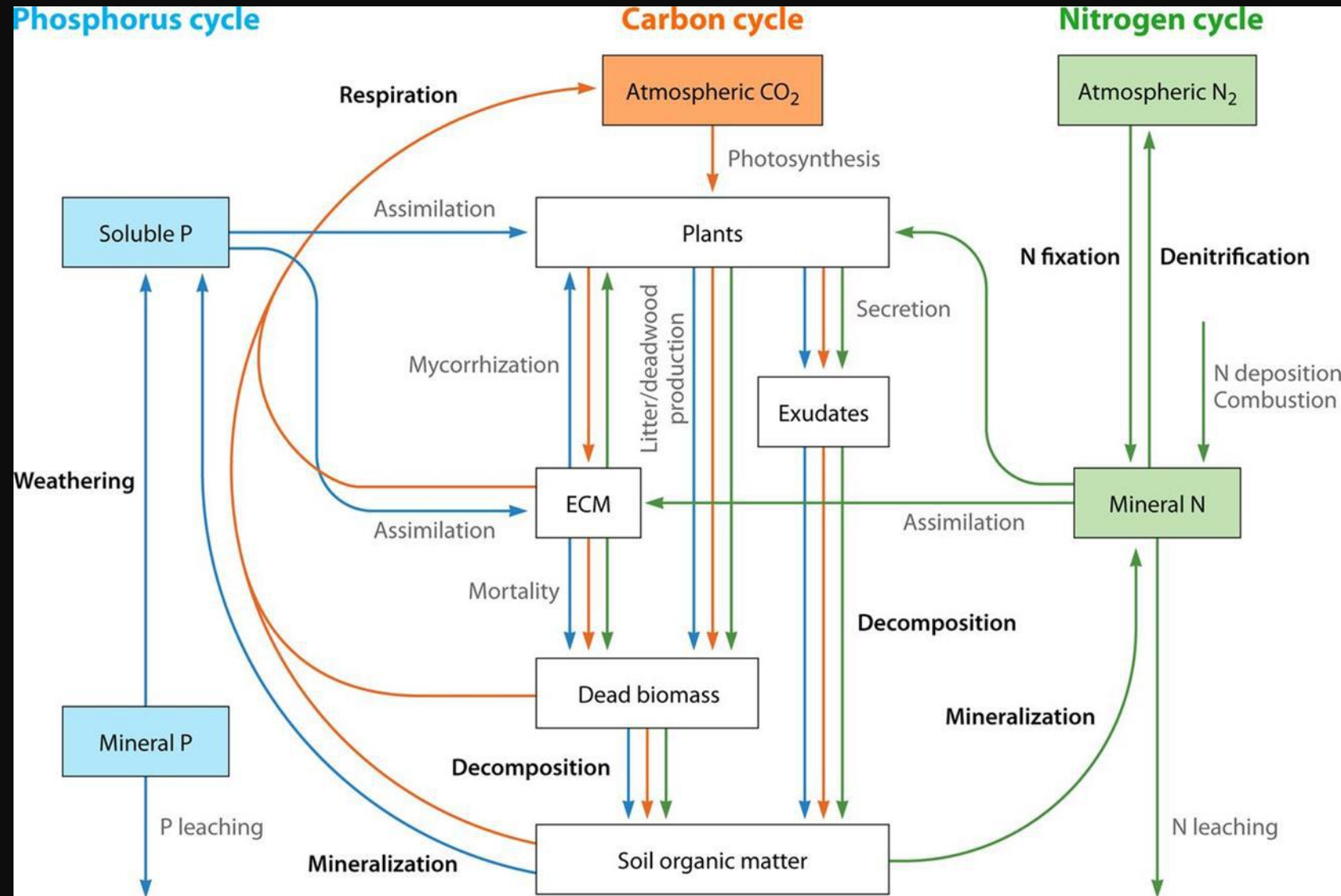


Nat Ecol Evol. 2017 Dec; 1(12): 1828–1835.

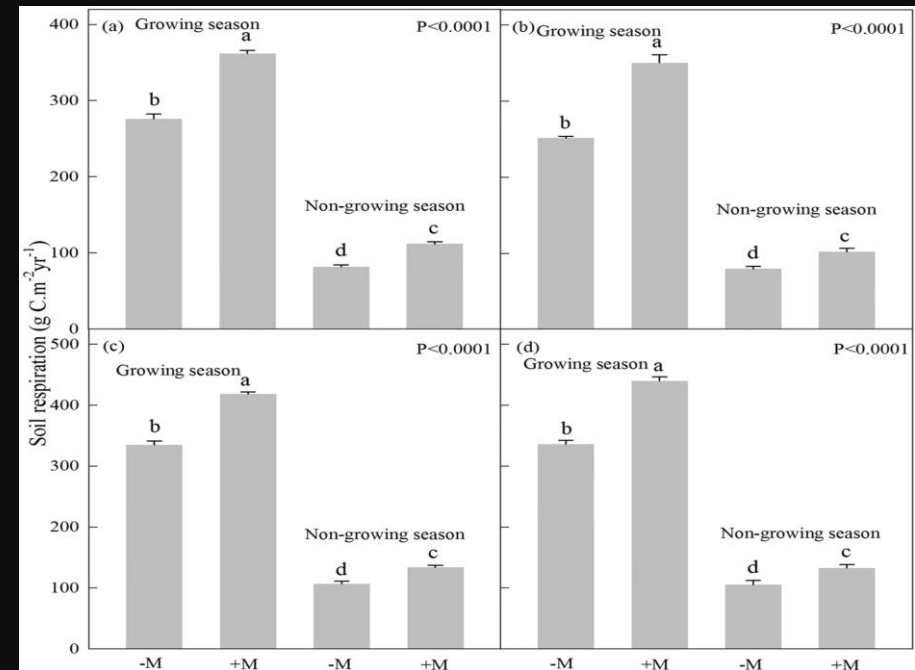
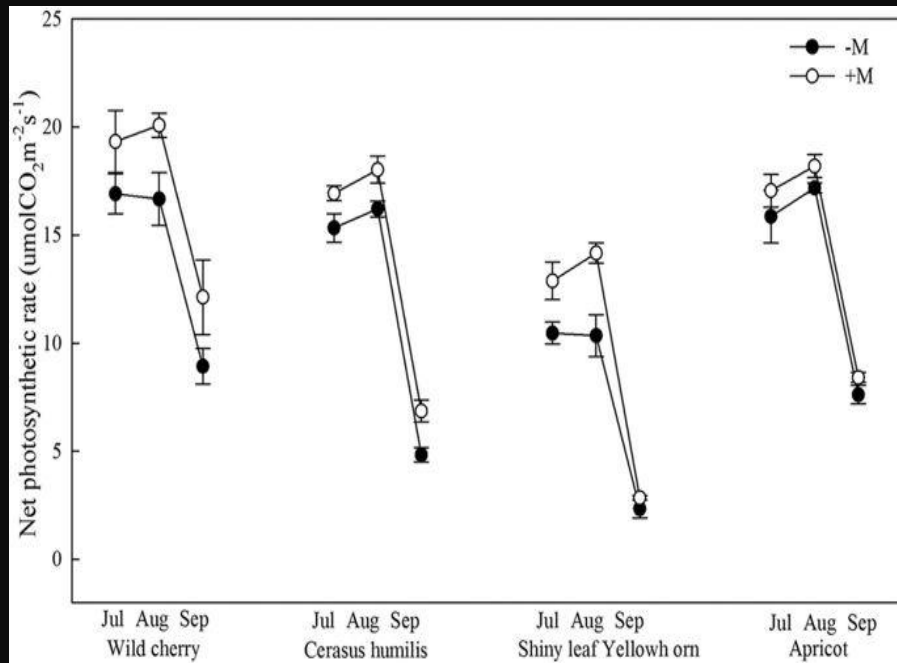


Los microorganismos del suelo contribuyen al funcionamiento del ecosistema

- Principales elementos del ciclo
- Fijación del nitrógeno
- Fosfato soluble
- Ciclo del carbono

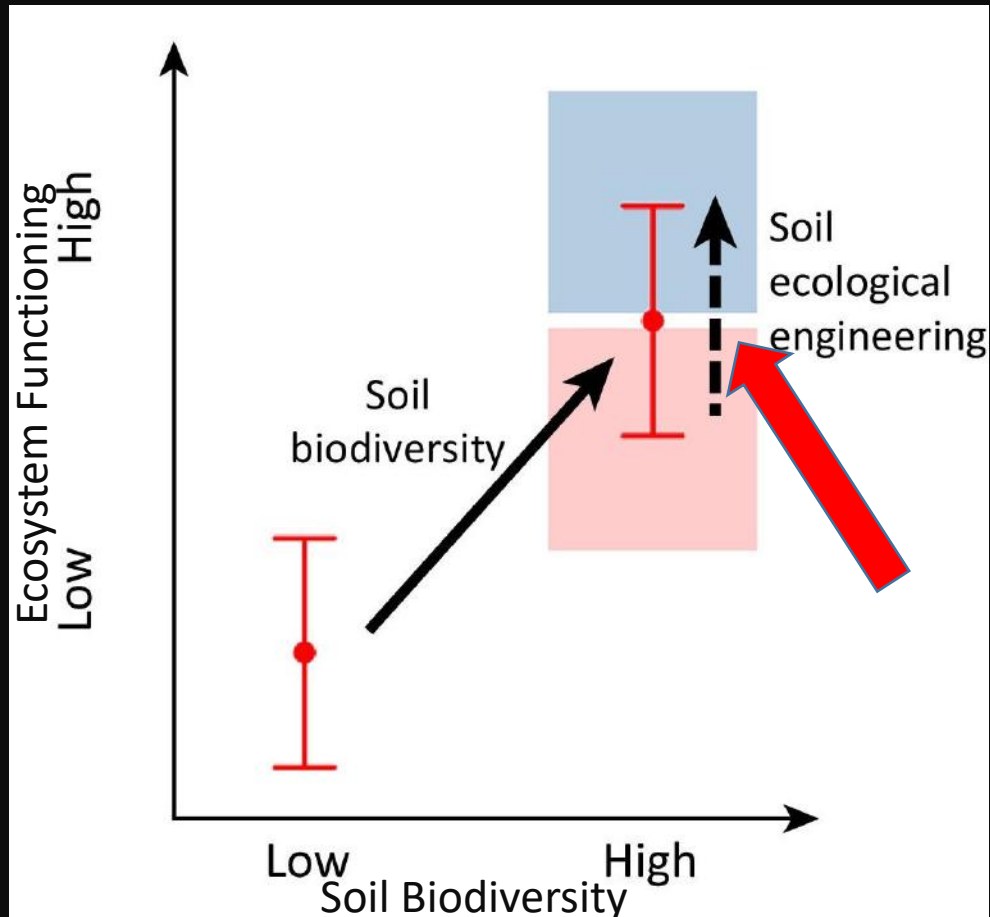


El tratamiento de HMA (hongos micorrízicos arbusculares) pueden aumentar el funcionamiento del ecosistema



Scientific Reports 2016, 6, Article number: 34336.

