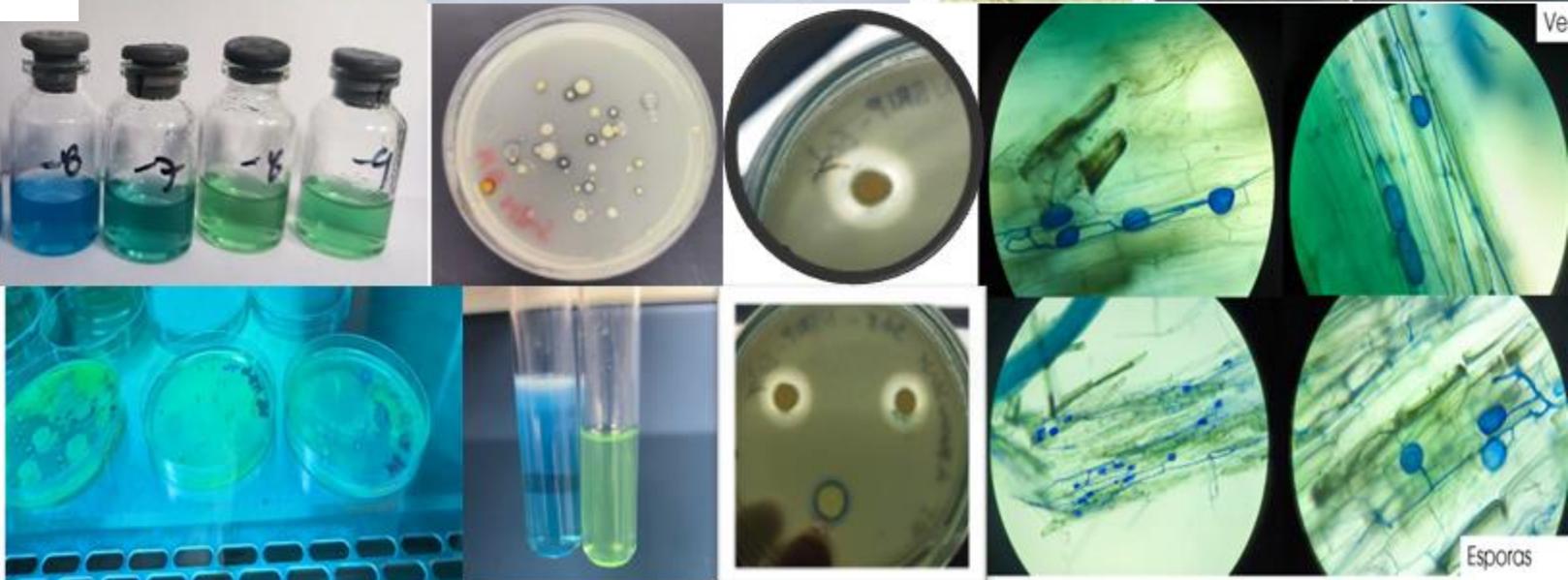
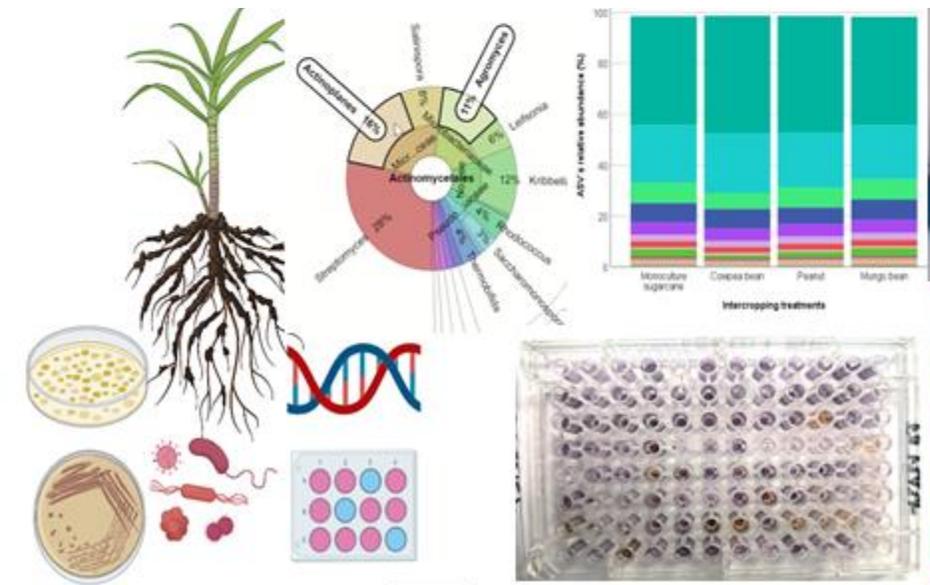
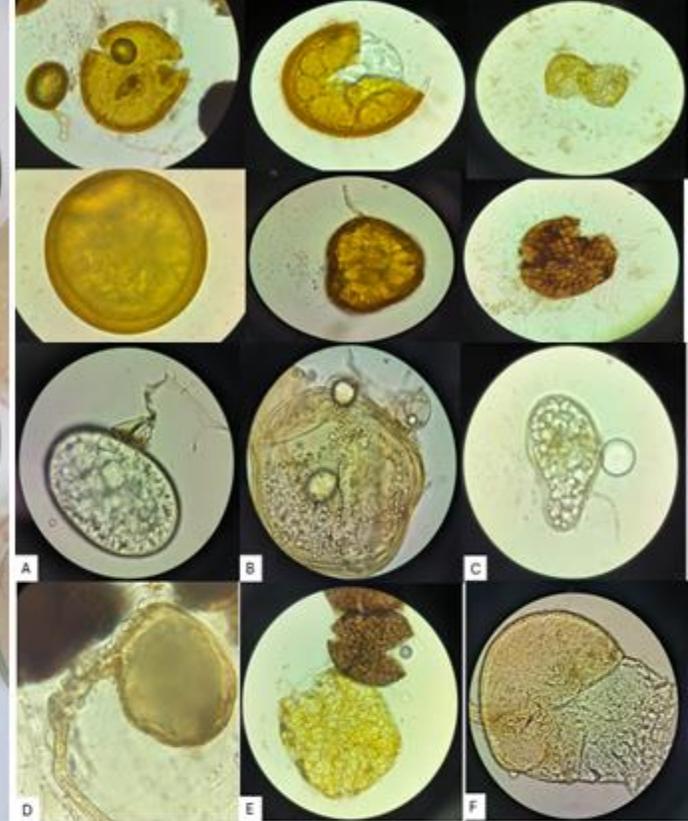
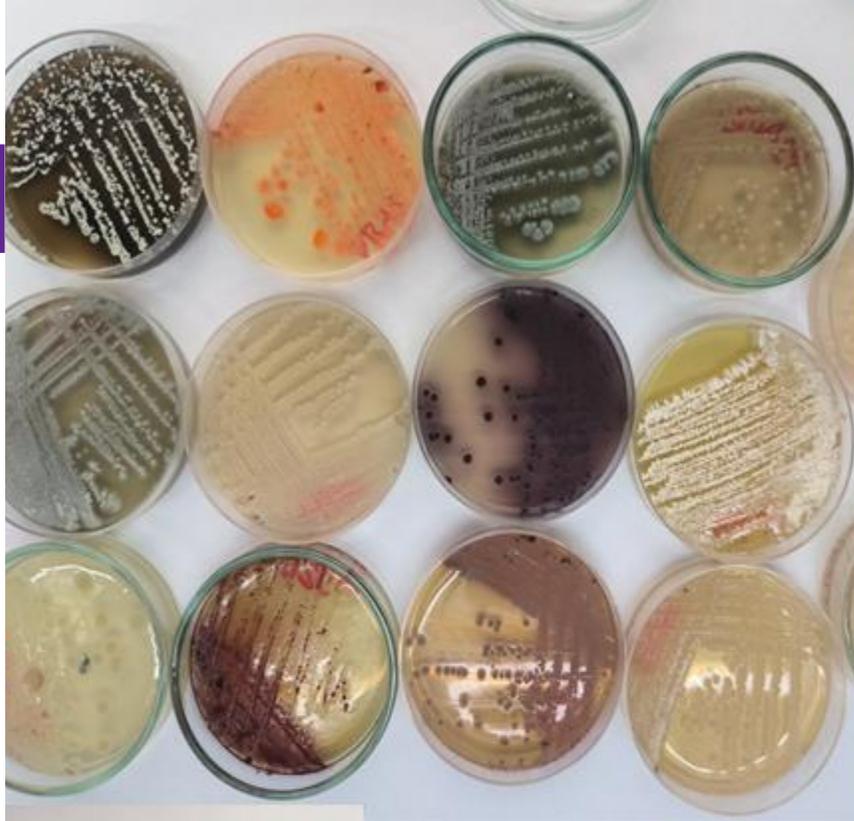


# cenicaña

Área de Nutrición y Fertilidad  
Microbiología de suelos

Julián Esteban Másmela Mendoza, MSc.

Luis Fernando Chávez Oliveros, Dr.  
Yohan Sebastian Mejía Flores-Est. Biología  
Gustavo Adolfo Segura, Auxiliar de campo



# Uso de biofertilizantes microbianos y manejo agronómico para la promoción de crecimiento vegetal en caña de azúcar

## Orden de la charla

### 1. Uso de biofertilizantes microbianos para la promoción de crecimiento vegetal en caña de azúcar

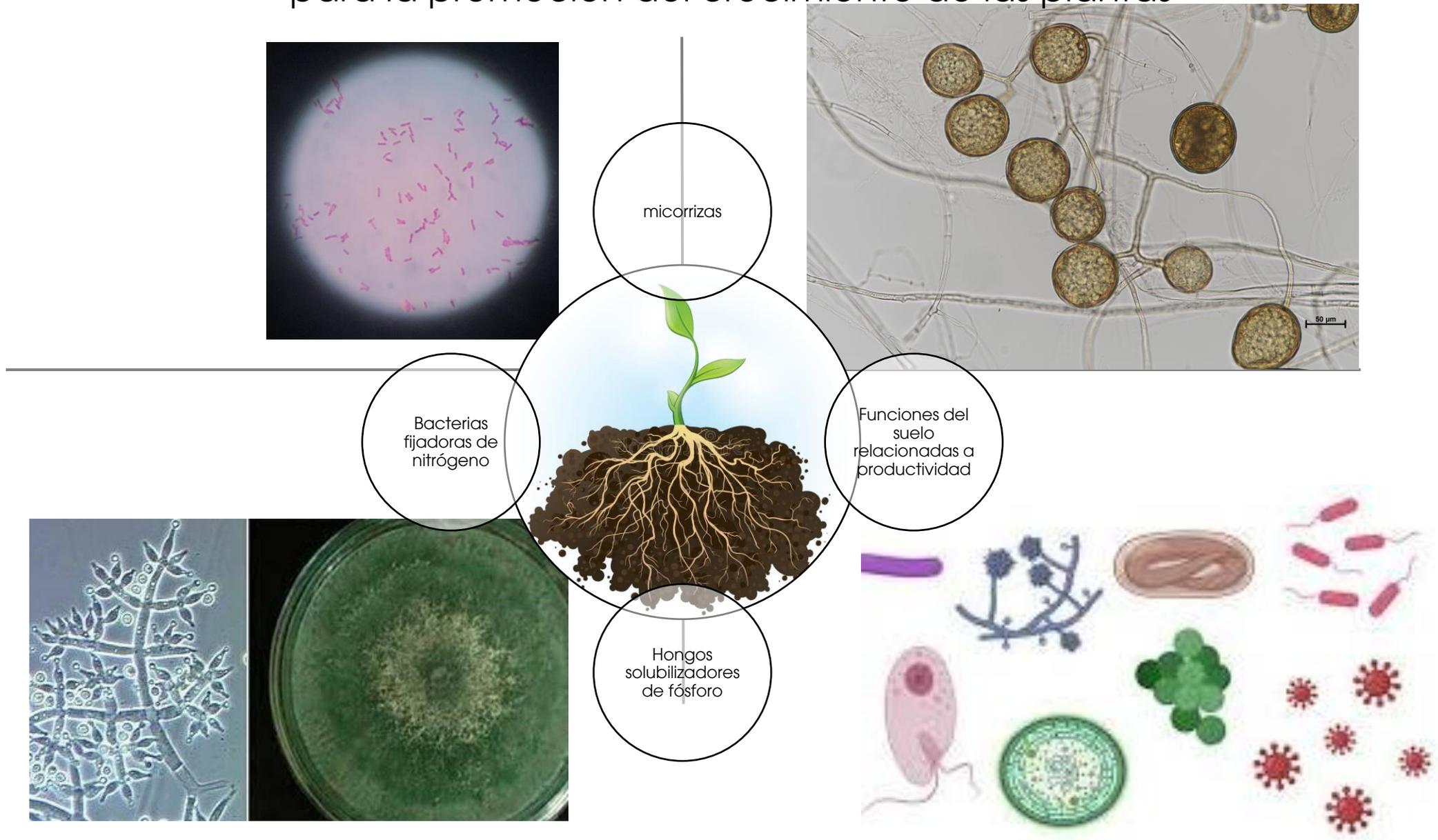
Compendio de experimentos en campo sobre uso de microorganismos o biofertilizantes

### 2. Relación de la comunidad microbiana con la productividad de un cultivo

#### 2 Casos de estudio:

- Mantenimiento de residuos orgánicos como práctica agronómica-lote 19<sup>a</sup>-20 años
- Coberturas vegetales y su importancia en la conservación del suelo

# Las bacterias y hongos del suelo rizosférico cumplen funciones esenciales para la promoción del crecimiento de las plantas



“Un **biofertilizante-Inoculante microbiano** es un producto que contiene **cepas seleccionadas de microorganismos benéficos** del suelo o de la planta, cultivadas artificialmente en laboratorio y formuladas en **soportes adecuados** que mejoran la **fertilidad del suelo** y la productividad de los cultivos (Mazid & Khan, 2015)



#### BIOFERTILIZACIÓN

Microorganismos para  
movilización y transformación  
para optimizar el uso de  
nutrientes.  
N, P, K, Fe

#### PROMOCIÓN DE CRECIMIENTO

Microorganismos con capacidad  
de producción de hormonas,  
sustancias inductoras y  
estimulación sistema de defensa