Efectos de la biodiversidad del suelo en el funcionamiento del ecosistema

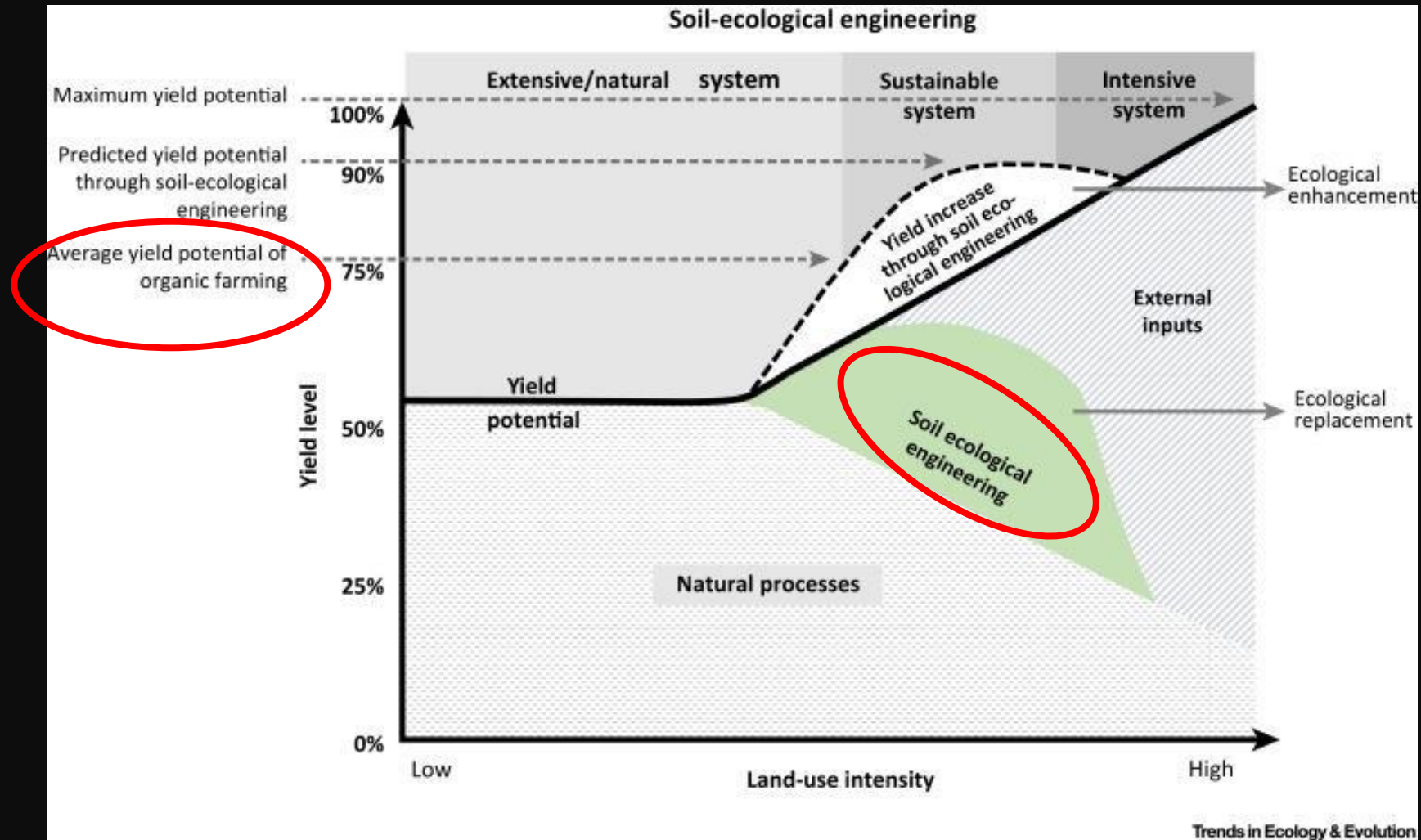


Una diversidad biológica más alta del suelo lleva a un nivel más alto de multifuncionalidad del ecosistema (una medida del rendimiento simultáneo de las múltiples funciones del ecosistema).

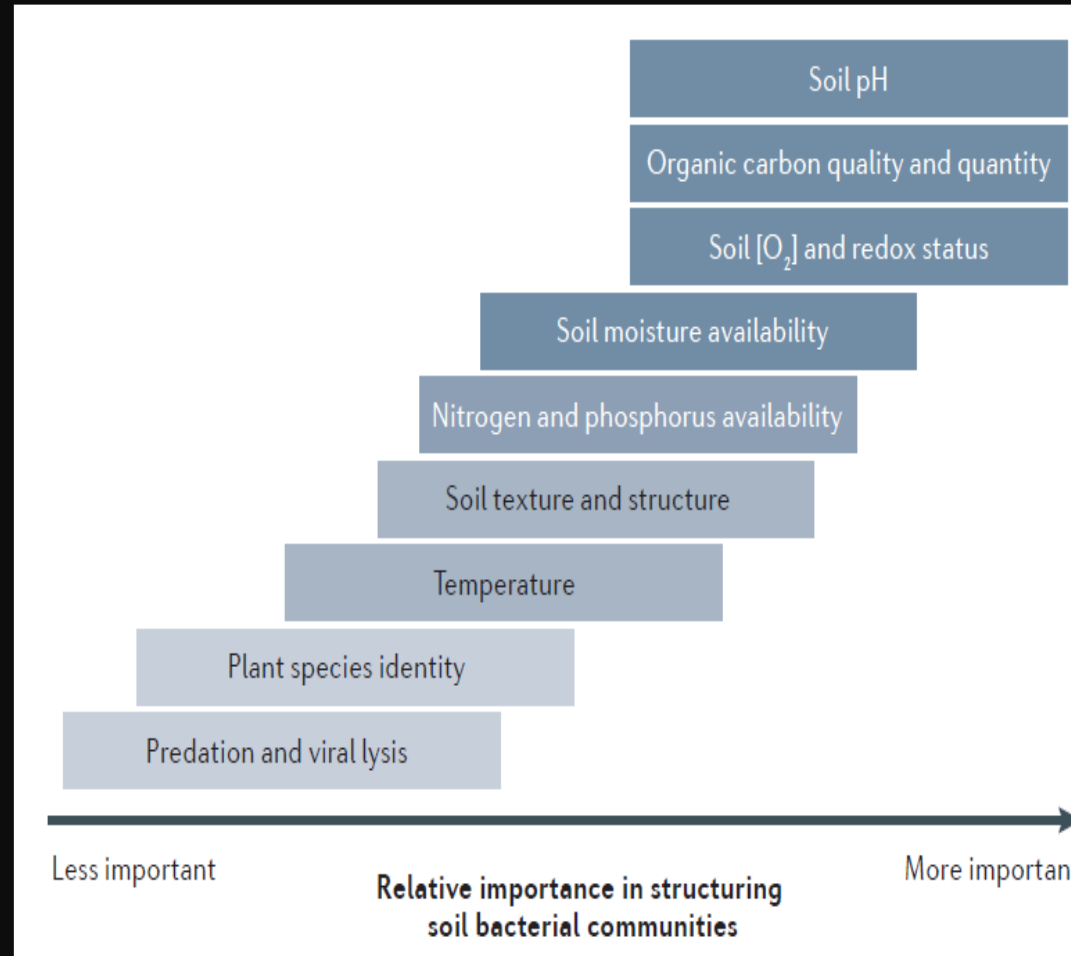
Además, para tener un efecto máximo en la multifuncionalidad del ecosistema, la composición de la comunidad de suelo, tendrá que ser optimizada.

Bender (2016) Trends in Ecology & Evolution 31, 440-452

Ingeniería ecológica del suelo



¿Qué es lo que degradará/reducirá la biota del suelo?



Fierer 2017 Nature Reviews Microbiology 15:579

¿Cómo se mantiene la salud del suelo?

1. La importancia del micro bioma del suelo
2. El uso de NGS para conocer el micro bioma del suelo – la nueva e inteligente agricultura orgánica
3. Rumbo al futuro

Acercamiento a la ingeniería biológica enfocada al suelo

- Revolución subterránea
 - Al integrar el conocimiento en cómo los sistemas biológicos y la diversidad de los suelos funcionan en el manejo del agro ecosistema humano.
 - Agricultura inteligente y enfocada a los micro biomas del suelo.
- Manejo del suelo
 - Minimizar los efectos negativos en la biota del suelo y proveer los beneficios agrícolas deseados
 - Laboreo del suelo reducido o nulo, y cultivos en franja.
 - Combinados con otras medidas, tales como cultivo de cobertura y abonos
 - Mejorar ciegamente la biodiversidad del suelo infiere en la inclusión al azar de más especies. Mantener más de todo de una manera no específica también podría incluir una mayor diversidad de organismos no deseados, tales como patógenos o maleza.
 - Aplicar residuos orgánicos y abonos para reducir la incidencia de plagas y presión de maleza, y para favorecer a la biota del suelo.

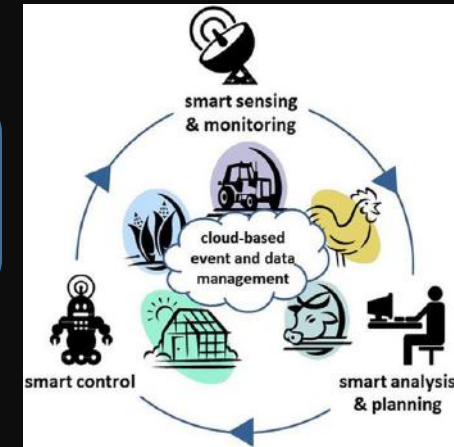
Próxima generación de la agricultura

- Estrategias alternativas y sustentables que permiten **sostener la productividad del cultivo pero con consumo reducido de agroquímicos.**
- Una solución es aprovechar la vida de la rizosfera microbiana y tomar ventaja de los servicios de la planta huésped y el clima.
- Se requiere un entendimiento más profundo de la rizosfera microbiota para el desarrollo de soluciones sostenibles para optimizar el crecimiento de la planta y controlar el problema del patógeno en el futuro.

Acercamiento al microbioma dirigido al suelo

Agricultura inteligente control de cultivo y maleza o nutriente optimizado y adición de agua

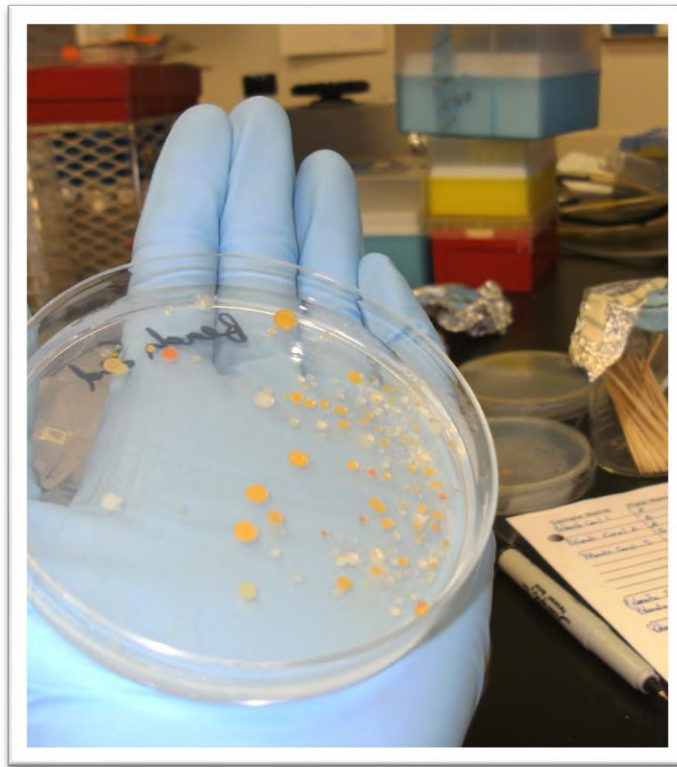
Los cultivos son conservados y la fuente externa, reducida.



- **Problema:** El impacto de la microbiota del suelo en las funciones importantes del agroecosistema (absorción de nutrientes, pérdida de nutriente (filtración), secuestro de carbono, resistencia del patógeno, retención de agua, y síntesis de las hormonas de crecimiento) es solo parcialmente entendido.
- El desarrollo de la nueva tecnología para examinar los microbiomas del suelo, juega un papel importante en la sostenibilidad inteligente: agricultura- cultivo - independencia

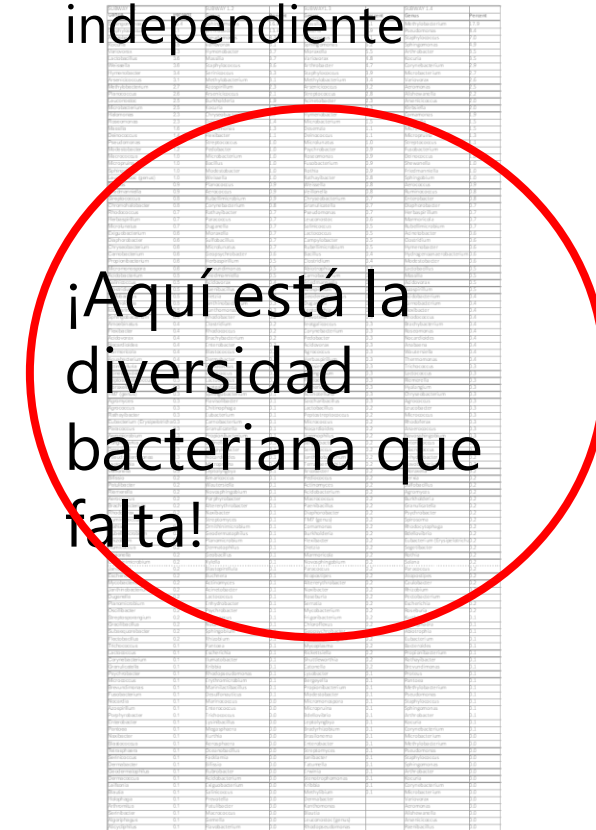
La Gran Anomalía en el Recuento de las Placas

Cultivo-dependiente



~10 tipos distintos de colonias bacterianas

Cultivo-independiente



>200 bacterial genera

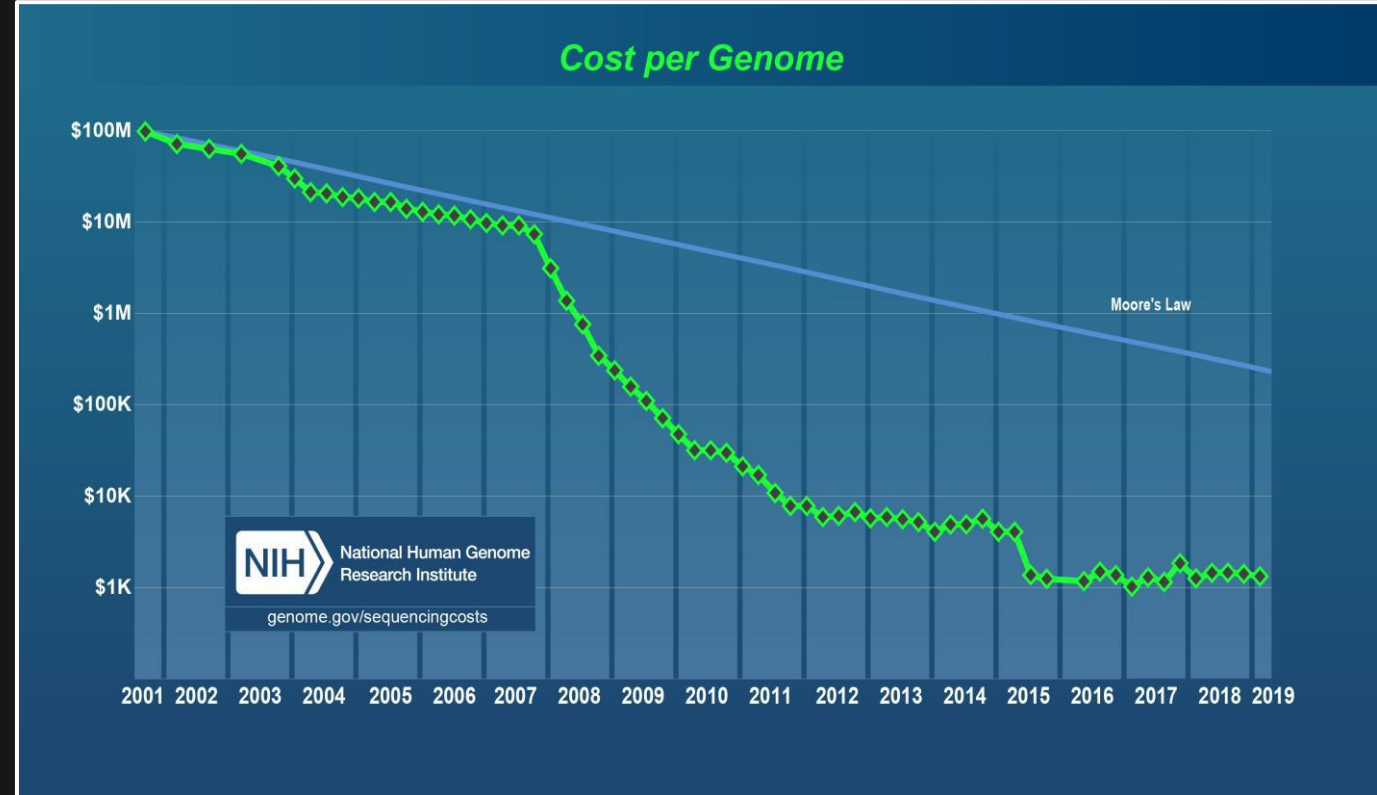
Nuevas tecnologías de secuenciación (NGS, por sus siglas en inglés): nueva tecnología que rápidamente lee las secuencias del genoma y compara los genes entre pruebas múltiples

Tecnología antigua – Proyecto del Genoma Humano 1990-2003

- Más de US \$5 billones
- Más de 20 r Institutos y Universidades de investigación

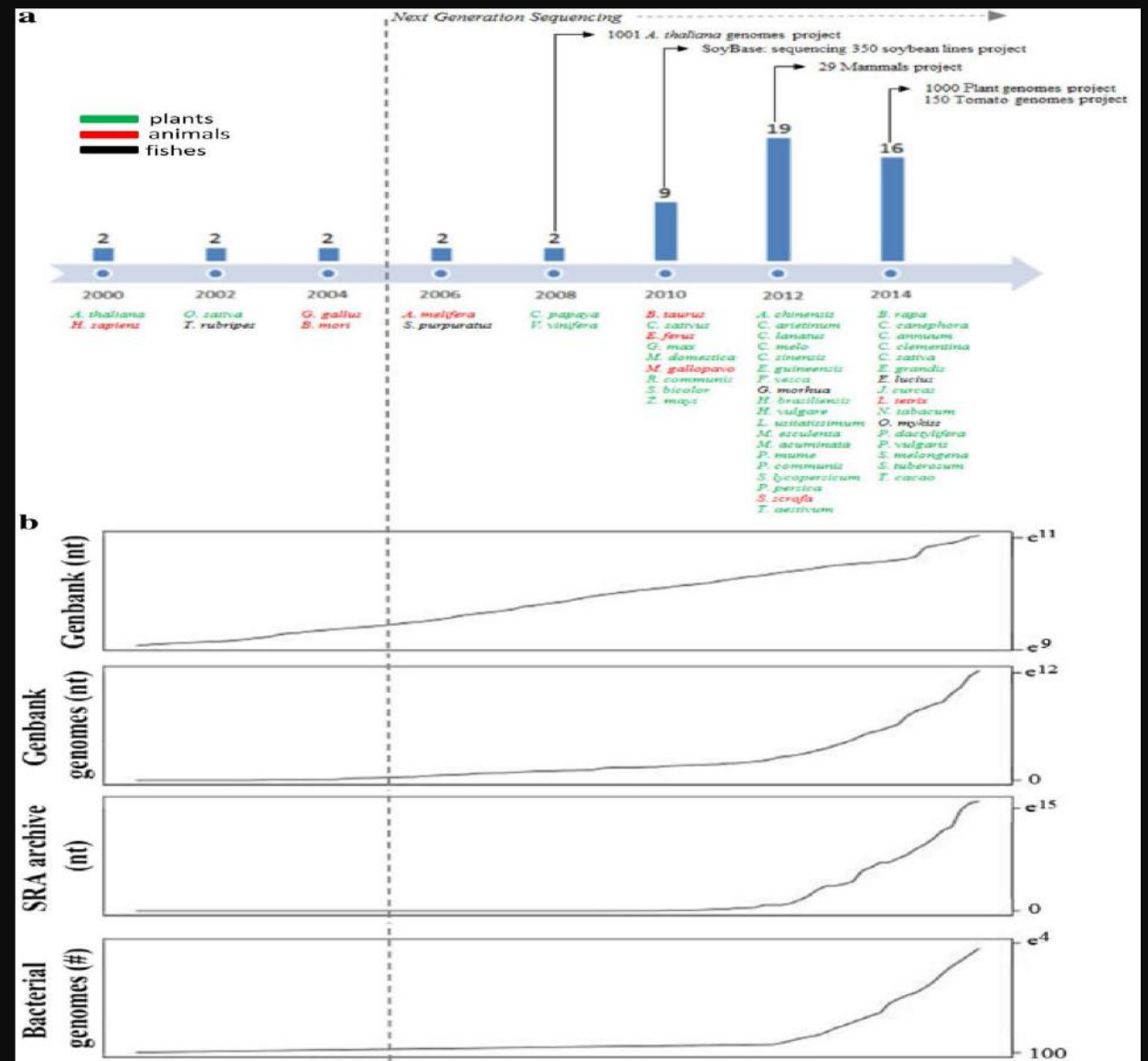
Nueva tecnología- Nuevas tecnologías de secuenciación

- 1-2 semanas
- Aproximadamente US\$2,000
- 1 laboratorio



Línea de tiempo de la liberación de los genomas de interés en agricultura

- El crecimiento en el número de nucleótidos (nt) de GenBank [base de datos de secuencias genéticas] (todas las entradas), los genomas de GenBank (solo los esfuerzos de secuenciación del genoma), y el archivo de lectura de secuenciación [RSA, por sus siglas en inglés] (todas las entradas) y el número (#) de genomas bacterianos (<https://gold.jgi.doe.gov/>) liberados en la misma línea de tiempo.
- Hasta 2016, hay >230 000 bacterianos y >2000 genomas de arqueas disponibles; el portal fúngico <http://jgi.doe.gov/fungi> está dirigido a proveer 1000 genomas fúngicos.

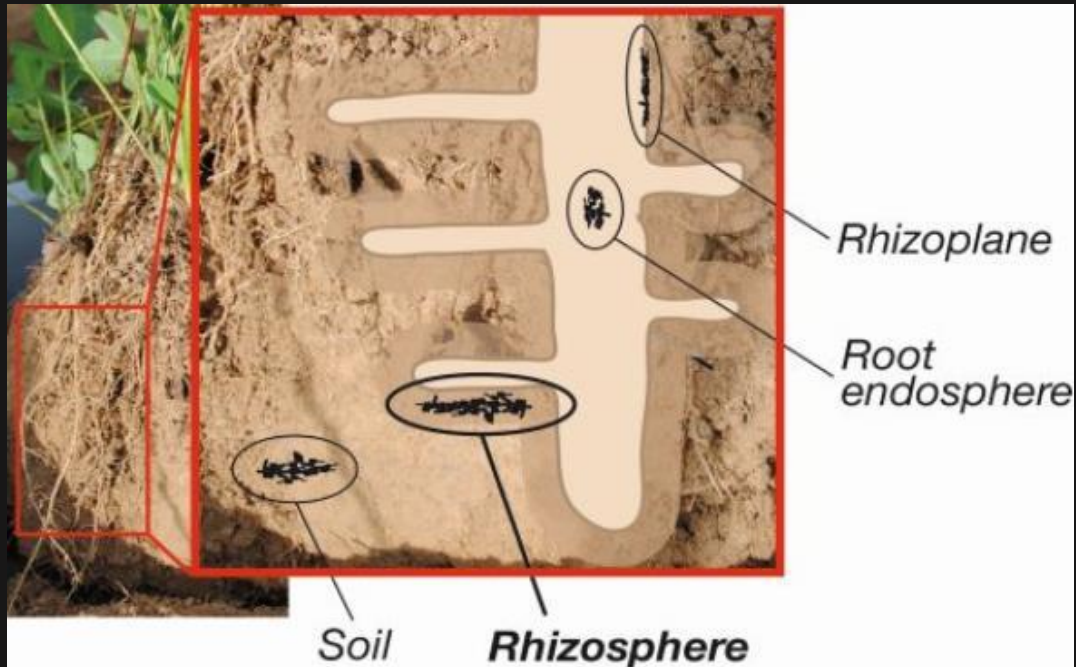


El uso de técnicas NGS para determinar los micro biomas del suelo durante el proceso de realimentación de suelo-planta

Entender el significado funcional y ecológico de las comunidades complejas microbionas de la rizosfera