#### ESTRESSES ABIÓTICOS

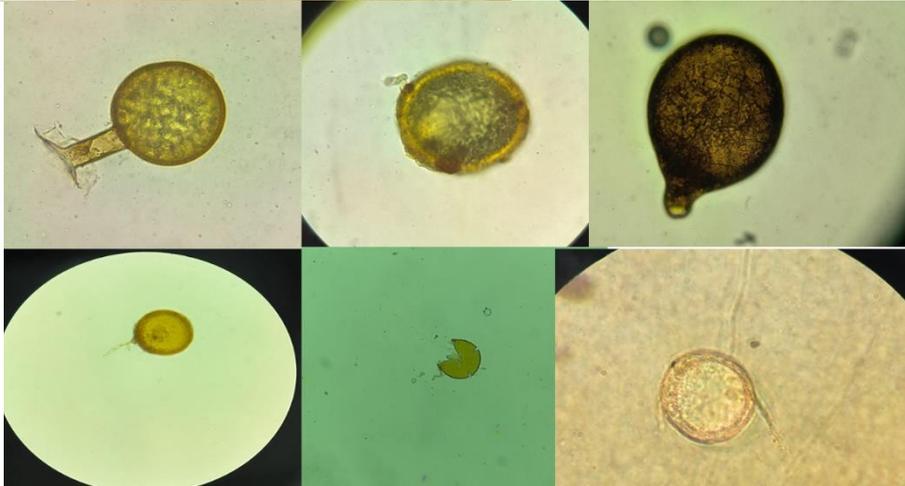
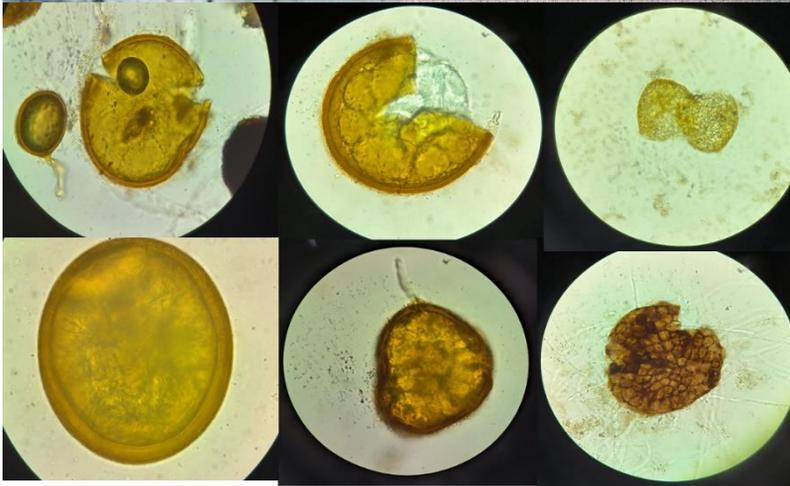
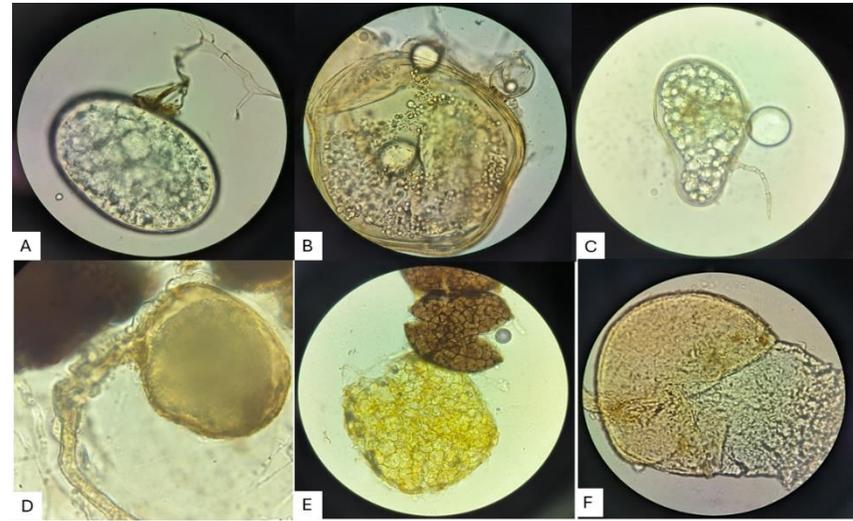
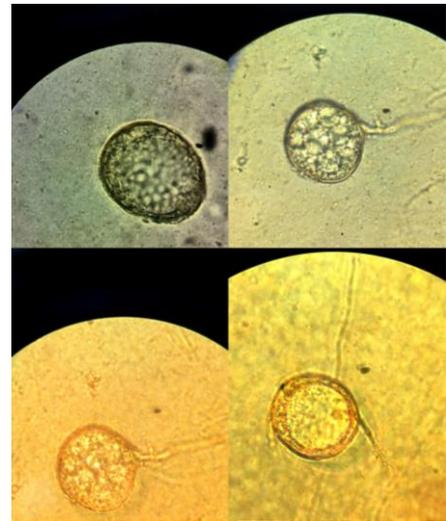
Inducción de cambios a nivel  
fisiológico y de metabolismo  
frente a condiciones de estrés  
(Exopolisacáridos – EPS)



# Micorrizas en la rizosfera de la caña de azúcar

## ¿Quiénes están?

En los suelos rizosféricos nativos de cultivos de caña de azúcar hay una alta riqueza de géneros de Hongos micorrícicos arbusculares (HMA)



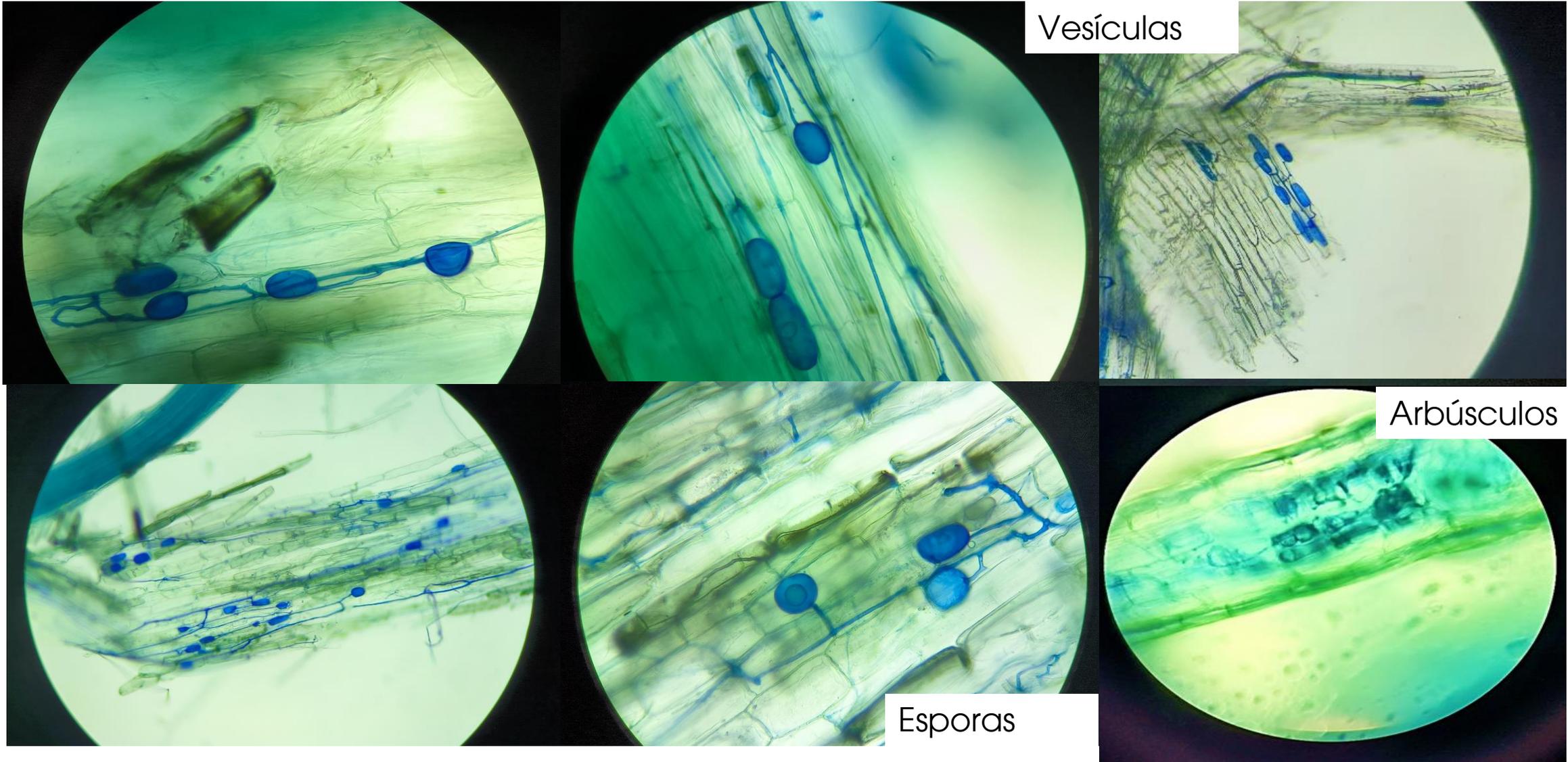
57 morfotipos

7 géneros - *Glomus*, *Acaulospora*, *Diversispora*, *Claroideglomus* spp, *Scutellospora* sp, *Diversispora* sp, *Gigaspora* spp

Importancia:  
Bioindicadores de calidad del suelo  
Movilización de nutrientes por aumento de área radicular -P

# ¿Las micorrizas pueden colonizar la raíz de la caña de azúcar? Interacción planta-microorganismo

## Estructuras de movilización e intercambio de nutrientes



# La aplicación de los inoculantes microbianos de micorrizas aumentan la abundancia de esporas y el número de estructuras intra-celulares fúngicas en la rizosfera y raíz de la caña de azúcar

## Bioinsumo 1 -A base de esporas de *Glomus* sp

Aplicación:  
10 g a 20 g/ha -350 litros/ha

Aplicación con bomba de espalda de 20 L-Spray sobre el surco al mes después de una cosecha



22500 propágulos /sustrato de especies de *Glomus*,

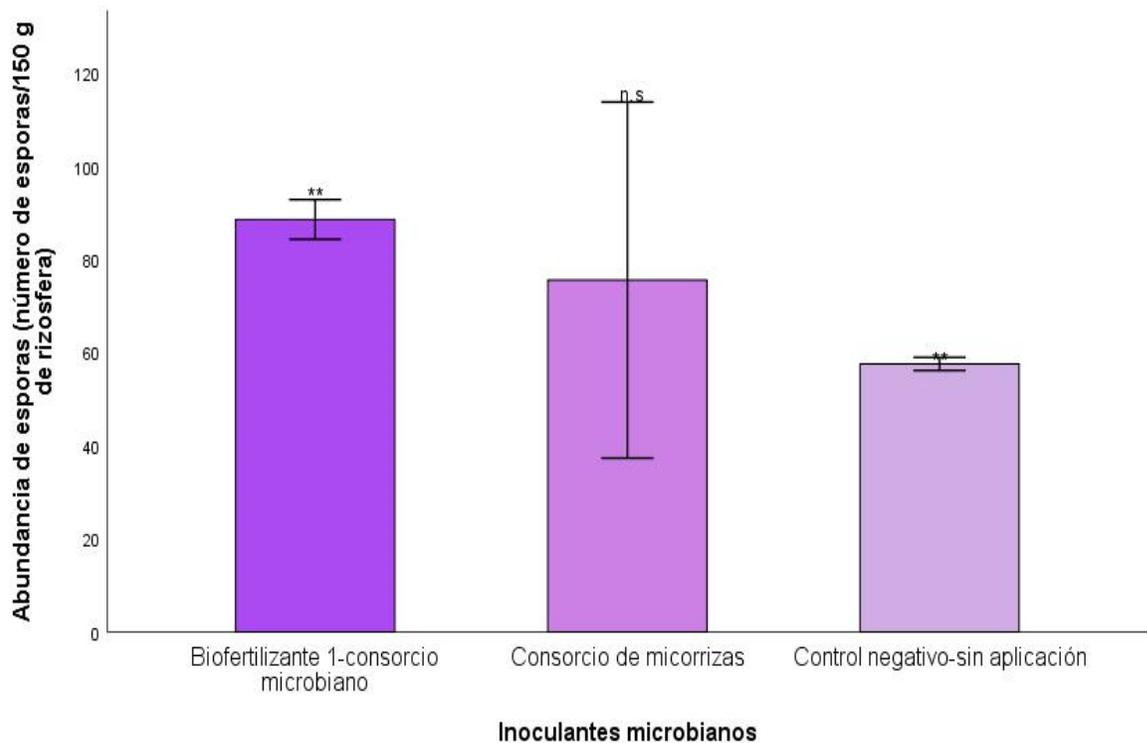
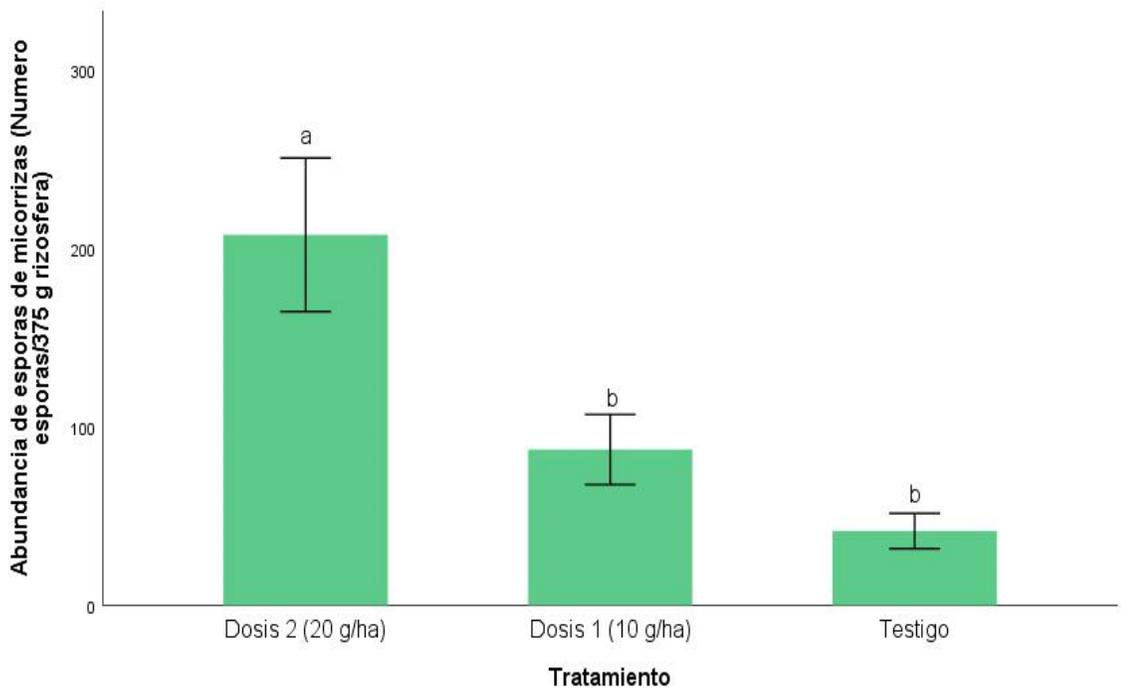
## Bioinsumos ensayo 2 -A base de esporas de micorrizas

Aplicación:  
20 g por planta- 2 bultos/ha

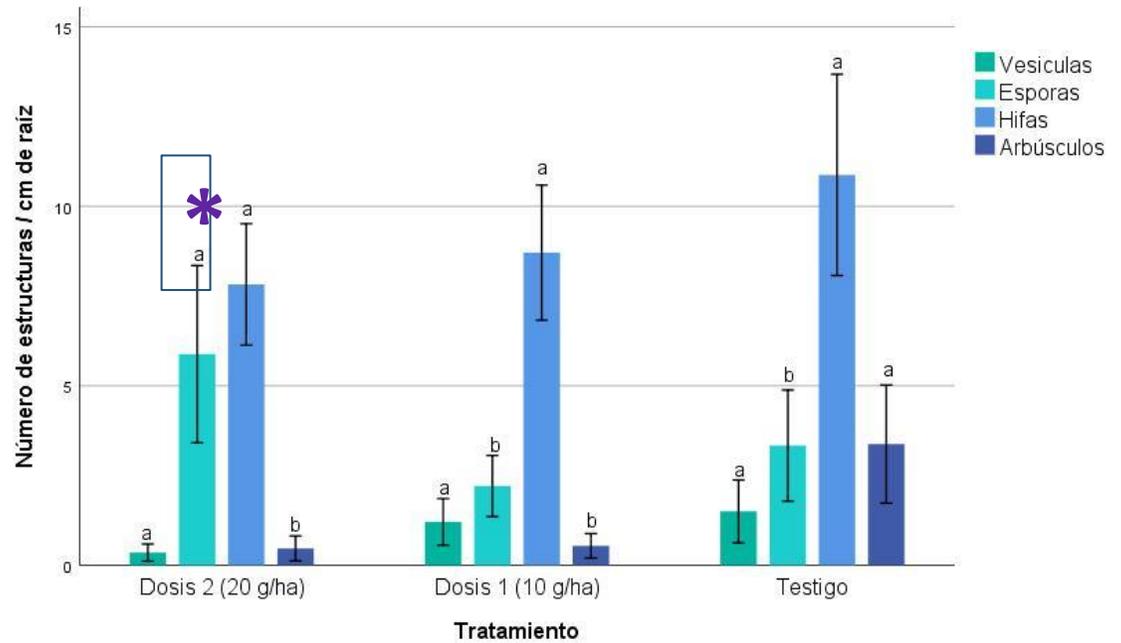
Después de la siembra de esquejes-plantilla