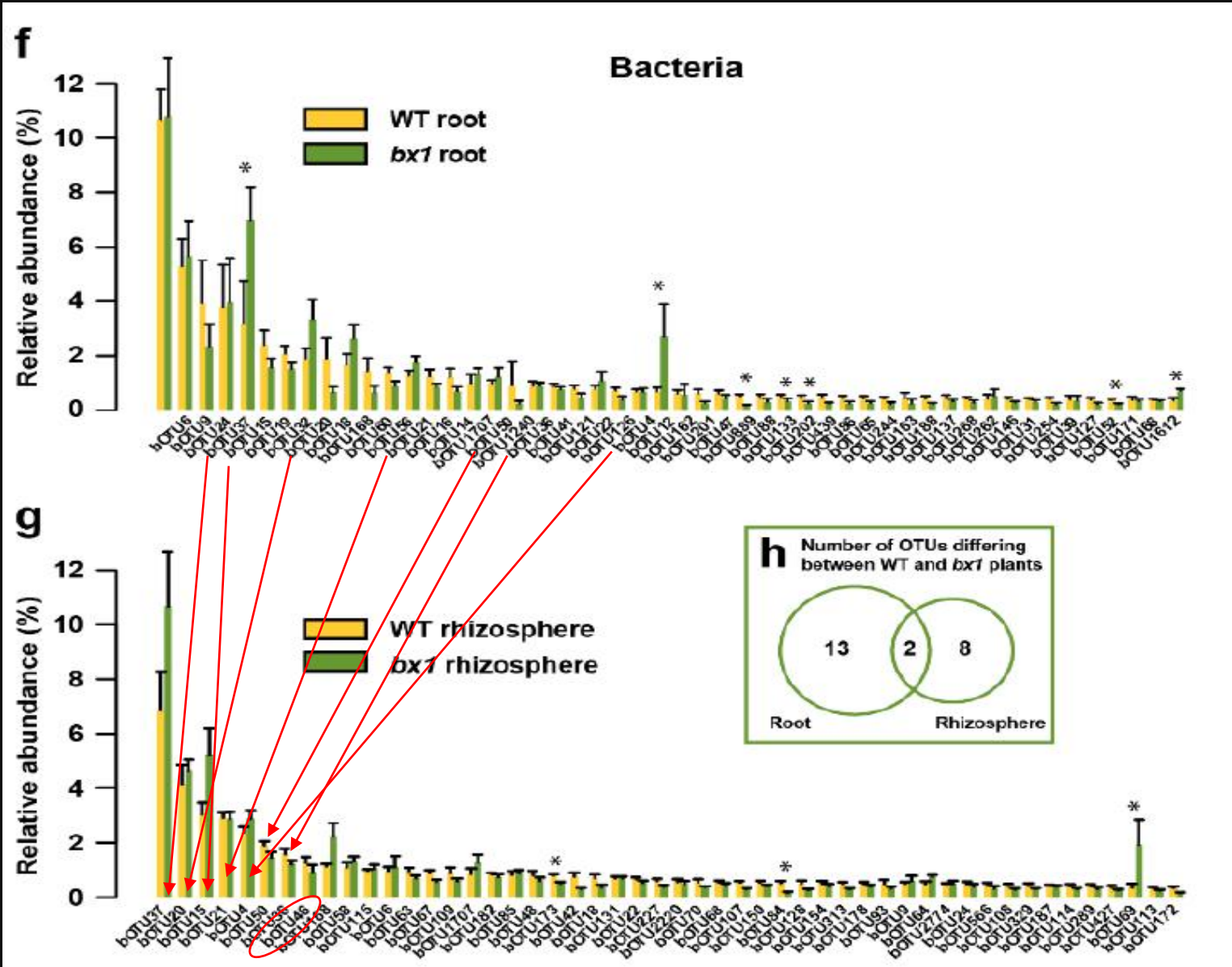
El impacto de la exudación de la raíz en la composición de la comunidad microbiana y los resultados que se reflejan en efectos en el crecimiento y defensa de la planta

Medio ambiente de la Rizosfera



Los Benzoxazinoïdes (BXs) determinan la raíz relacionada a la microbiota

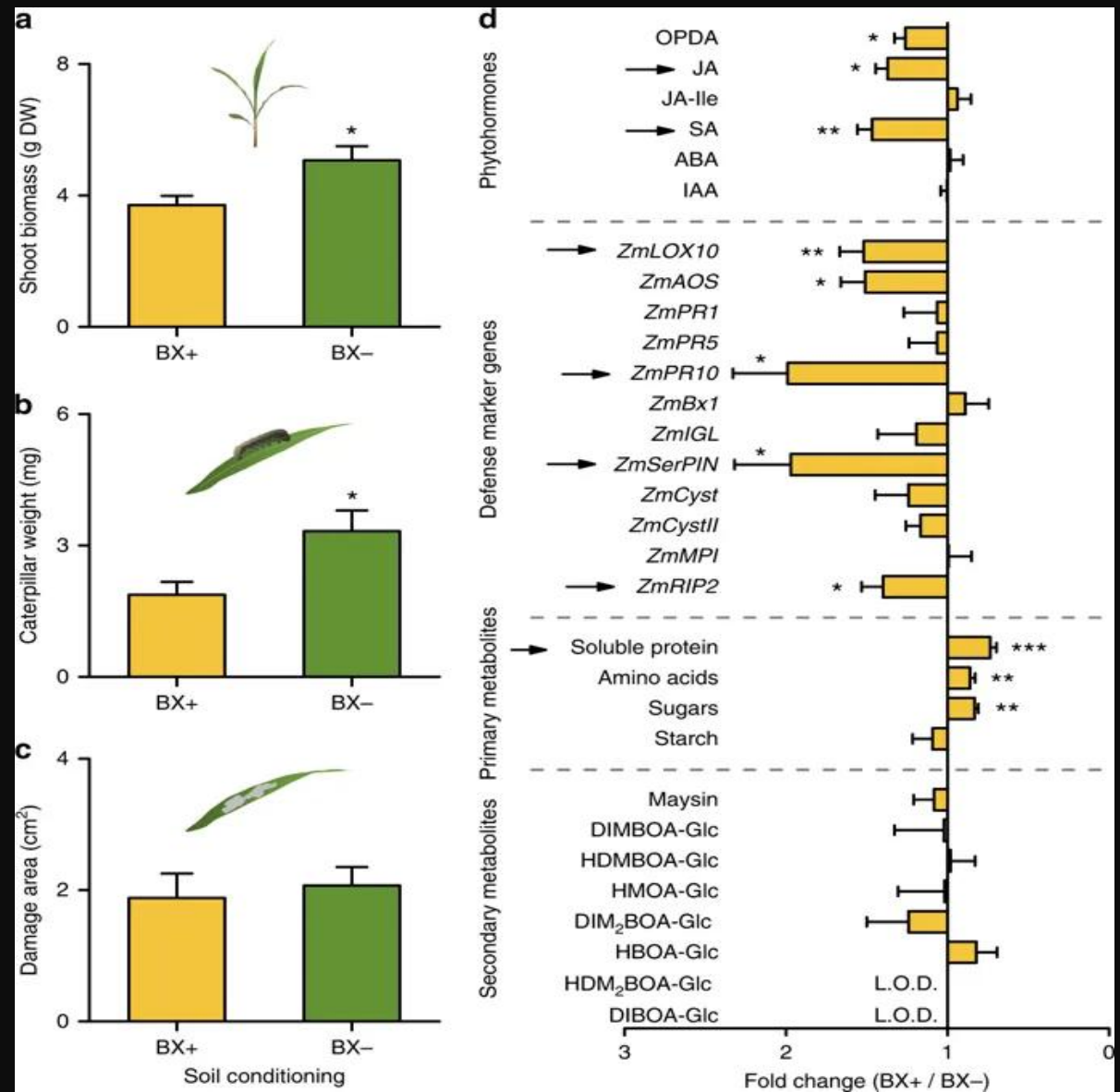
- Tipo silvestre (TS) plantas B73 y una línea isogénica cercana de un *bx1* maíz mutante.
- Insecto -*Spodoptera frugiperda*
- Resultados
 - La exudación diferente de BXs de raíces de maíz está asociada con cambios marcados en la microbiota en las raíces y en la rizosfera
 - La cantidad de bacterias en la rizosfera no está relacionada con la cantidad de bacterias dentro de la raíz.



Hu et al., 2018, Nature Communications volume 9, 2738

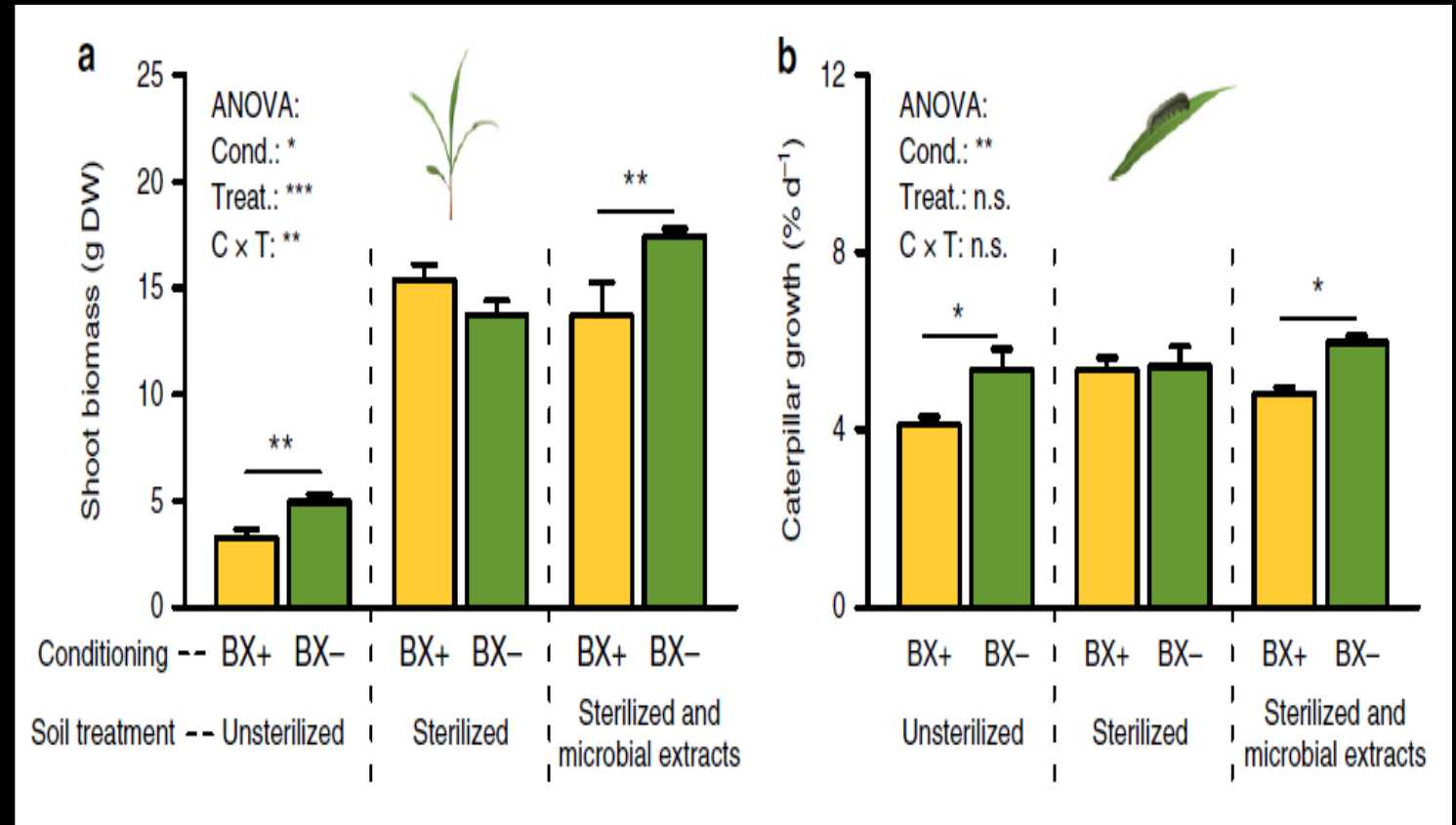
Acondicionamiento del suelo por BX aumenta la defensa de la planta

- Acondicionamiento del suelo
- La expresión aumentada de defensas receptoras de Ácido Jasmónico (AJ)
- Incremento de la supresión de crecimiento herbívoro

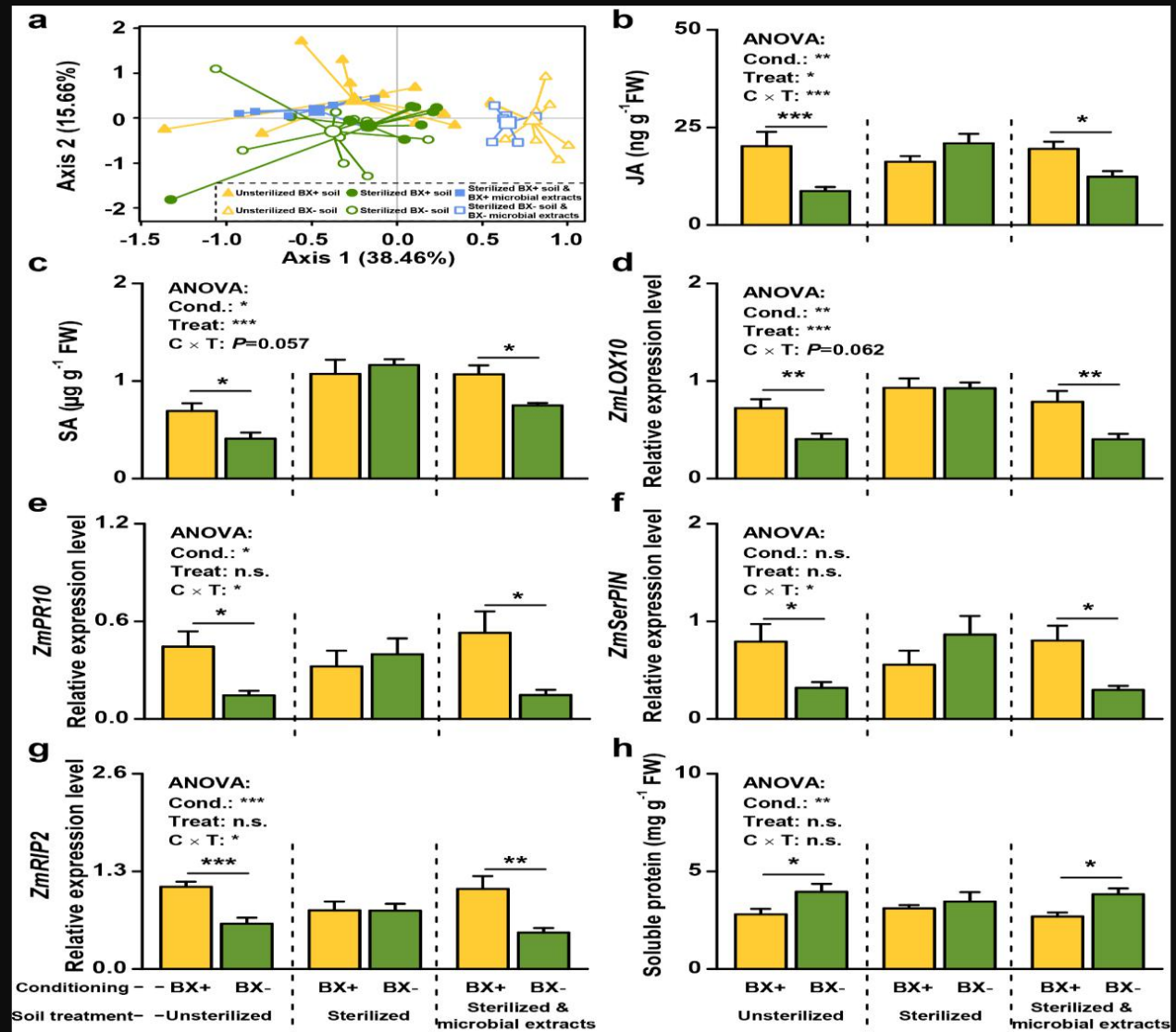


Los cambios en la microbiota del suelo activan los efectos de realimentación

- Los extractos microbianos fueron obtenidos a través de una filtración de 25 μm , lo cual resulta en soluciones que contienen microbios de suelo, pero no miembros de la macro fauna más grande del suelo.
- La complementación con extractos microbianos de BX+ y BX- en suelos restablecidos totalmente de los efectos dependientes de BX- en el crecimiento y defensa de las plantas
- Los micro biomas de suelo pueden actuar como agente de control biológico

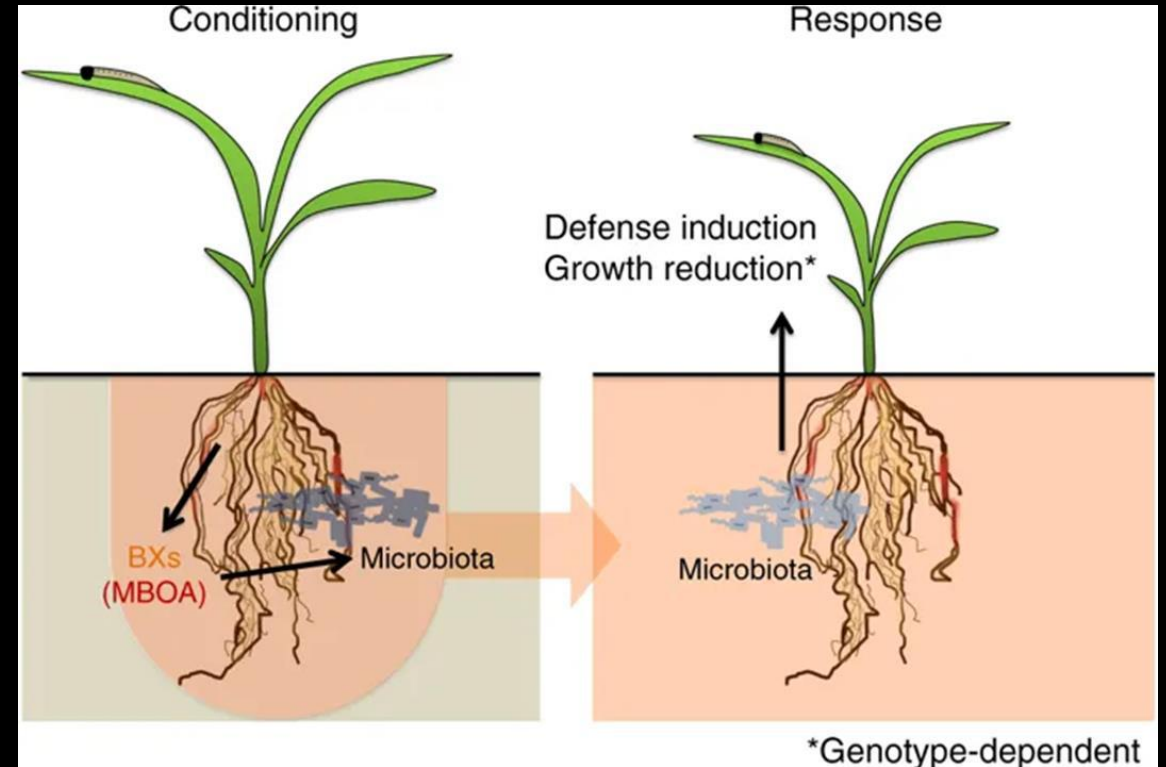


- La complementación con extractos microbianos de BX+ y BX- en suelos restablecidos totalmente de los efectos dependientes de BX- en el crecimiento y defensa de las plantas
- Los micro biomas pueden ser extraídos y aplicados al suelo para la misma función



Las plantas determinan la microbiota del suelo

- Las plantas determinan el crecimiento y defensa de la siguiente generación al cambiar la composición de las comunidades bacterianas y fúngicas en el suelo
- El tipo de plantas determina la composición específica de la microbiota de la rizosfera
- Ingeniería ecológica del suelo

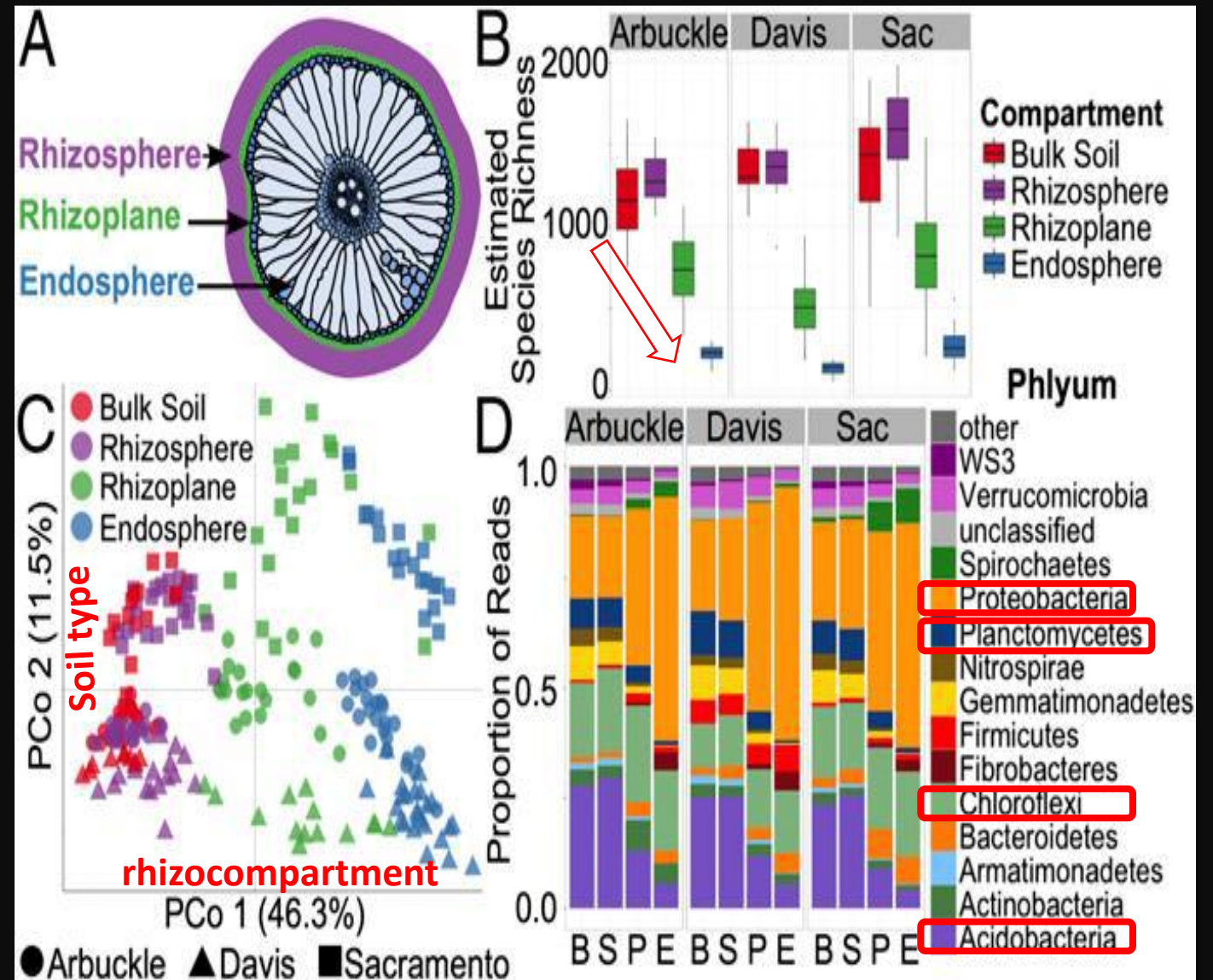


(ii)