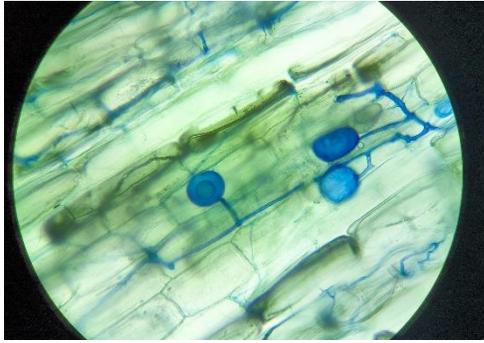
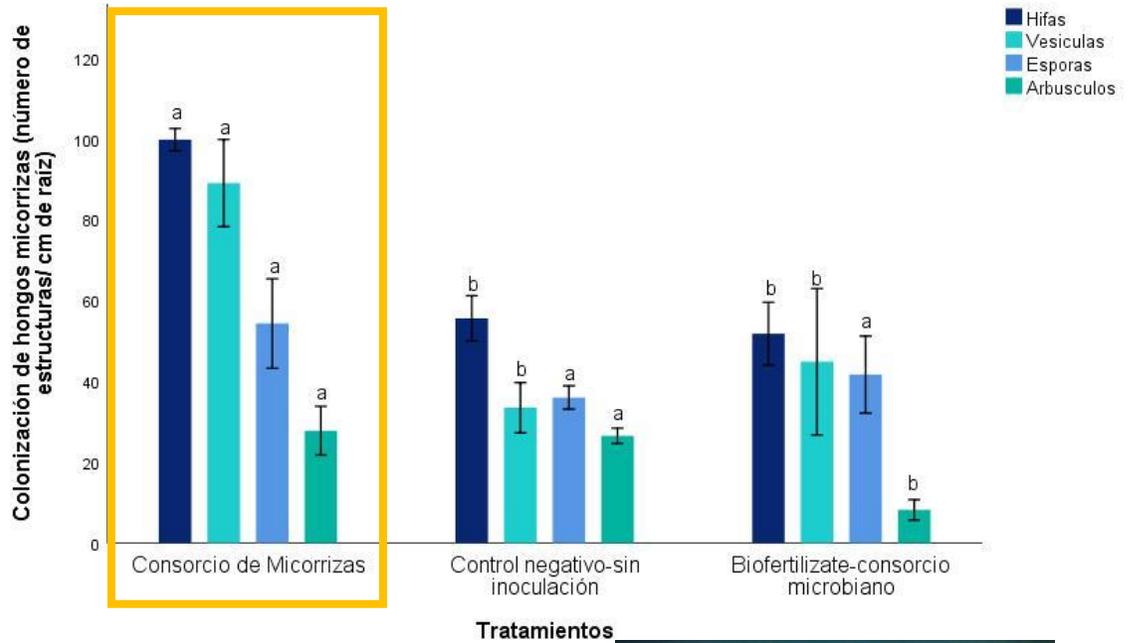
300 g espora/sustrato *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*



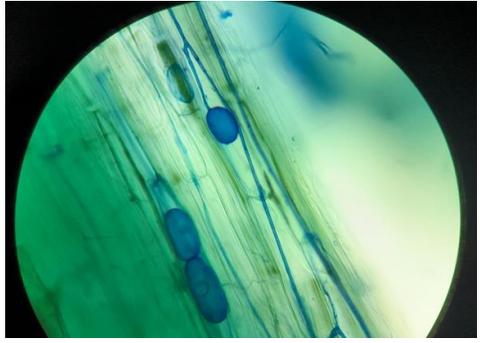
Bioinsumo 1 -A base de esporas de *Glomus*



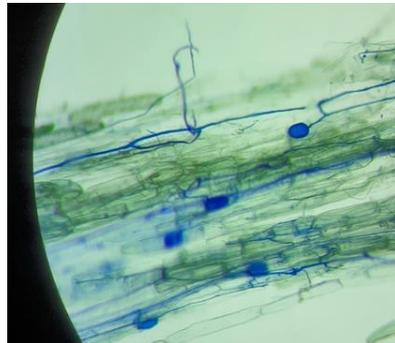
Bioinsumos ensayo 2 -A base de consorcio de esporas de micorrizas



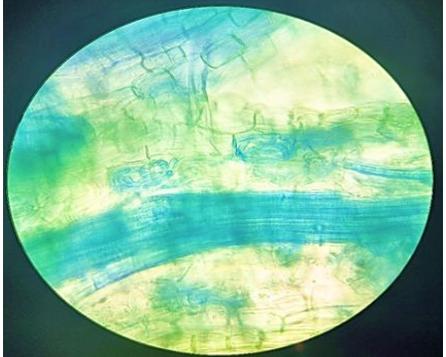
esporas



vesículas



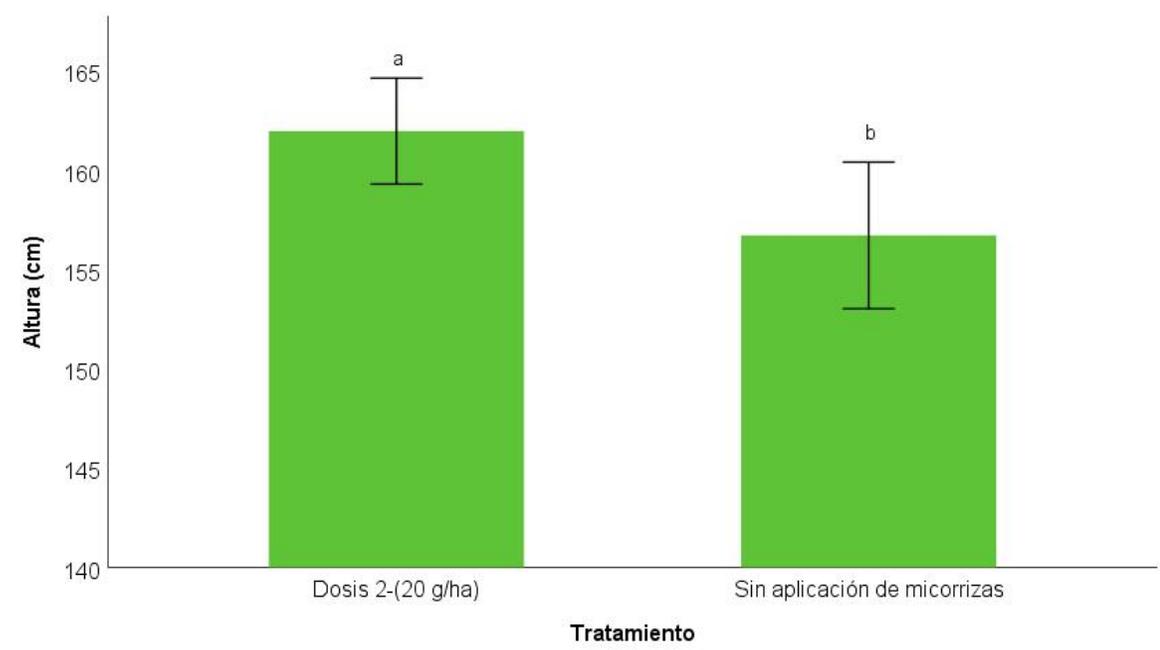
Hifas



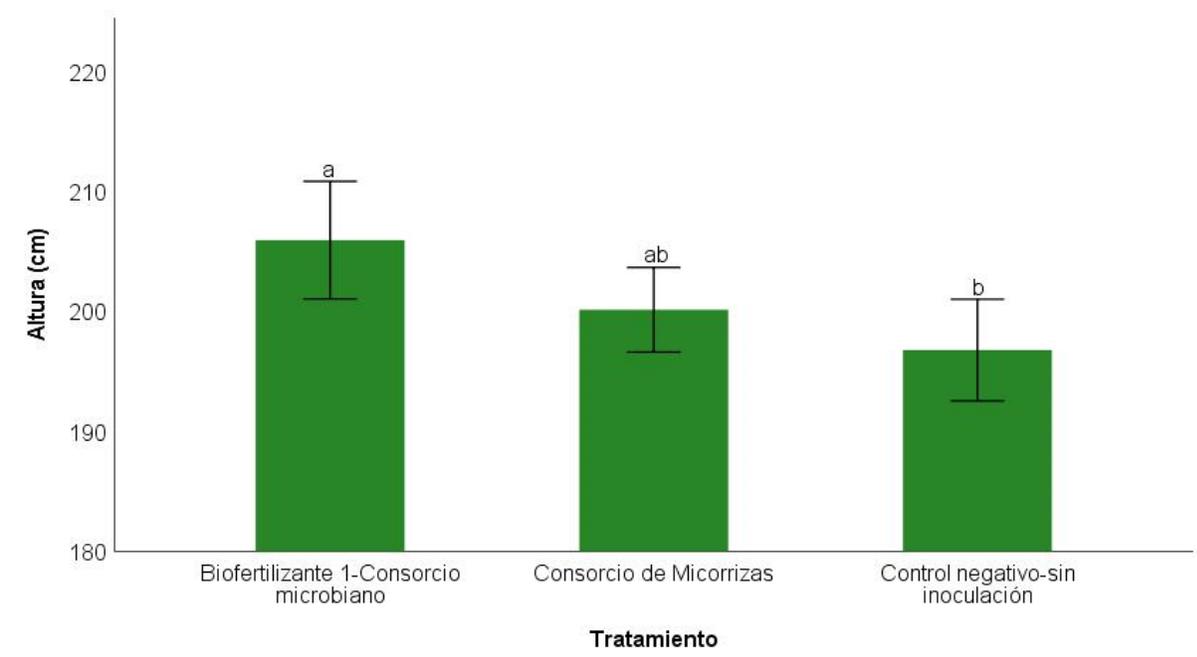
Arbúsculos

**La aplicación de los inoculantes microbianos de micorrizas aumenta las estructuras intracelulares de interacción planta-hongo de la caña de azúcar**

# La inoculación de biofertilizantes fúngicos de hongos micorrizas pueden promover el incremento de altura de la caña de azúcar

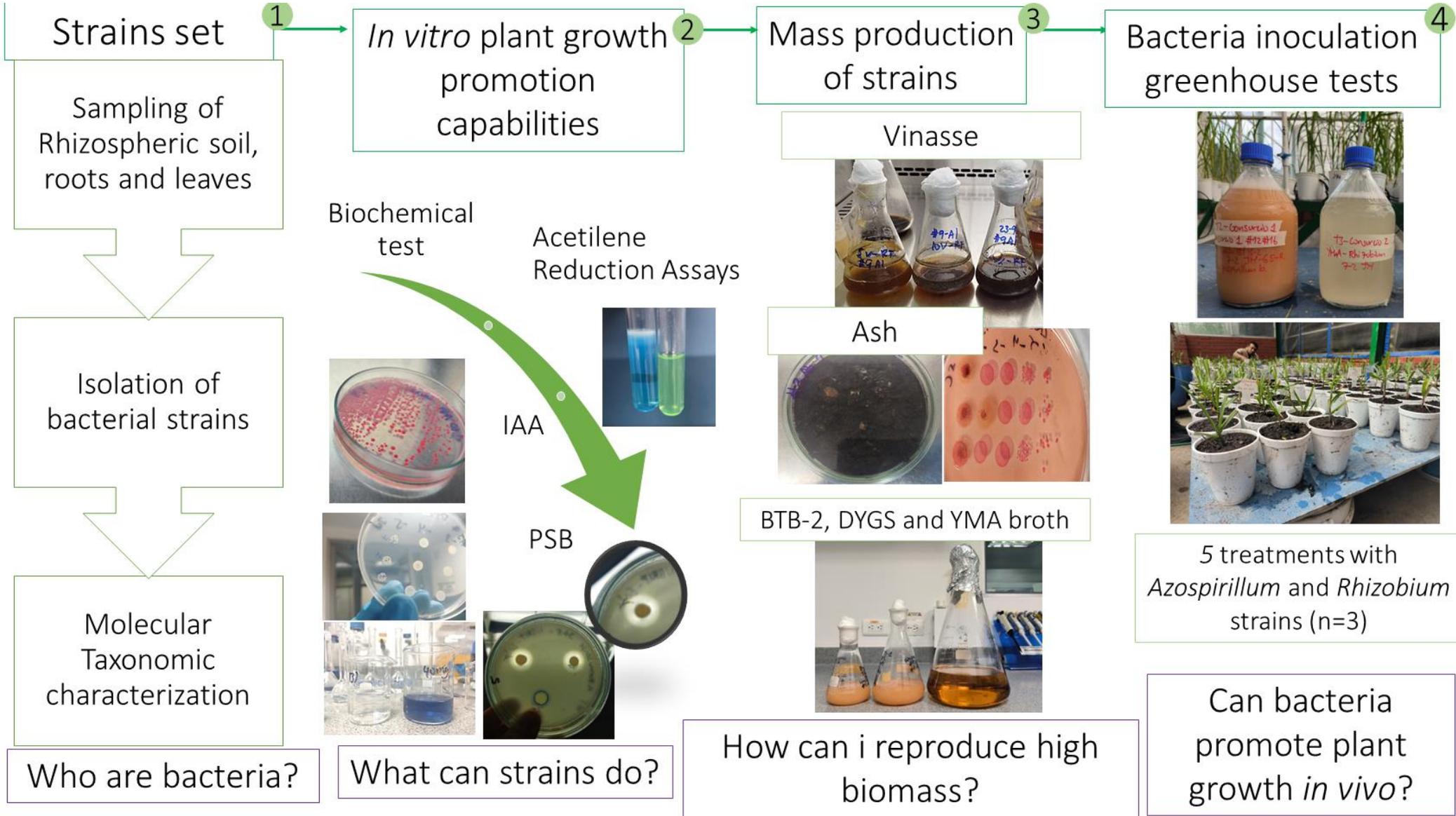


Altura de la variedad CC 1940 a los 7 meses de aplicación del bioinsumo (p=0.029; n=3; T de student)



Altura de la variedad CC 11-595 a 8 meses después de la aplicación del bioinsumo (p=0.010 ANOVA; n=3; Tukey)

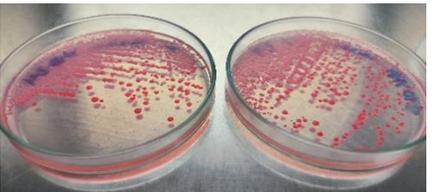
# Aplicación de bacterias fijadoras de Nitrógeno y sus efectos en el crecimiento vegetal de la caña de azúcar CC -8592 en plantilla-cosecha 1 Proyecto de Cenicafña