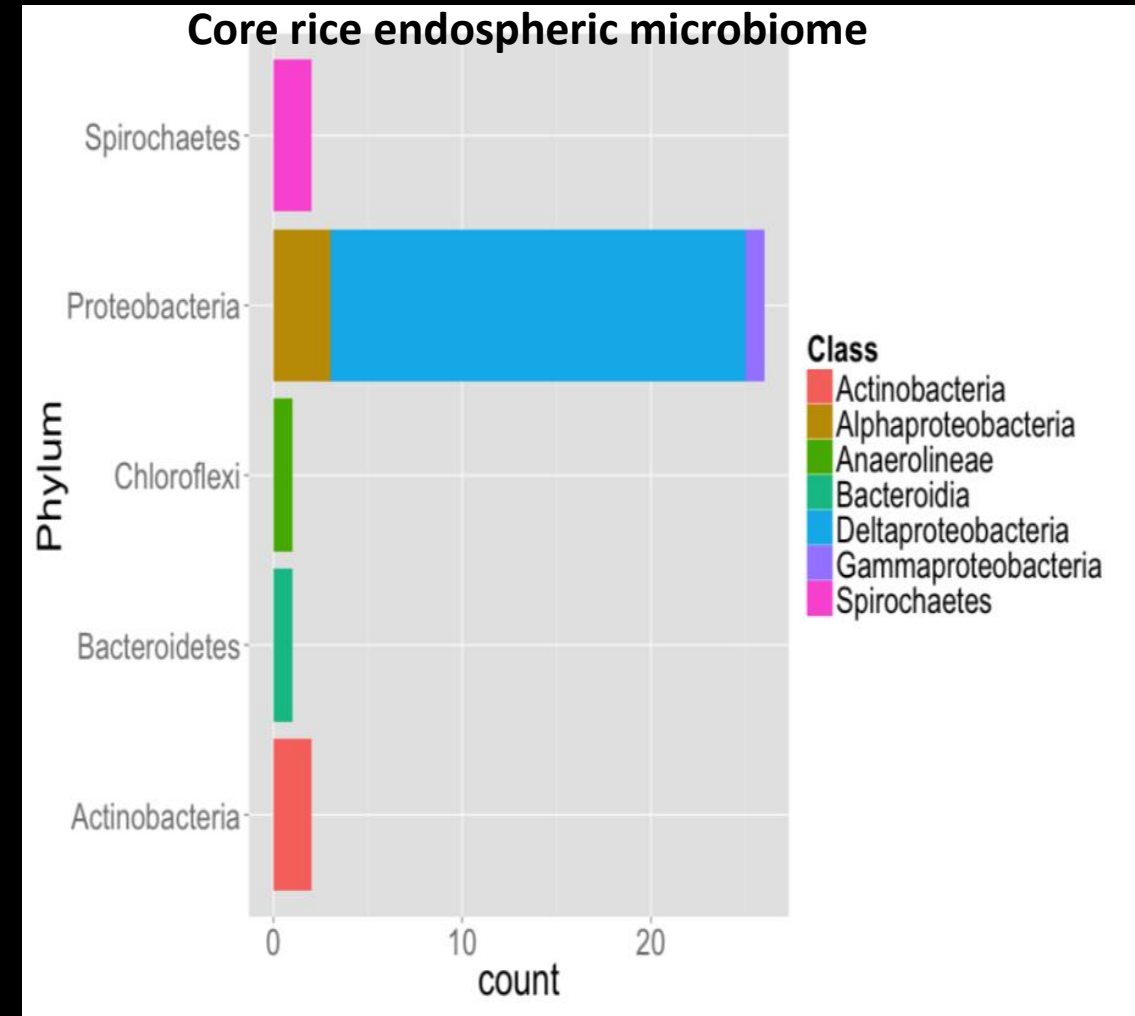
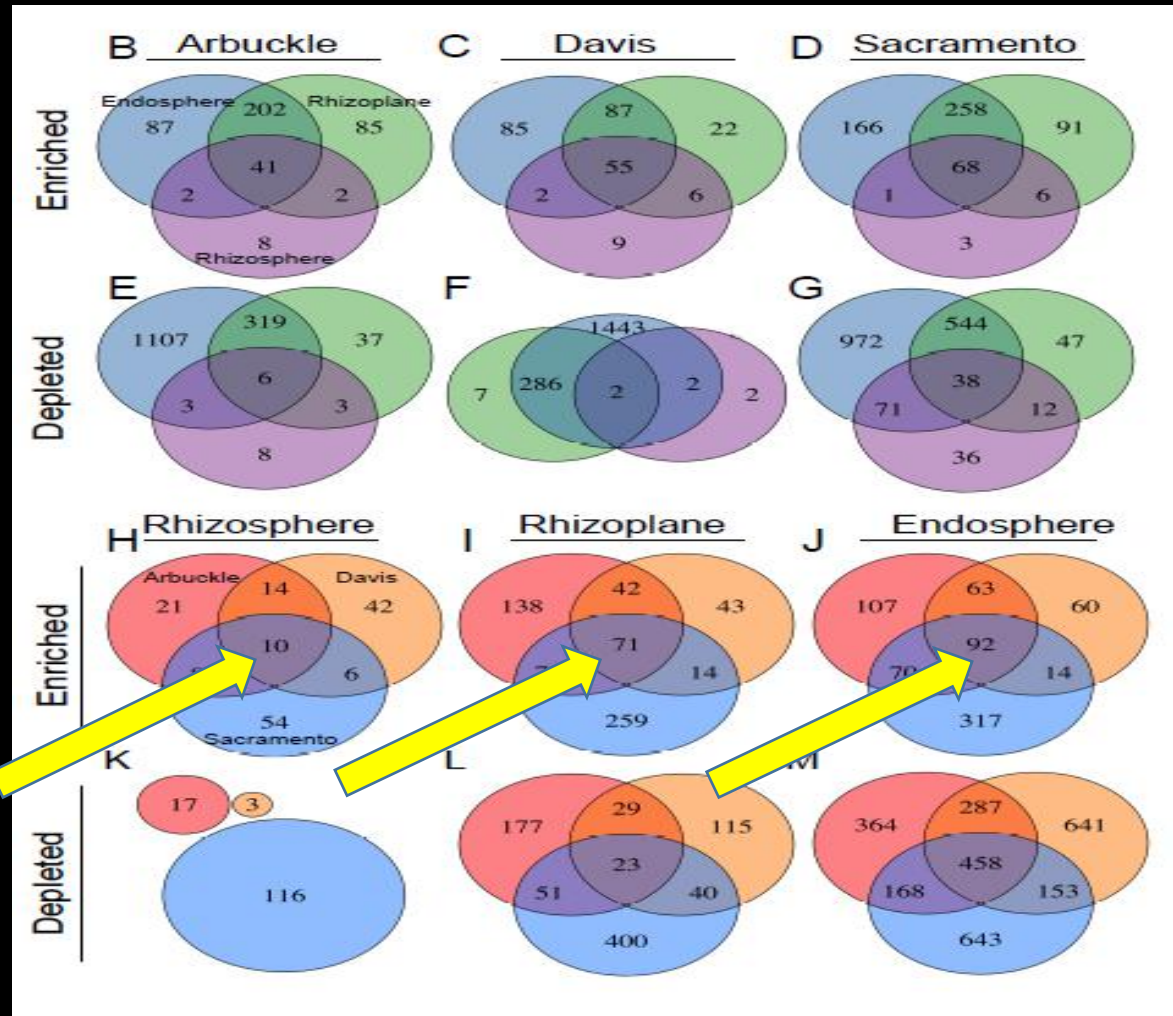
El uso de NGS para identificar el núcleo de
microbiomas de arroz

Las comunidades microbianas asociadas a las raíces se pueden separar por rizo compartimiento y tipo de suelo

- Las mediciones de diversidad dentro de la muestra (diversidad α) indicaron una gradiente creciente desde la rizosfera a la endosfera
- El cambio en la abundancia relativa de micro biomas a través de los compartimentos es consistente
- Las comunidades microbianas colonizando los rizo compartimientos varían por el tipo de suelo



Las distintas fuentes de suelo tienen rasgos comunes y diferencias en OTU diferencialmente abundantes



Microbioma central para cultivos específicos pueden ser establecidos a través del análisis de NGS

- Factores que pueden influir en las micro biomas
 - Genotipo de cultivo
 - Tipo de suelo
 - Fuente de suelo
 - Rizocompartimento
 - Funcionalidad

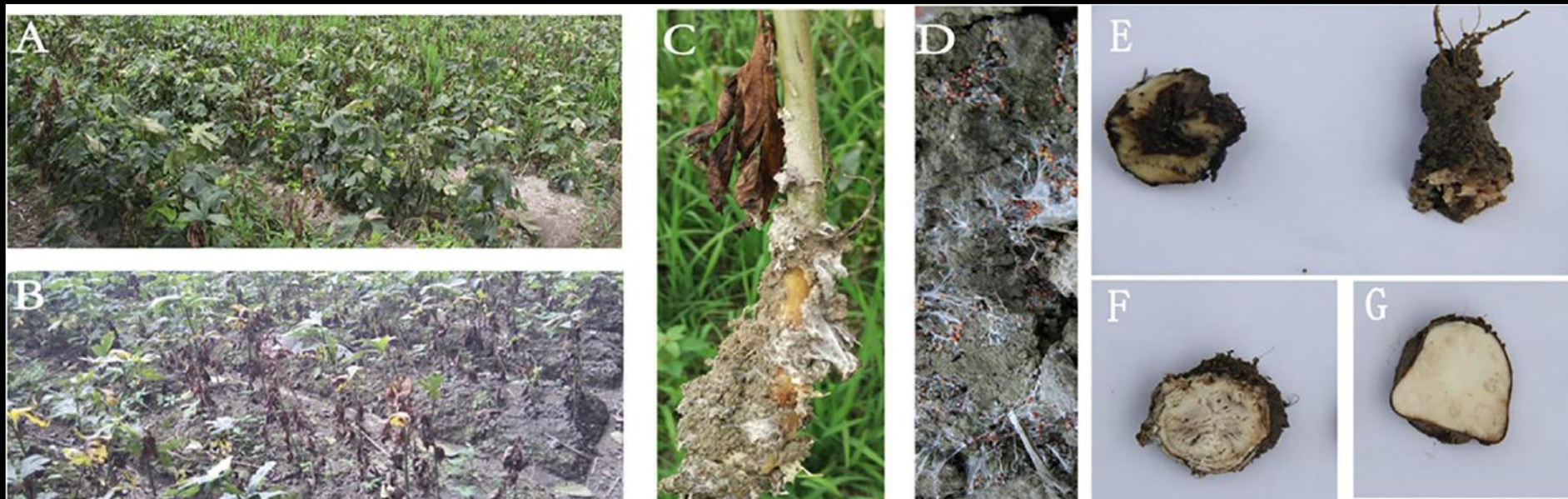
(iii)

El uso de NGS para identificar los patógenos

El protocolo para encontrar patógenos

- Recoger suelo infectado y saludable
- Extracción de ADN y 16S rRNA/ITS amplificación de PCR
- Análisis de NGS
- Análisis de diversidad y estructura de la comunidad
- Aislamiento e identificación de patógenos
- Infección patogénica y confirmación