# Aplicación de bacterias fijadoras de Nitrógeno y sus efectos en el crecimiento vegetal de la caña de azúcar CC -8592 en plantilla-cosecha 1



Producción masiva de las cepas



Activación, viabilidad y pureza de las cepas

2 meses Invernadero

1° aplicación Inoculación alta en fase de plántula



Trasplante a campo y 2° aplicación

10 meses



Producción de biomasa en medios líquidos



Ajuste de los tratamientos

- Inoculante bacteriano líquido aplicado por drench
- Dosis de aplicación: 50 ml a  $1,2 \times 10^7$  UFC/ml  $4,0 \times 10^8$  UFC/ml
- 2 a 3 veces por semana durante un mes
- Sustrato de suelo y compost
- $4,16 \times 10^5$  UFC/g de sustrato y  $3,33 \times 10^7$  UFC/g de sustrato

- Trasplante con todo el cepellón
- Inoculante bacteriano líquido aplicado por drench
- Dosis de aplicación: 100 ml entre  $5 \times 10^6$  UFC/ml y  $4 \times 10^8$ 
  - 4 producciones masivas
- 2 meses después del trasplante-cada 15 días

# Aplicación de bacterias fijadoras de Nitrógeno y sus efectos en el crecimiento vegetal de la caña de azúcar CC -8592 en plantilla-cosecha 1

La aplicación de Bacterias fijadoras de N de las cepas 12 y 16 de *Azospirillum brasiliense* y *Rhizobium 10-63* aumenta la longitud del tallo de la caña de azúcar CC 8592

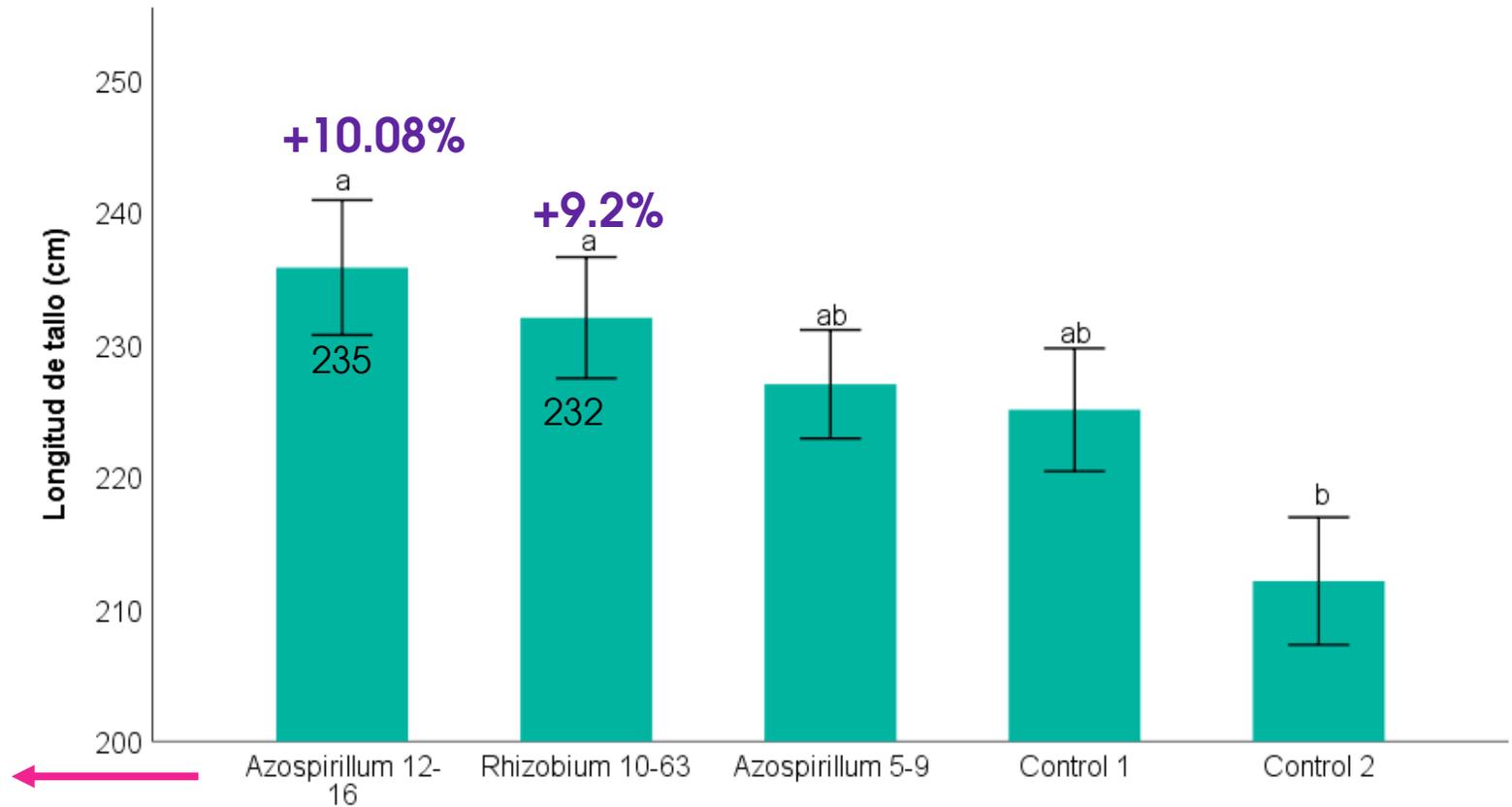


Mecanismos:  
Producción de AIA  
(aumento área de raíces)

Fijación de N:  $\text{NH}_4$

Solubilización de P:  $\text{PO}_4$

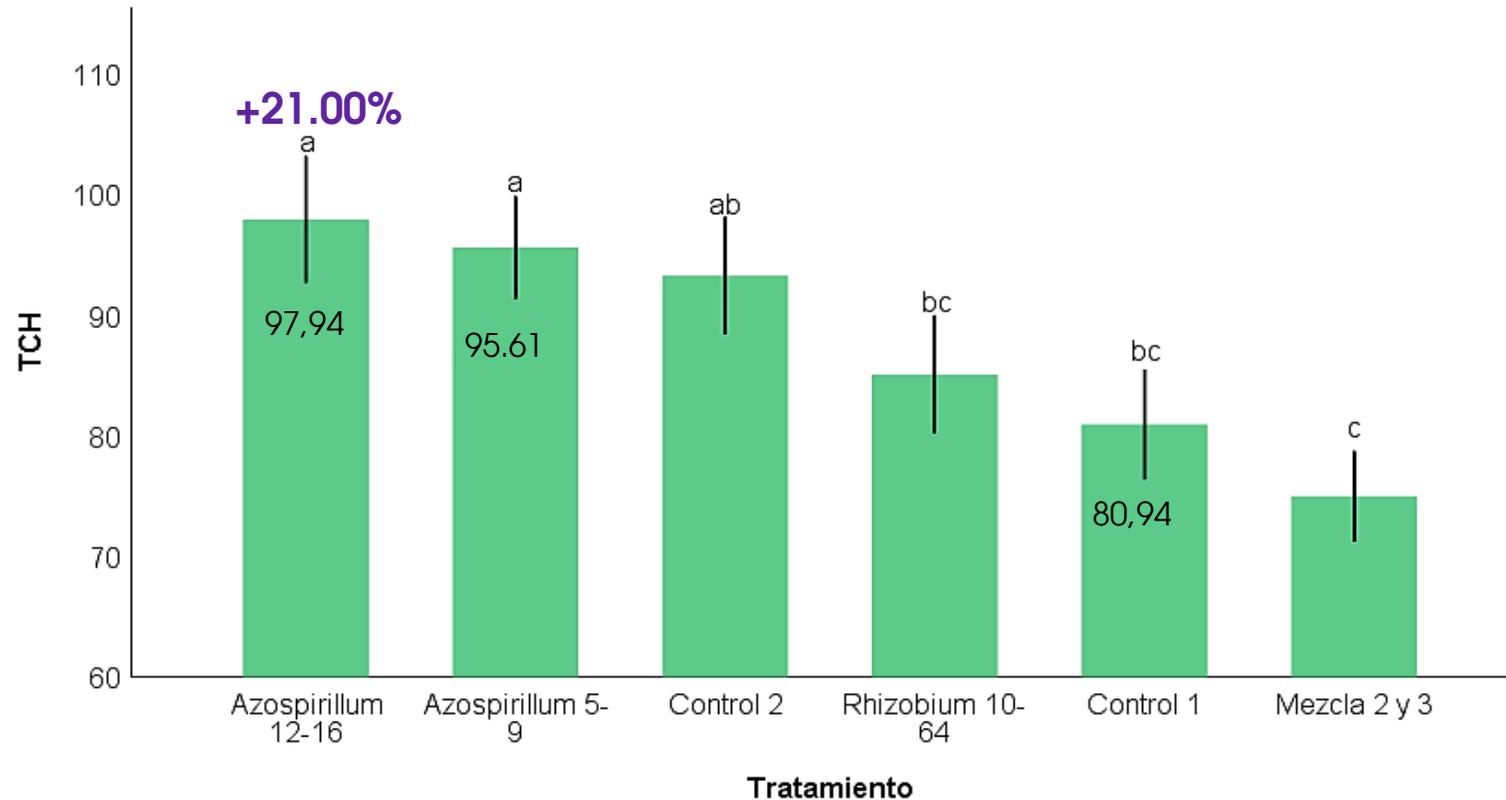
Más eficientes a nivel *in vitro*



Efectos de la aplicación de bacterias fijadoras de Nitrógeno sobre el crecimiento vegetal de la caña de azúcar CC -8592 en plantilla-cosecha 1

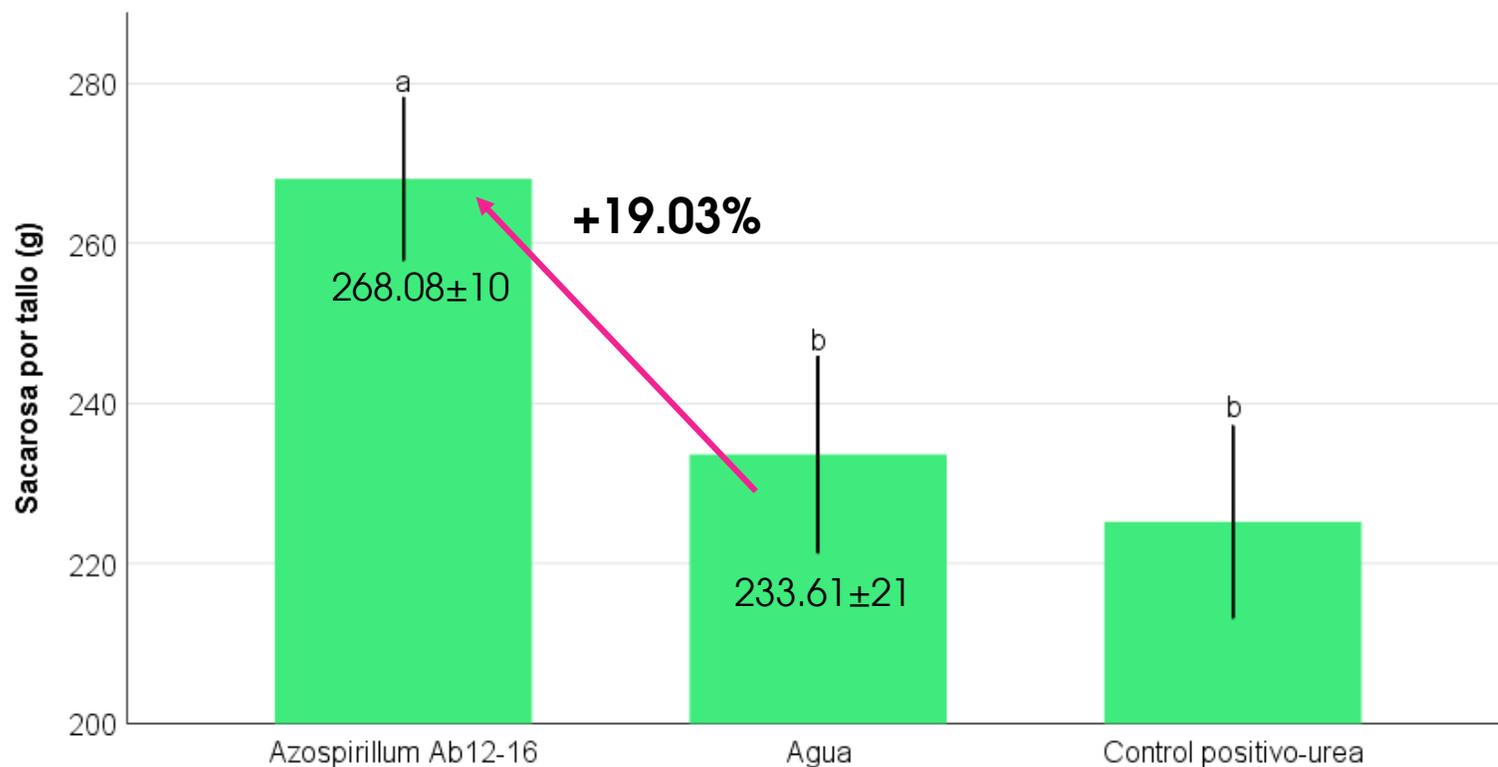
## La aplicación de cepas bacterianas fijadoras de N 12-16 de *Azospirillum brasiliense* y *Azospirillum* cepas 5-9 podrían aumentar el TCH de la caña de azúcar CC-8592

- Mayores tasas de población viable de cepas (menor despoblación)
- Mayor peso por cepa



## Efectos de la aplicación de bacterias fijadoras de Nitrógeno sobre el crecimiento vegetal de la caña de azúcar CC -8592 en plantilla-cosecha 1

La aplicación de las cepas 12 y 16 de *Azospirillum brasiliense* puede aumentar la sacarosa por tallo (g) de la caña de azúcar CC 8592 en un 19.03% respecto a los tratamientos control

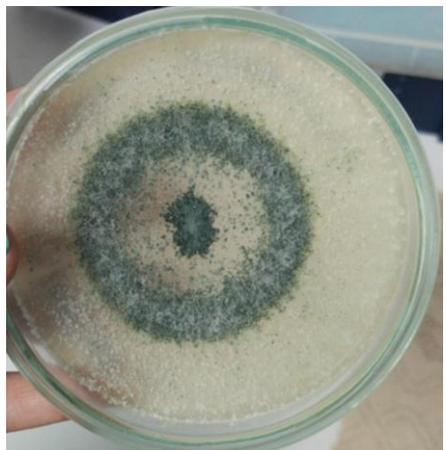


**Tabla 2.** Variables de análisis directo de caña de azúcar bajo diferentes tratamientos en campo con bacterias fijadoras de N.

Número	Tratamiento	Sacarosa por tallo (g)	Sacarosa caña (%)
1	Control agua	233.61 ± 21 <sup>a</sup>	14.2 ± 0.97 <sup>a</sup>
2	<b>Azospirillum 12-16</b>	<b>268.08 ± 10<sup>b</sup></b>	14.73 ± 0.29 <sup>a</sup>
3	Rhizobium 10-16	248.4 ± 25 <sup>a</sup>	14.02 ± 0.52 <sup>a</sup>
4	Azospirillum 5-9	232.18 ± 8.7 <sup>a</sup>	14.25 ± 0.58 <sup>a</sup>
5	Mezcla T2 y T3	239.5 ± 7.2 <sup>a</sup>	14.04 ± 0.71 <sup>a</sup>

+0.53%

# Efectos de *Trichoderma* en promoción de crecimiento vegetal en caña de azúcar



Diseño de bloques completo aleatorizado  
 Repeticiones: 3  
 Número de plántulas por repetición:  
 40 Plantas en invernadero  
 30 plántulas trasplantadas en parcelas

Tratamiento	Descripción	
Control negativo sin fertilización	Plantas tratadas solo con agua, sin inoculación del hongo y sin fertilización	
Biofertilizante <i>Trichoderma 1</i>	1 g/L 50 ml por planta  Dosis: $5 \times 10^7$ conidios/ml	<i>Trichoderma koningiopsis</i> Th003  $1 \times 10^9$ conidios/g
Biofertilizante <i>Trichoderma 2</i> -	4 g/L 50 ml por planta  $5 \times 10^7$ conidios/ml	Especies: <i>Trichoderma harzianum</i> y <i>Trichoderma koningii</i>  concentración $1 \times 10^8$ esporas/g
Control negativo+fertilización nitrogenada	Plantas fertilizadas con urea a los 45 días después del trasplante a campo	

# Efectos de *Trichoderma* en promoción de crecimiento vegetal en caña de azúcar

Invernadero

1° aplicación Inoculación alta en fase de plántula

Trasplante a campo y 2° aplicación

Trasplante: 2 de junio de 2023



Fecha inicio: 3 de abril de 2023

- 3 meses en invernadero
- Aplicación por drench dirigida a la raíz de la planta
  - 4 aplicaciones al mes
  - 1 aplicación semanal
    - Dosis:
      - Tricho 1-50 ml de una suspensión de  $5 \times 10^7$  esporas/ml
- En sustrato:  $8,3 \times 10^5$  conidios/g
- Tricho 2-  $2 \times 10^7$  conidios/ml
- En sustrato:  $3,3 \times 10^4$  conidios/g



6 aplicaciones de la misma dosis:

Aplicaciones en drench-dirigida a la raíz de la planta con bomba de espalda

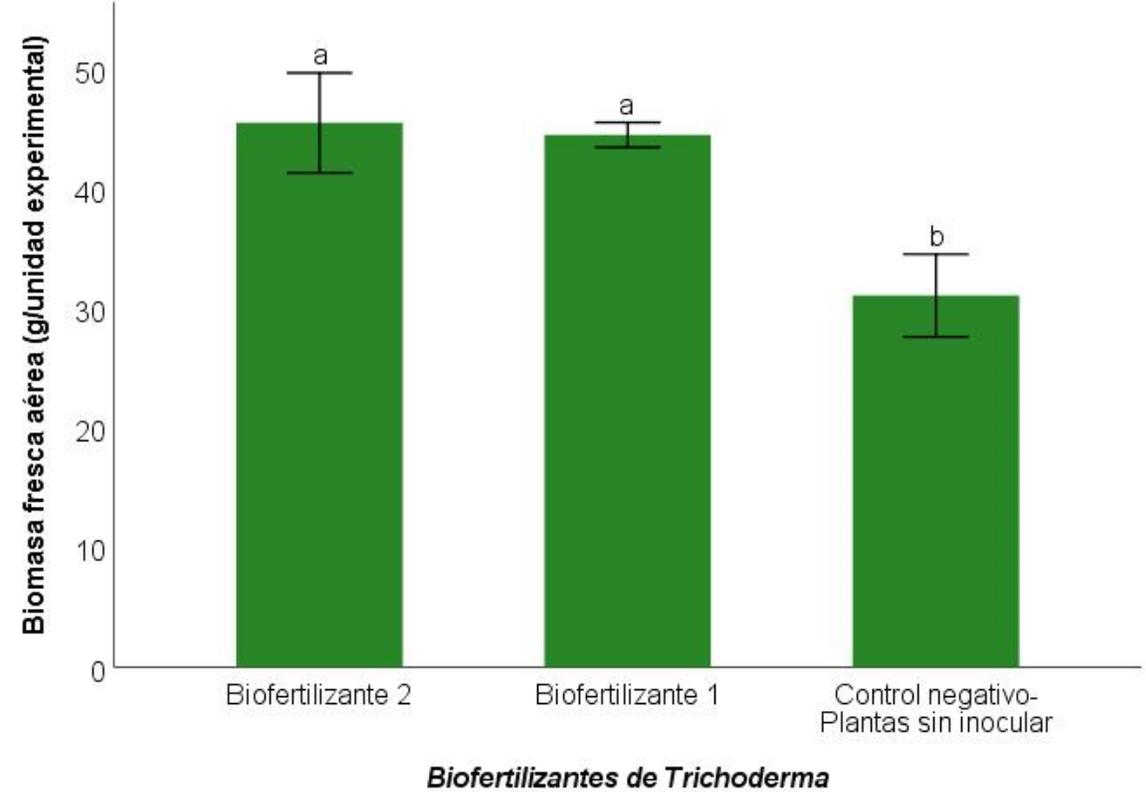
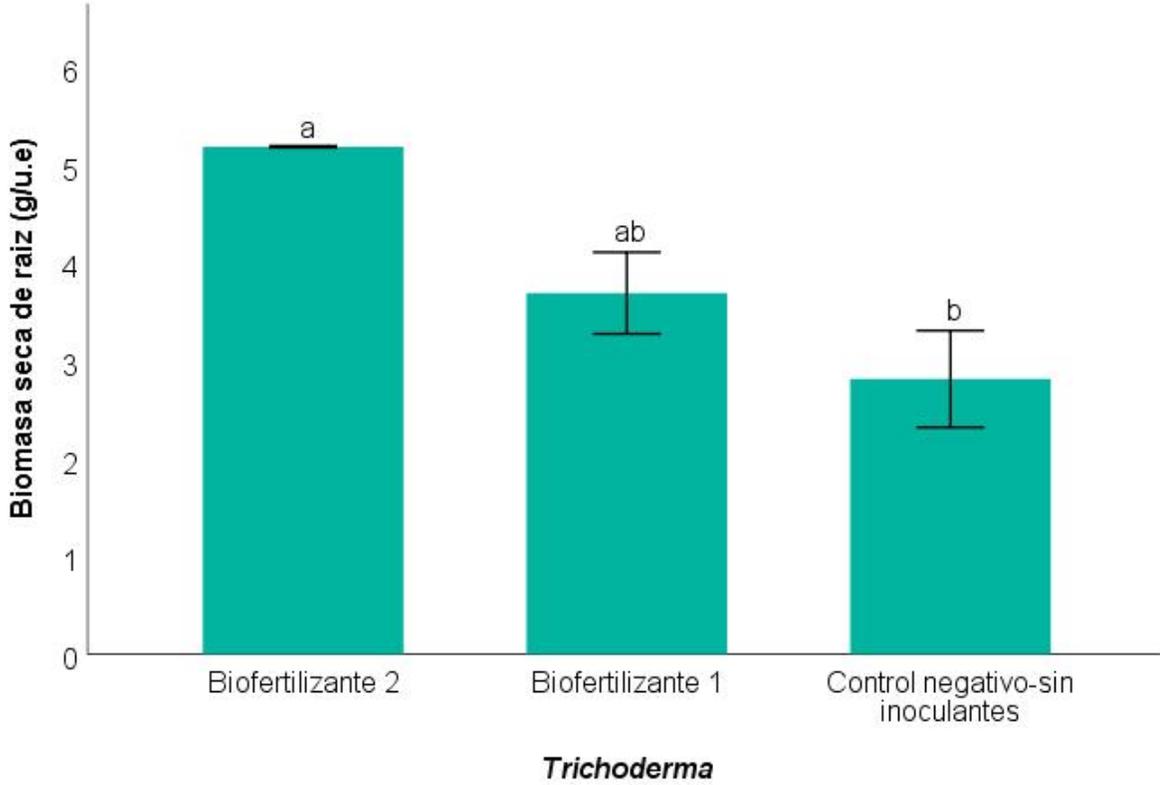
Aplicaciones cada 15 días durante 3 meses

Cosecha: 7 de mayo de 2024  
11 meses después del trasplante

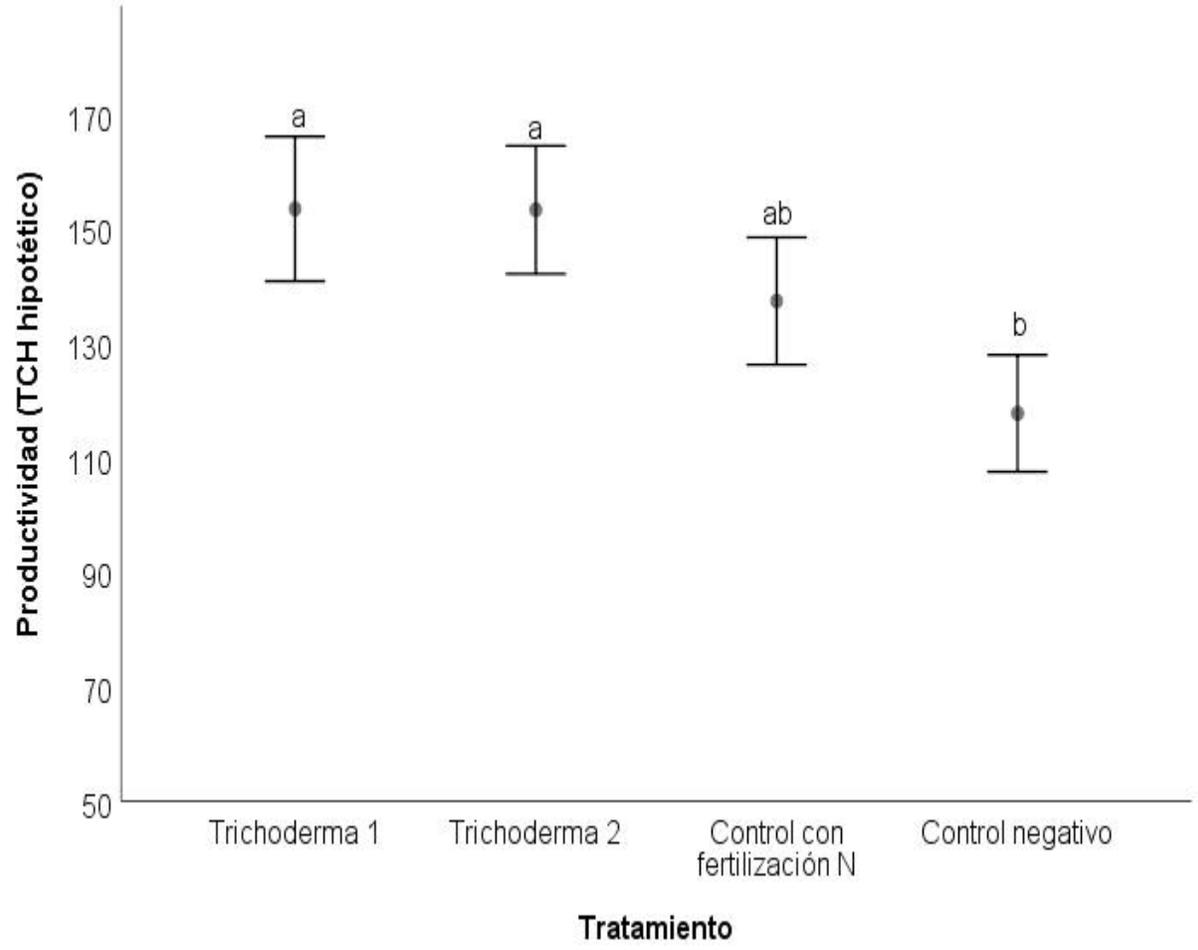
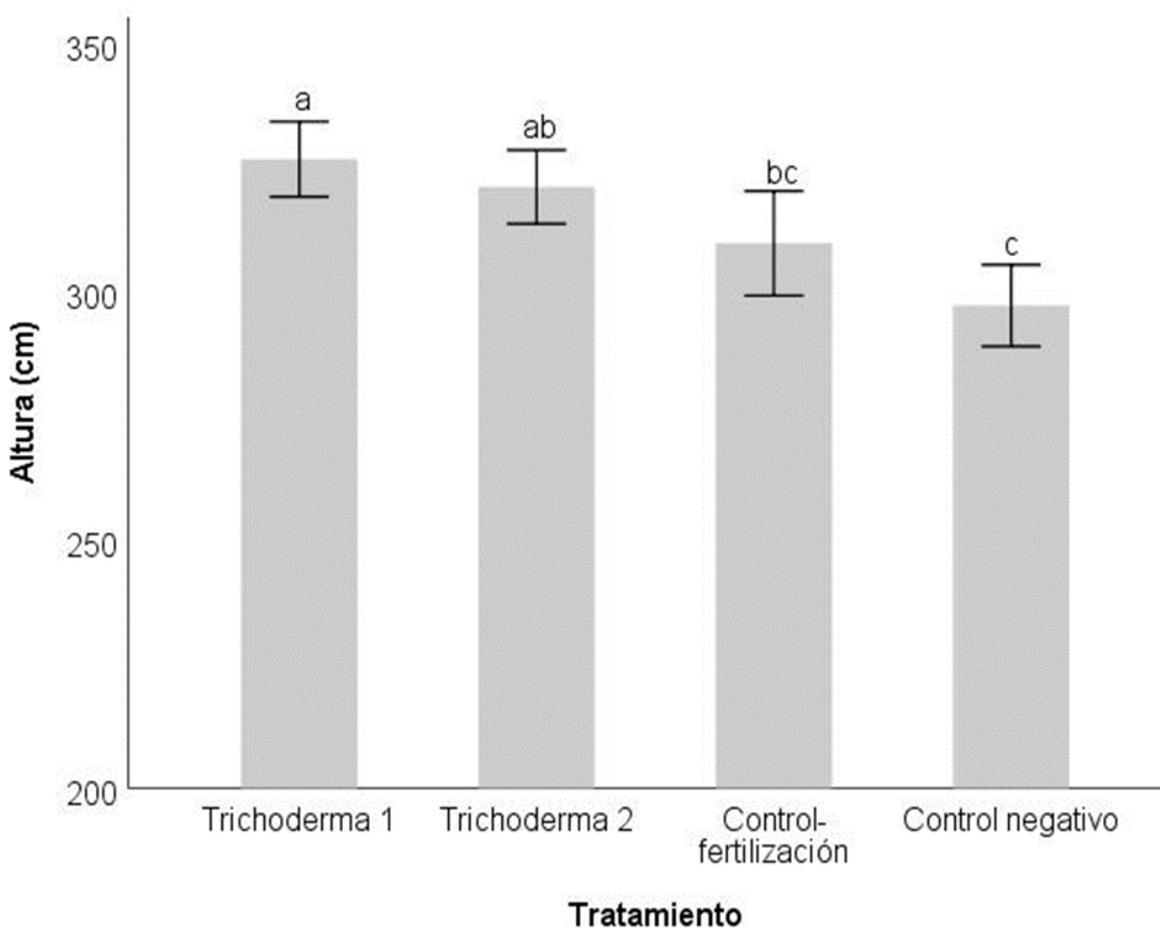
Variables respuesta:

Altura, peso por cepa, población, número de tallos por cepa

La aplicación de bioinsumos a base de *Trichoderma* puede aumentar la biomasa seca aérea y la biomasa aérea de la variedad de caña de azúcar CC 05-430 a 3 meses de aplicación