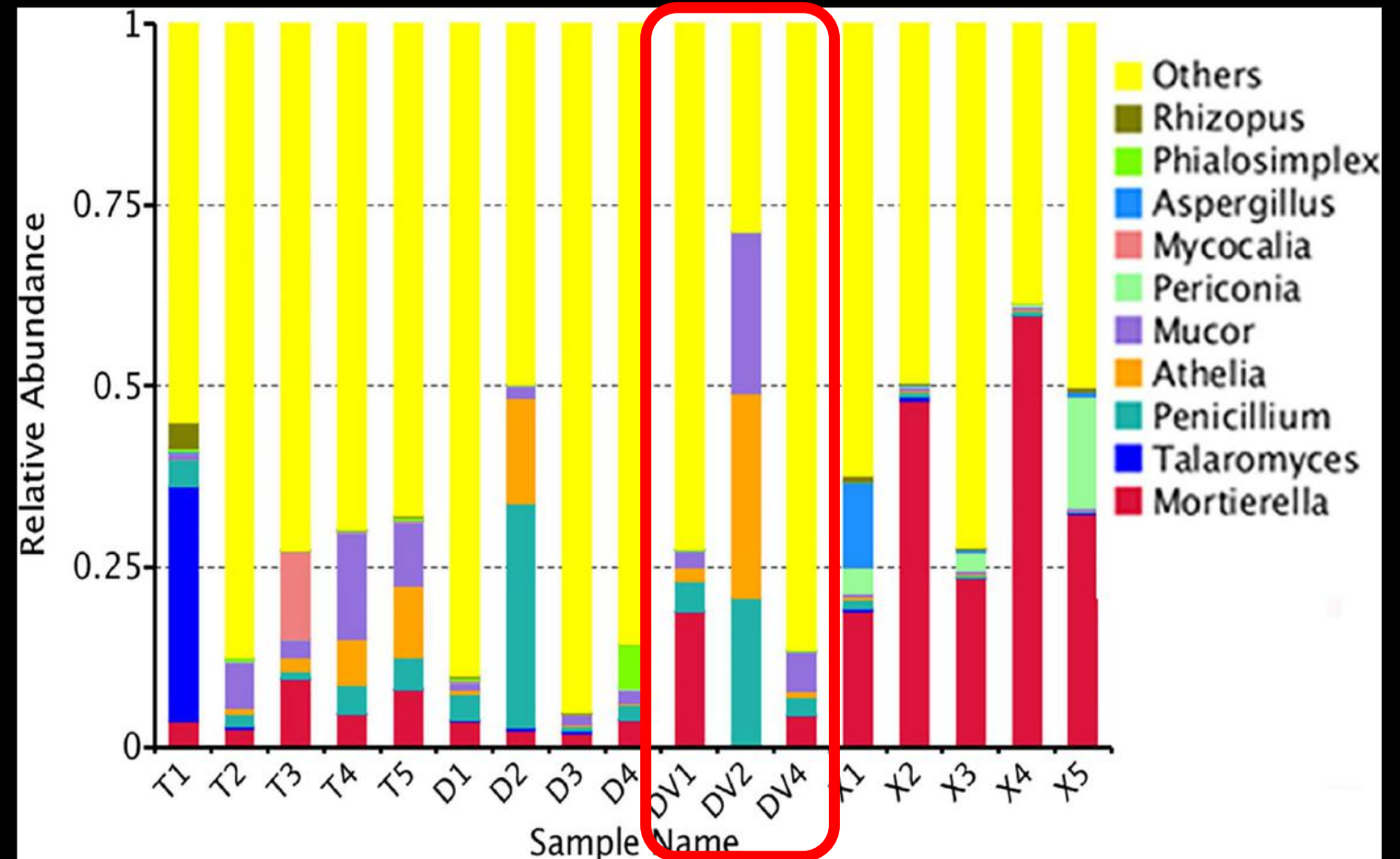
- *Aconitum carmichaelii* Debx 附子- una hierba típica de la Medicina Tradicional China (MTC)
- **Fuzi**, las raíces laterales de *A. carmichaelii* Debx., ha sido ampliamente usada como cardiotónica, analgésico, antiinflamatorio, y como agente diurético para el tratamiento de resfriados, poli artralgia, diarrea, insuficiencia cardíaca, beriberi, y edema.
- **Putrefacción de la raíz**- producción baja, la que es difícil de remediar usando métodos tradicionales.
 - Hojas café (o rojizo morado) y caída – marchitez
 - La epidermis de la raíz pudriéndose primero y las raíces aéreas cayéndose.
 - En la última etapa de la enfermedad, las raíces emitieron un olor fétido, y se observó hifa blanca en



Wang et al., (2018) PLoS ONE 13 (10): e0205891

Abundancia relativa de hongo de rizosfera alrededor de las raíces de la Fuzi a nivel de género

- Con un 97% de identidad, las bibliotecas de hongos reprodujeron 12,266 OTUs
 - 9198 (75%) fueron únicas,
 - cada muestra de suelo proporcionó un promedio en OTUs de 722



Mapa de calor de la abundancia del hongo de la rizosfera a nivel de género

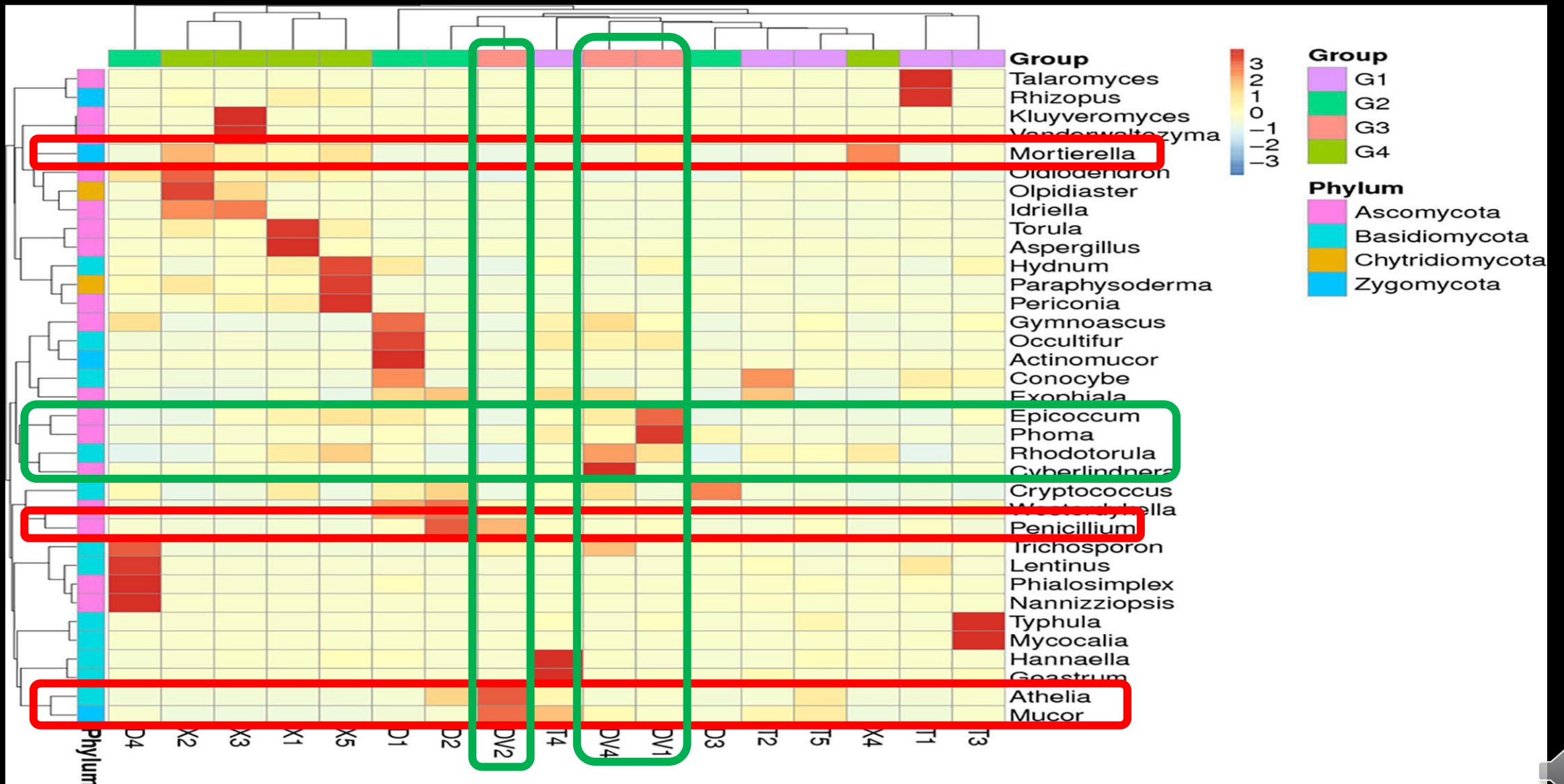


Table 2. Relative abundance of rhizosphere fungi around Fuzi roots.

Fungus species	Relative abundance in rhizosphere soils (%)			
	G1	G2	G3	G4
<i>Mortierella alpina</i>	0.003721±0.0008	0.005126±0.0049	0.001115±0.0005	0.289409±0.1870
<i>Talaromyces turbureogenus</i>	0.065368±0.0443	0.001136±0.0010	0.000138±0.0001	0.001379±0.0013
<i>Penicillium simplicissimum</i>	0.024462±0.0145	0.086455±0.0778	0.073272±0.0680	0.004989±0.0038
<i>Athelia rolfsii</i>	0.038677±0.0221	0.038367±0.0209	0.102828±0.0956	0.001797±0.0008
<i>Mucor racemosus</i>	0.059967±0.0479	0.014398±0.0045	0.093584±0.0734	0.001925±0.0007
<i>Mortierella chlamydospora</i>	0.041382±0.0312	0.010645±0.0058	0.07352±0.0580	0.001879±0.0006
<i>Periconia byssoides</i>	0.000752±0.0003	0.000996±0.0006	0.000048±0.0000	0.044616±0.0331
<i>Mycocalia denudata</i>	0.025143±0.0138	0.000268±0.0002	0.000014±0.0000	0.000244±0.0002
<i>Aspergillus tamarii</i>	0.000211±0.0001	0.000134±0.0001	0.000007±0.0000	0.02601±0.0110
<i>Phialosimplex caninus</i>	0.002912±0.0018	0.016984±0.0099	0.001149±0.0010	0.000219±0.0002
<i>Mortierella ambigua</i>	0.000756±0.0002	0.001482±0.0004	0.000213±0.0002	0.03273±0.0244
<i>Mortierella oligospora</i>	0.001161±0.0004	0.000661±0.0008	0	0.026704±0.0222
<i>Rhizopus arrhizus</i>	0.007529±0.0016	0.000263±0.0001	0.000076±0.0000	0.002817±0.0027
<i>Conocybe macrospora</i>	0.002577±0.0011	0.008151±0.0045	0.000255±0.0001	0.000496±0.0002
<i>Olpidiaster brassicae</i>	0.000322±0.0001	0.000196±0.0001	0.000096±0.0000	0.009115±0.0073
<i>Conocybe coprophila</i>	0.008541±0.0053	0.000780±0.0005	0.000028±0.0000	0.000058±0.0000
<i>Hannaella oryzae</i>	0.006088±0.0041	0.000909±0.0006	0.000847±0.0006	0.001747±0.0011
<i>Mortierella hypsicladia</i>	0.005555±0.0020	0.008900±0.0017	0.002154±0.0011	0.000525±0.0004
<i>Mortierella capitata</i>	0.000376±0.0003	0.000160±0.0001	0	0.007603±0.0034
<i>Kluyveromyces hubeiensis</i>	0.000045±0.0000	0.00001±0.0000	0.000014±0.0000	0.004328±0.0016
<i>Penicillium oxalicum</i>	0.000946±0.0005	0.001223±0.0010	0.006925±0.0018	0.001218±0.0010
<i>Lentinus squarrosulus</i>	0.001627±0.0009	0.005152±0.0011	0.000021±0.0000	0.000021±0.0000
<i>Penicillium solitum</i>	0.000206±0.0002	0.000284±0.0002	0.006814±0.0011	0.000025±0.0000
<i>Mortierella exigua</i>	0.000644±0.0002	0.000191±0.0000	0.000034±0.0000	0.005513±0.0039

Patógenos candidatos principales/agentes de bio-control de podredumbre de raíces de fuzi

- *A. rolfsii* - *Sclerotium rolfsii*
 - Un patógeno facultativo de planta y el agente causal de la enfermedad “Tizón del Sur” en cultivos tales como la papa, soya, girasol y algunas plantas ornamentales. Este patógeno está limitado a calentar y humedecer territorios (tales como *Jiangyoucen* China) con un promedio diario de aire con temperaturas de entre 30-33°
- *Mucor racemosus*
 - Un patógeno causante de pudrición blanda en tomate *cherry*.
- *Mortierella*
 - Una función en el mantenimiento del balance micro-ecológico al eliminar patógenos del suelo a través de la competencia por nutrientes y por la ayuda de plantas huésped con absorción de fósforo/nitrógeno.
- *P. simplicissimum*
 - Un hongo promotor del crecimiento vegetal que incluye la Resistencia de la planta a través de la activación de organismos de defensa

- Es posible determinar los patógenos y agentes de bio control mediante la técnica NGS.