La aplicación de bioinsumos a base de *Trichoderma* puede aumentar la altura y el TCH de la variedad de caña de azúcar CC 05-430 a 11 meses de aplicación



# Efecto de los residuos orgánicos de cosecha sobre la comunidad microbiológica de la rizosfera de la caña de azúcar



Lote 19A

Fecha de inicio: 1999

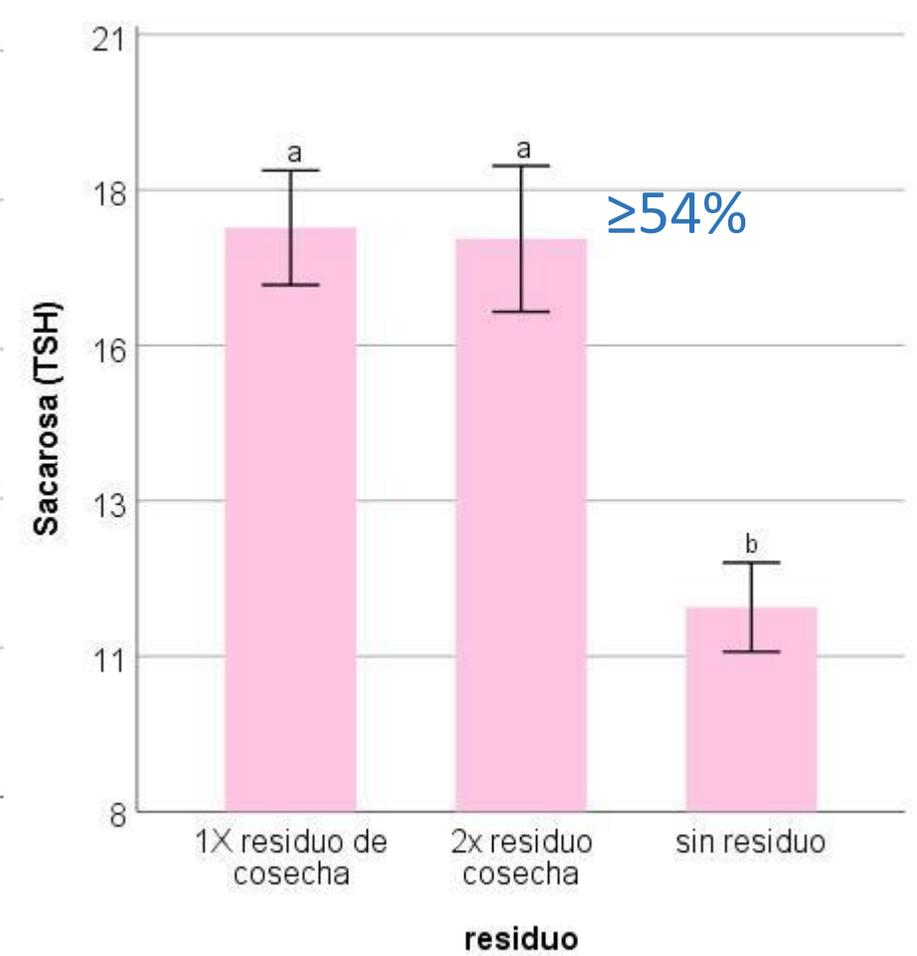
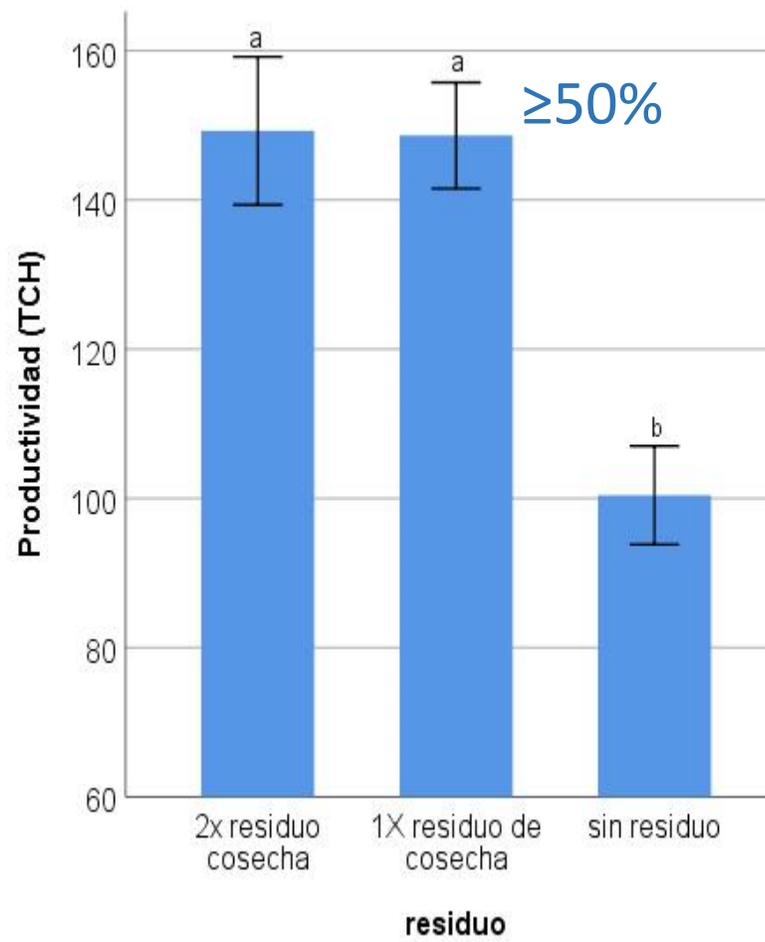
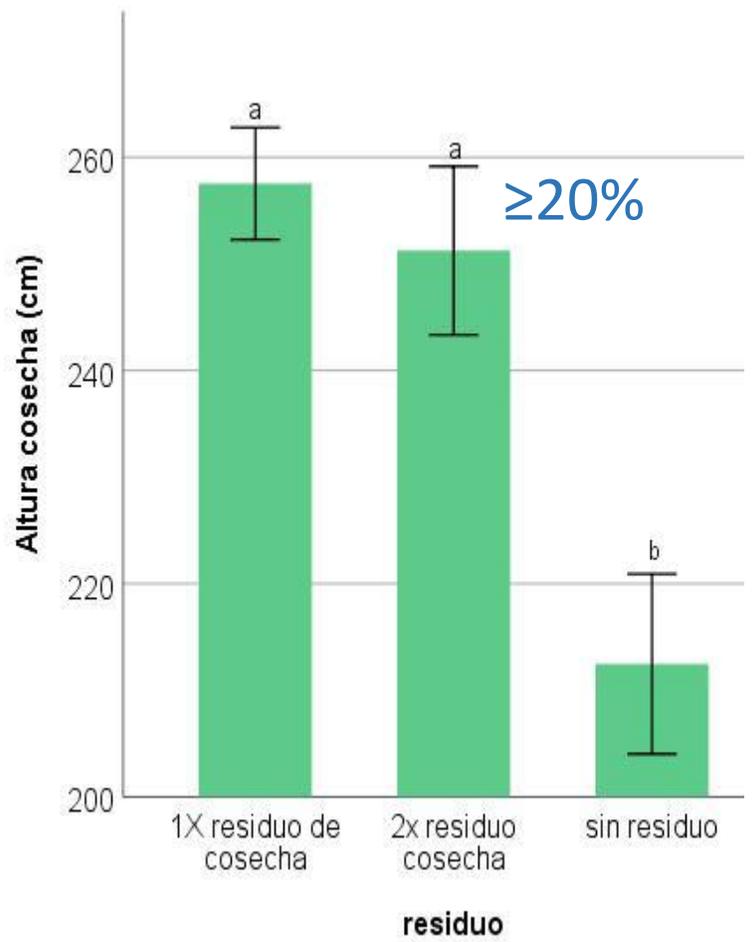
Tiempo de la práctica agronómica de retiro y mantenimiento de los residuos de cosecha: 23 años

Evaluación: Corte 3 - Variedad CC 05-430

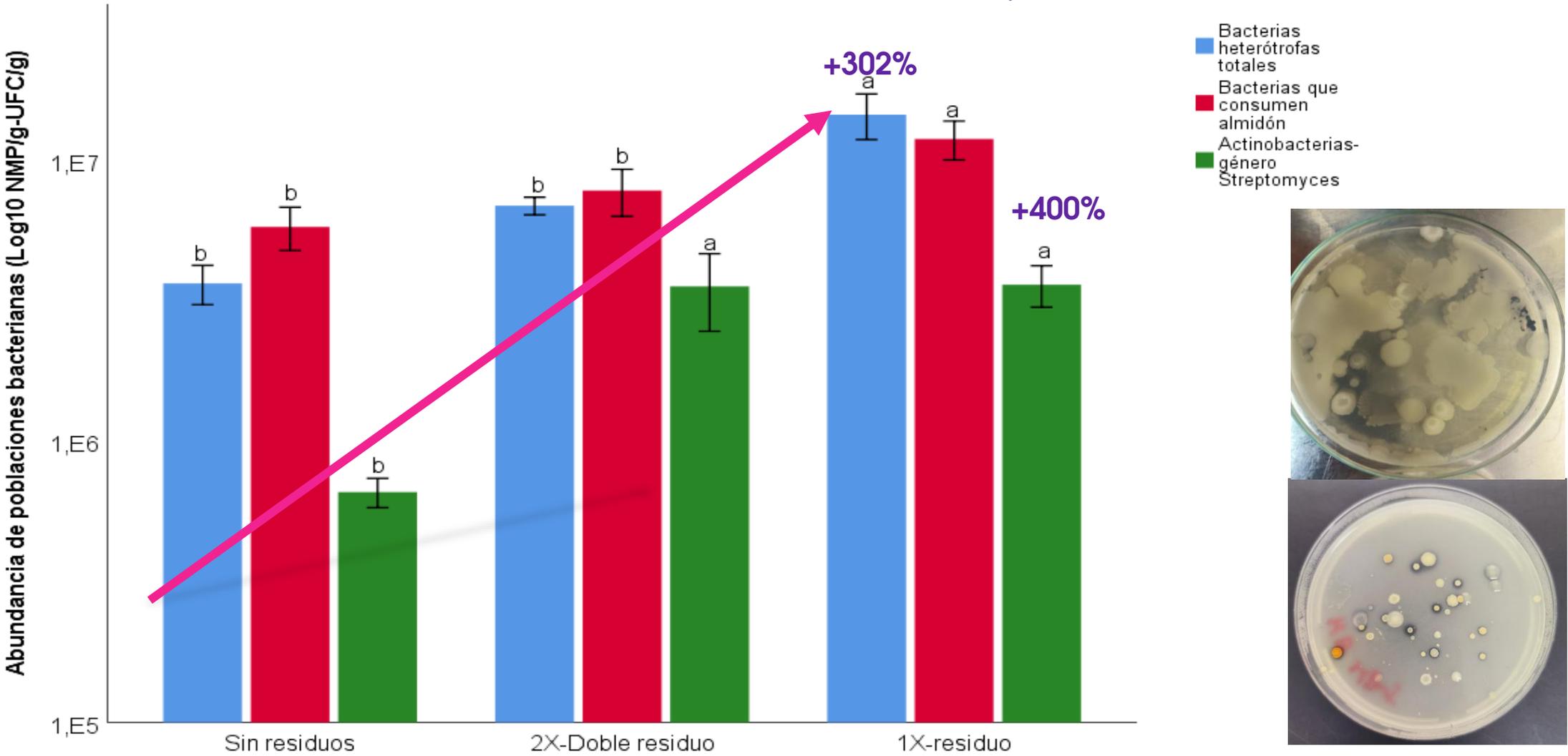
Callejón	Carrretera	Colector	150- 50- 60	100-25-30	100-25-30	150- 50- 60	50- 50- 60	100-25-30
			41	42	47	48	53	54
			0-0-0	200-75-90	0-0-0	200-75-90	0-0-0	150- 50- 0
			40	39	46	45	52	51
			150- 0- 60	150- 50- 0	150- 50- 0	150- 0- 60	200-75-90	150- 0- 60
			37	38	43	44	49	50
			200-75-90	100-25-30	100-25-30	0-0-0	200-75-90	150- 50- 0
			23	24	29	30	35	36
			150- 0- 60	0-0-0	200-75-90	150- 0- 60	100-25-30	150- 50- 60
			22	21	28	27	34	33
			150- 50- 0	150- 50- 60	150- 50- 60	150- 50- 0	150- 0- 60	0-0-0
			10	20	25	26	31	32
100-25-30	150-50-0	200-75-90	150-50-0	200-75-90	0-0-0			
5	6	11	12	17	18			
150- 50- 60	150- 0- 60	0- 0- 0	150- 0- 60	150- 0- 60	150- 50- 0			
4	3	10	9	16	15			
200- 75- 90	0- 0- 0	100- 25- 30	150- 50- 60	50- 50- 60	100- 25- 30			
1	2	7	8	13	14			
Borde de 5mt								
Callejón								
0 residuos		Doble residuos		Residuos normal				



# El mantenimiento de los residuos orgánicos de cosecha (1X y 2X) como práctica agronómica sostenida en el tiempo aumenta la productividad en TCH y sacarosa en más del 50%

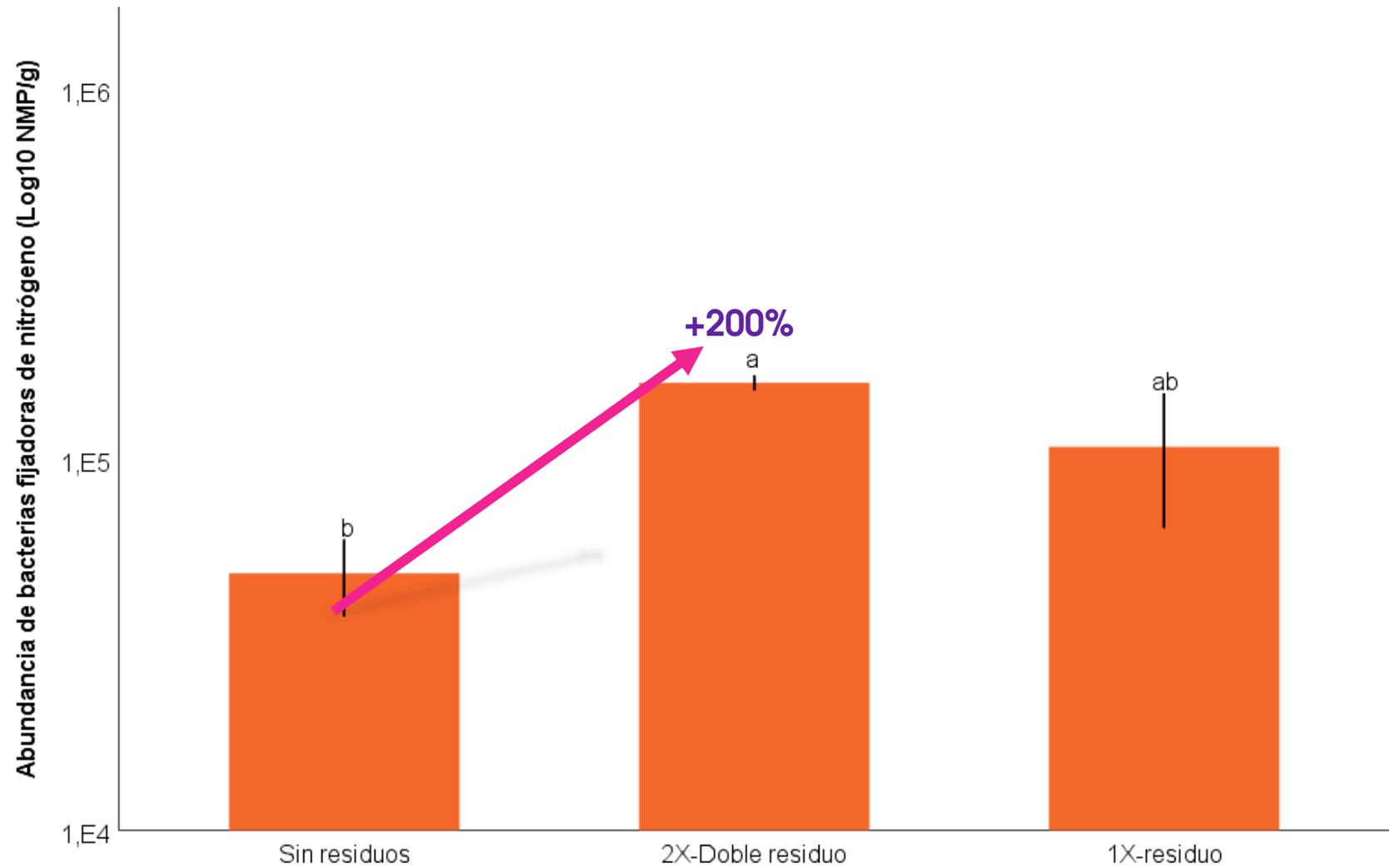


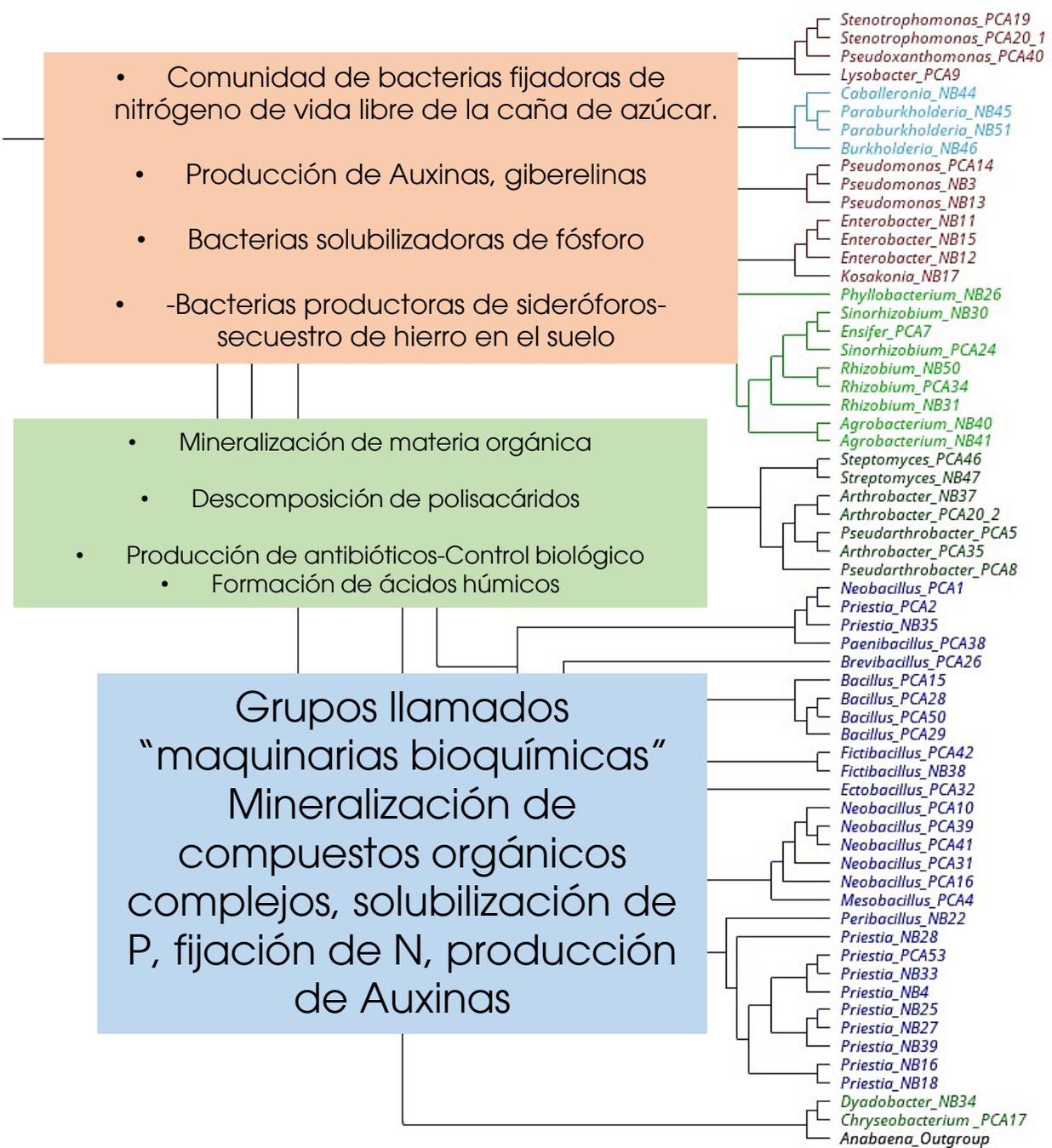
La abundancia de poblaciones microbianas cultivables de la rizosfera de la caña de azúcar CC 05 430 es mayor en las parcelas donde se incorporó y se mantuvieron los residuos orgánicos de cosecha durante 24 años de manejo



\*Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba post-hoc Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Las barras representan el error experimental (n=4).

La abundancia de bacterias fijadoras de N de la rizosfera de la caña de azúcar CC 05 430 es mayor en las parcelas donde se incorporó y se mantuvieron los residuos orgánicos de cosecha durante 24 años de manejo





**Figura 4.** Árbol filogenético de las cepas bacterianas aisladas de la rizosfera de la caña de azúcar

## ¿Quiénes son?

69 cepas bacterianas cultivadas en agar NBRIP y agar PCA

5 filos

8 clases

12 ordenes

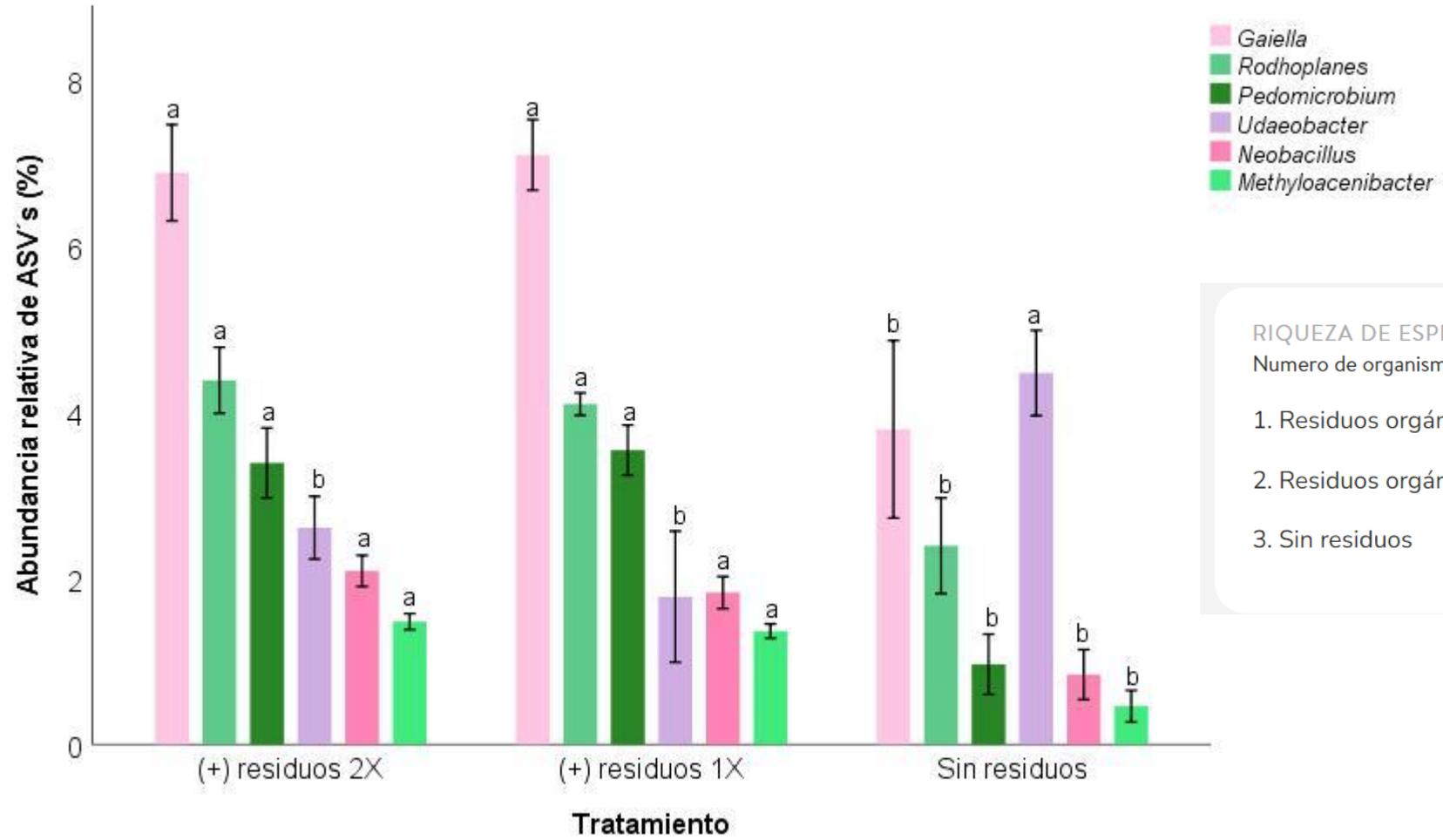
12 familias

27 géneros

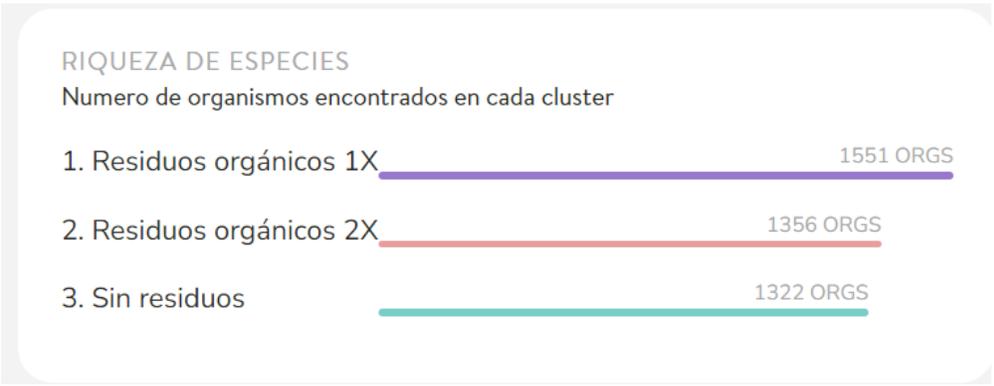
69 morfoespecies

La rizósfera de la caña de azúcar CC 05-430 tiene una alta riqueza de bacterias cultivables en las parcelas donde se mantienen los residuos orgánicos de cosecha

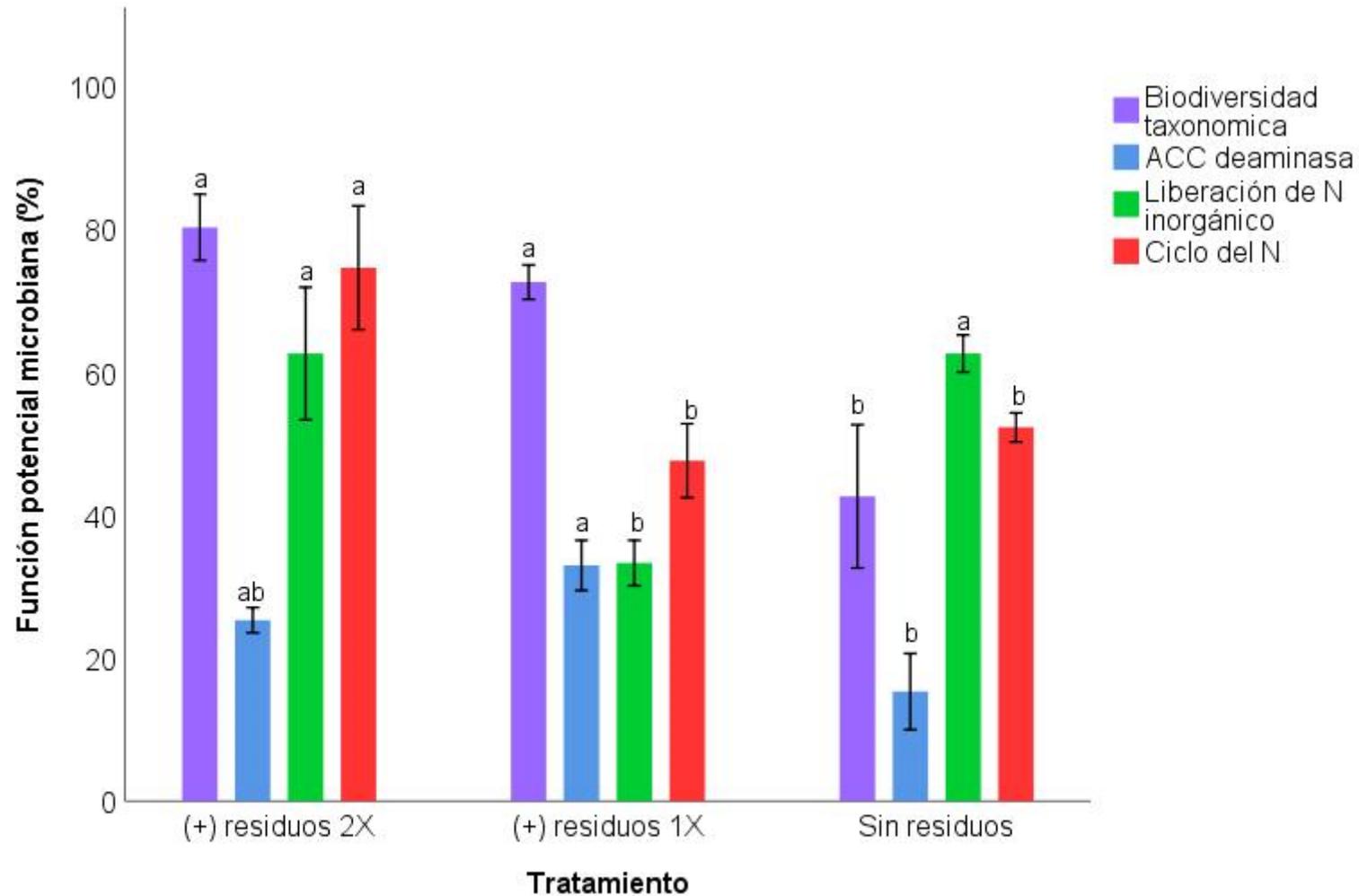
# El mantenimiento de los residuos orgánicos de cosecha como práctica agronómica sostenida en el tiempo puede beneficiar la comunidad microbiana (metagenómica) de la rizosfera de CC 05-430