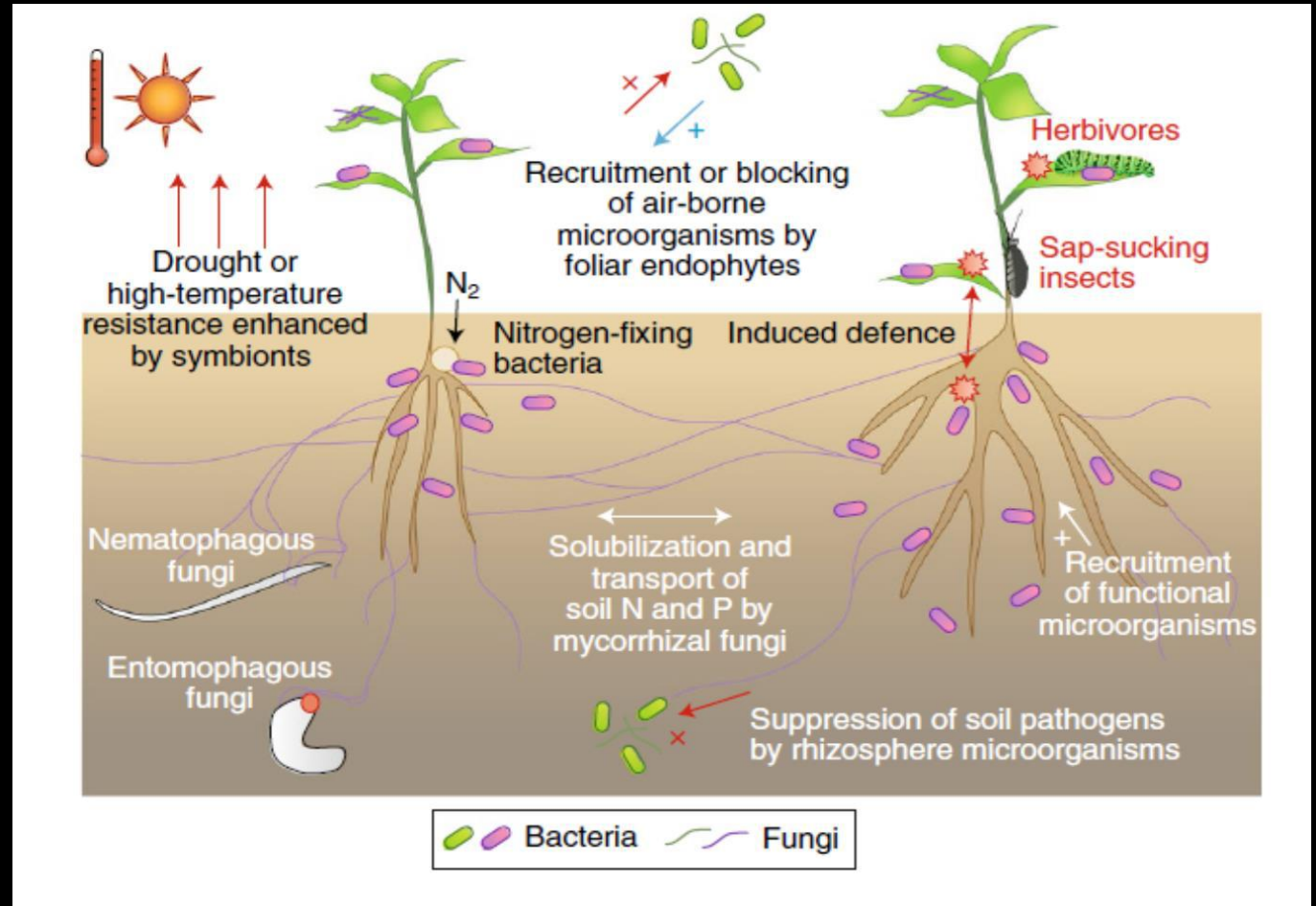
¿Cómo se mantiene la salud del suelo?

1. La importancia de las microbiomas del suelo.
2. El uso de NGS en el entendimiento de microbiomas del suelo – la nueva e inteligente agricultura orgánica.
3. Direcciones futuras

Micro biomas básicos y agricultura inteligente y sostenible.

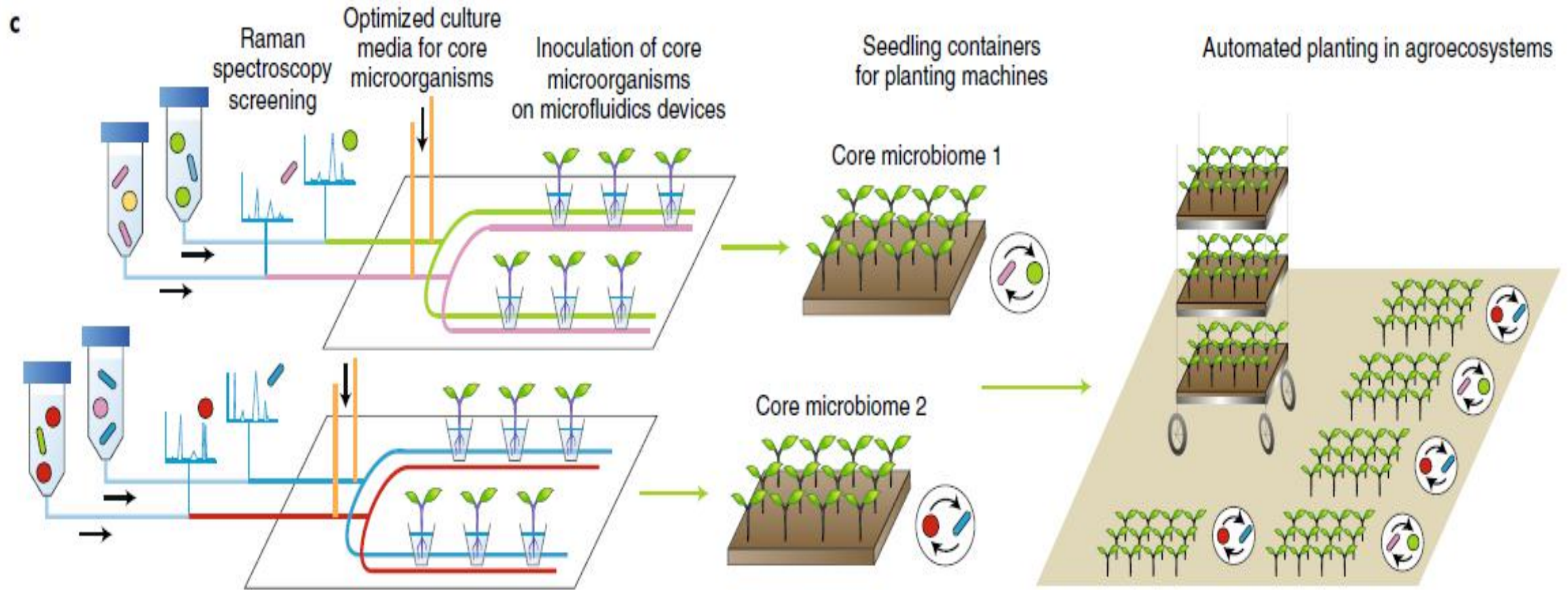
Nueva agricultura ecológica inteligente para agro sistemas sostenibles

- Las plantas dependen de interacciones entre **raíces y microbios** para la **disponibilidad de nutrientes, promoción del crecimiento y suspensión de enfermedades**.
- Grupos de micro organismos centrales que se pueden utilizar para **optimizar las funciones microbianas** a nivel de plantas y ecosistemas individuales.

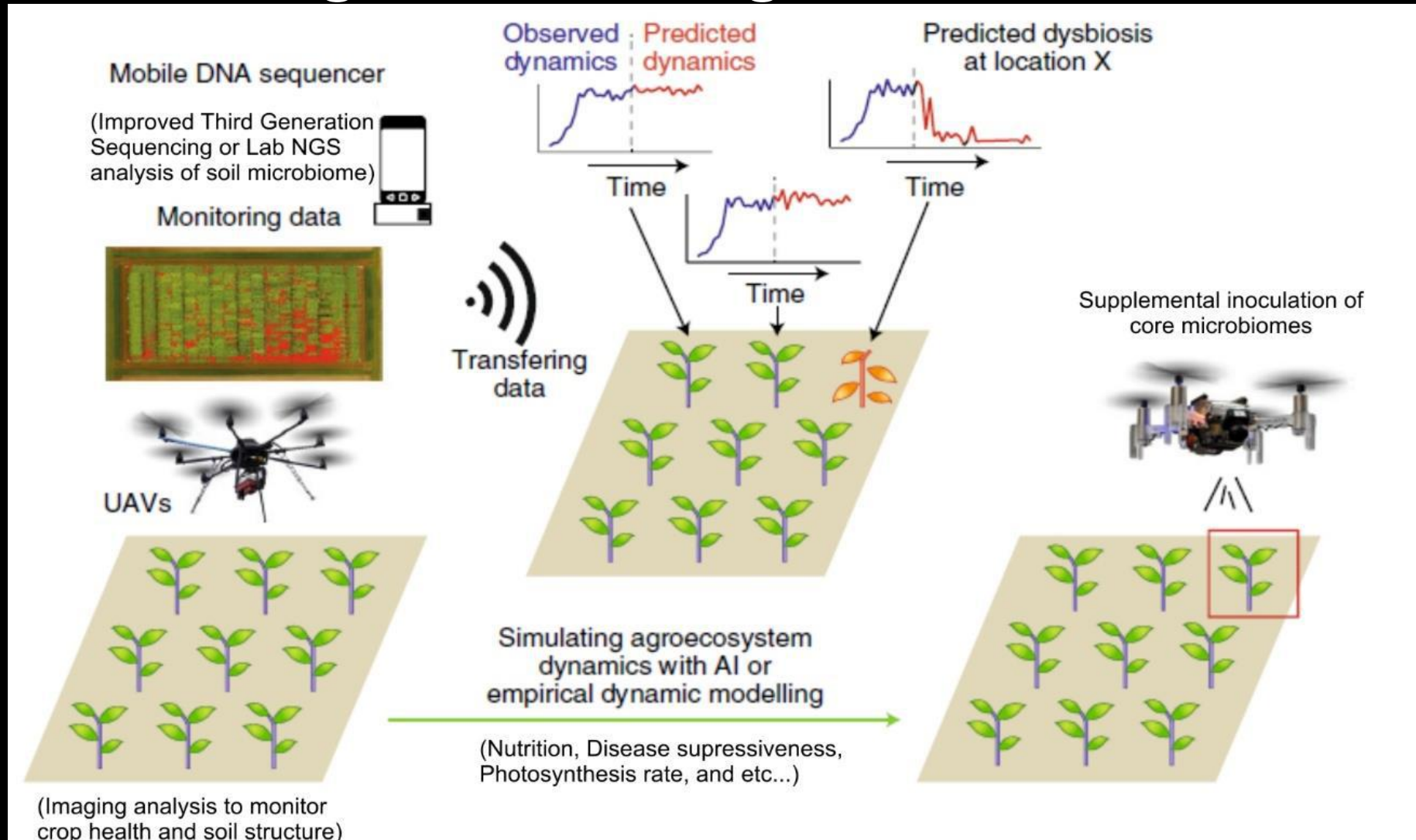


Nature Plants 2018, 4:247-257

Implementando las microbiomas base



Agricultura inteligente sostenible



Los productos que al combinar tecnologías como máquina de aprendizaje y secuenciación de ADN, investigación y desarrollo de productos de microbioma, pueden ser alcanzados dentro de 12 a 28 meses – significativamente más rápido que desarrollar una nueva (10-15 años) clase de genética y características de cultivo o químicos seguros

Miembros

Michael Adejokun
Maria Chaudhri
Eun-Jung Choi
Michelle Esposito
George Kaluski
Diana Laterman
Goldie Lazarus
Jaijo Mathew
Melissa McCarthy
Seth Wollney



Gracias



Subsidio:

NATO (SPS G5266)
NIH (1R15GM67730)
NSF (MCB0919218)
RFCUNY Grants

Colaboradores y sitios de campo.

**Estación de extensión e investigación agrícola del distrito
de Hualien, Taiwán**

Instalaciones Modernas

Un nuevo modelo comunitario para la investigación y la medicina genómica.

Este trabajo está patrocinado por el
**Fondo de Cooperación y Desarrollo
Internacional de Taiwán.**