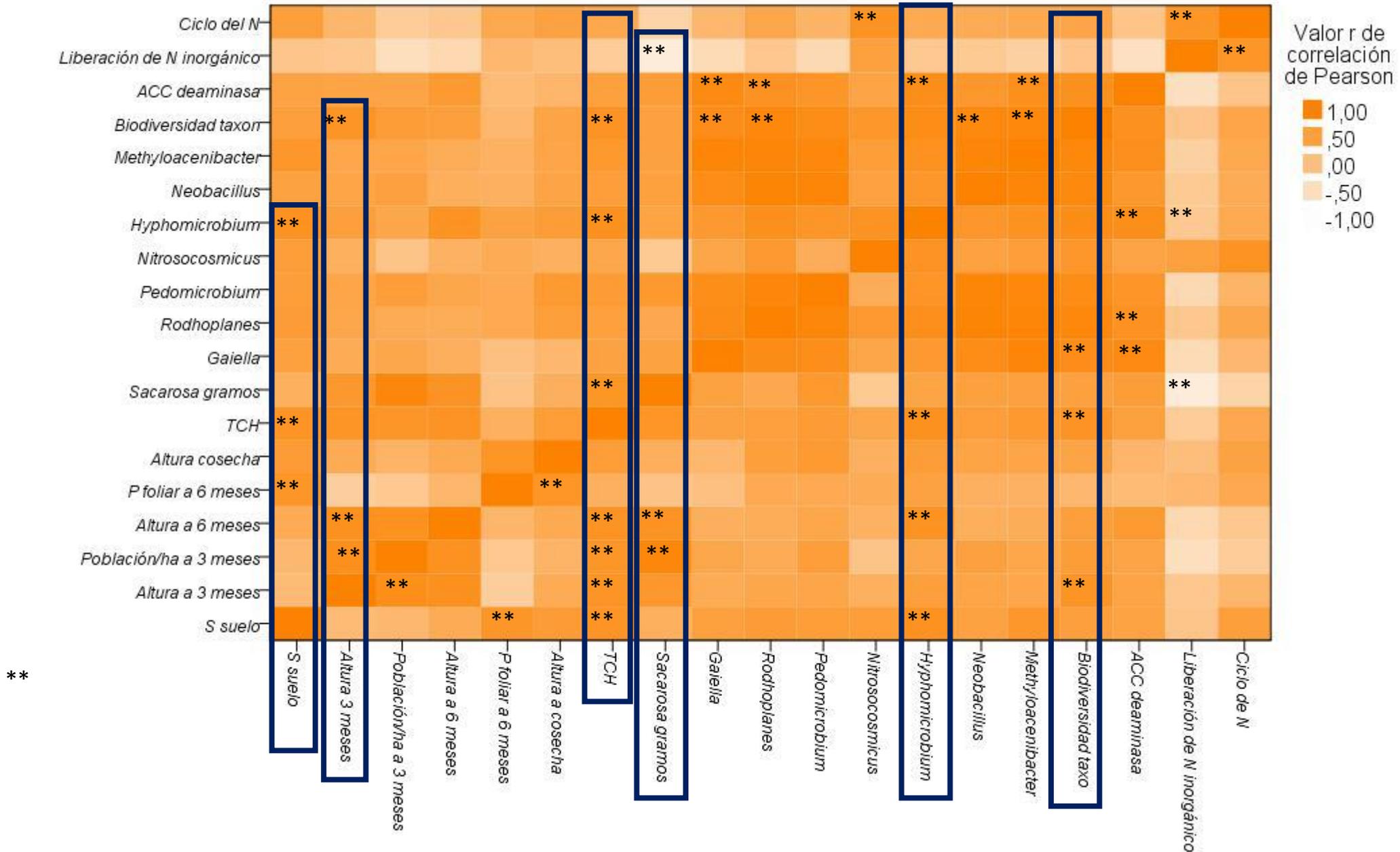


Incrementos del 17% de riqueza microbiana  
Diversidad filogenética mayor



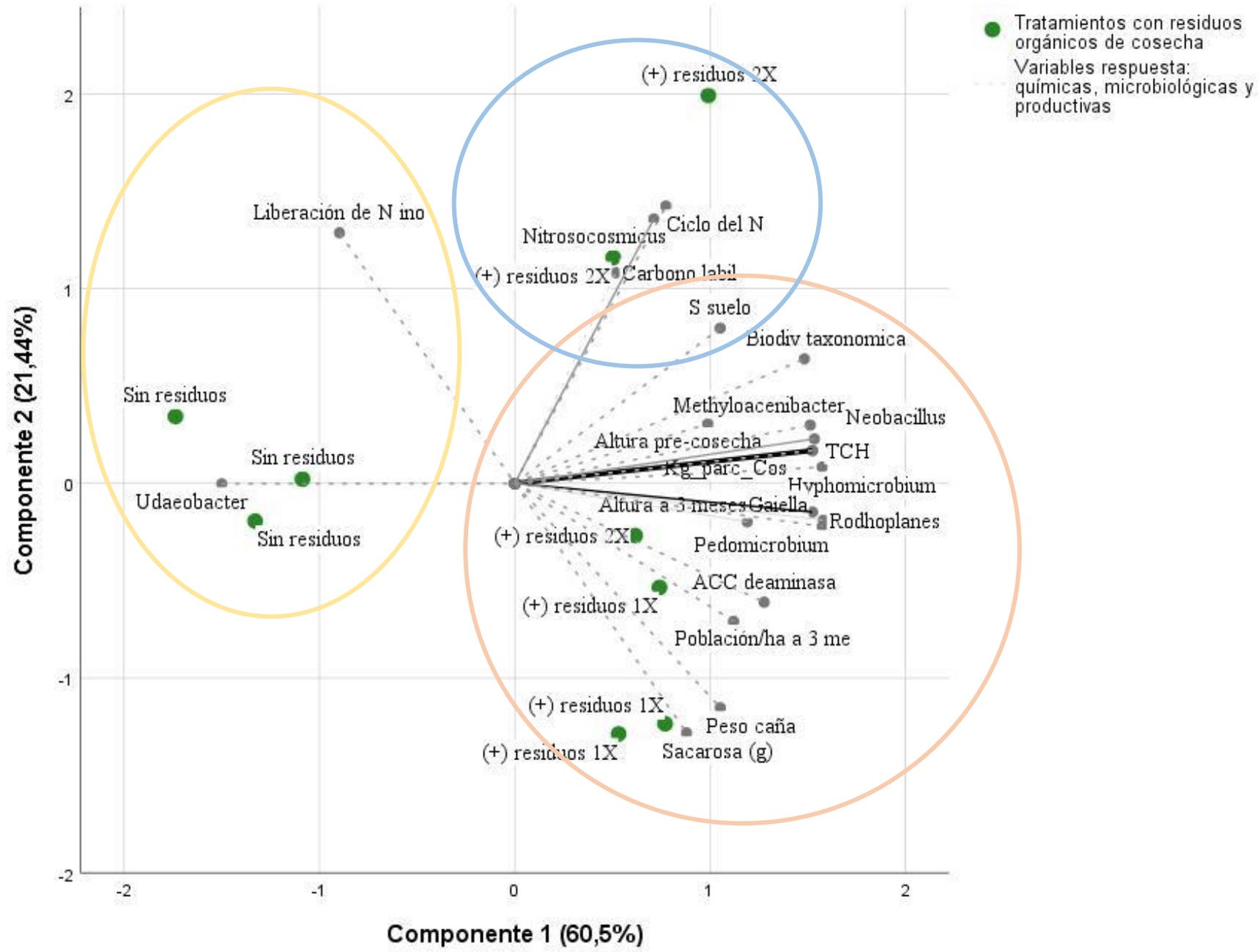
## El mantenimiento de los residuos orgánicos de cosecha como práctica agronómica sostenida en el tiempo conserva algunas funciones ecológicas microbianas de la rizosfera de CC 05-430





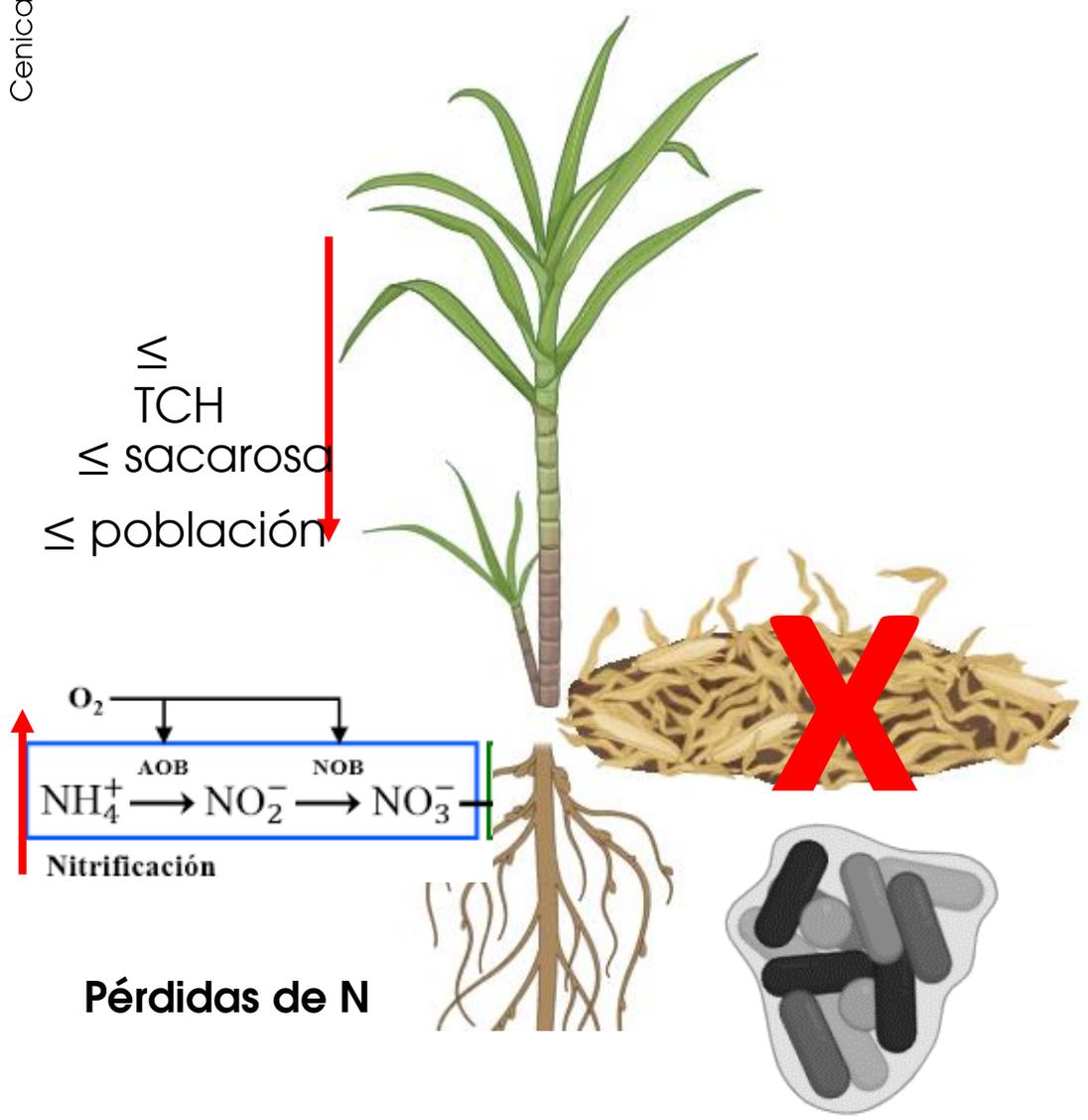
Mapa de calor para los valores r de Pearson para las variables dependientes

Diagrama de dispersión para PCA para resumir la relación entre los tratamientos con residuos de cosecha y las variables respuesta

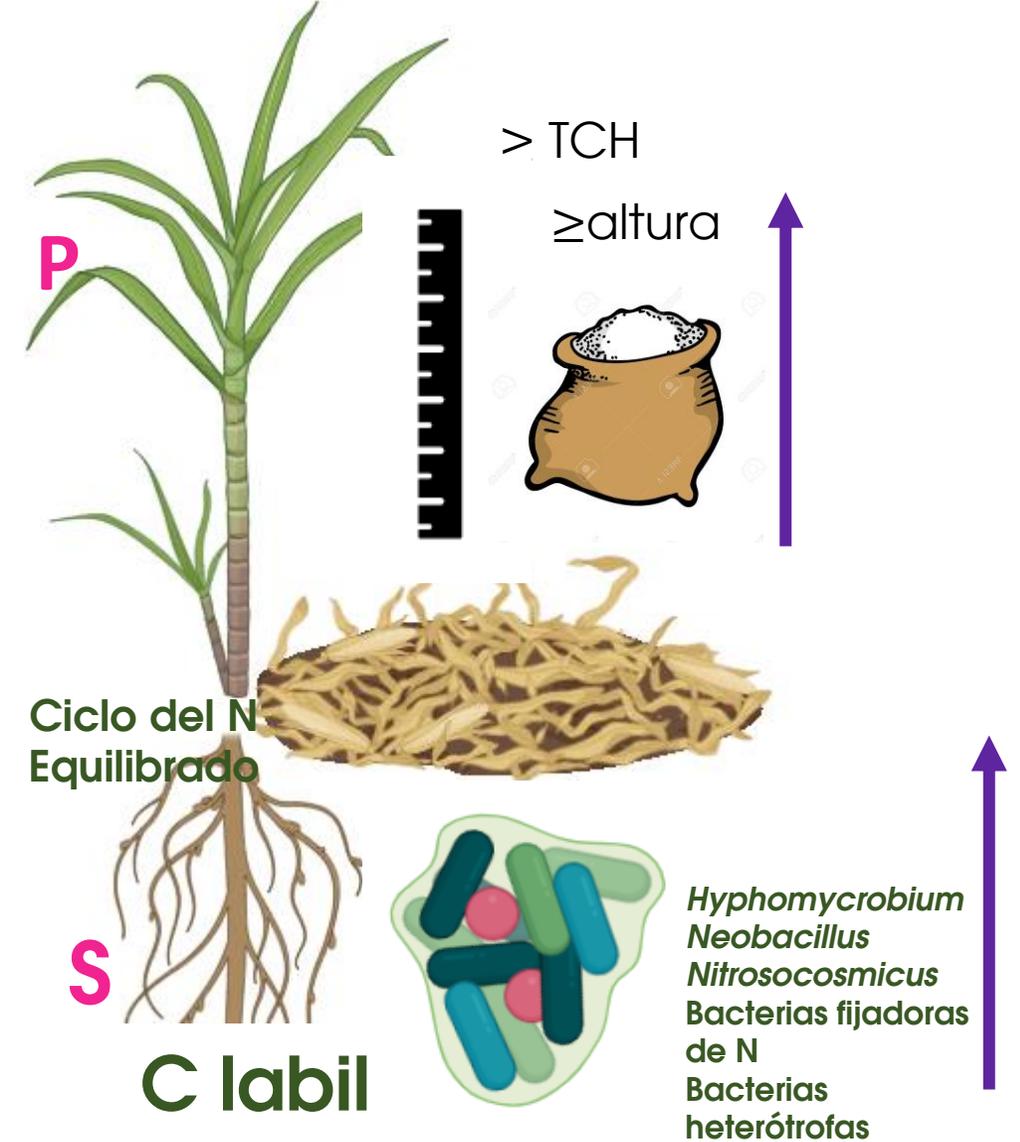


Normalización de principal de variable.

# La incorporación de residuos orgánicos como buena práctica agronómica sostenida en el tiempo es benéfica en múltiples aspectos



VS



# Uso de inter-cultivos como práctica agronómica que beneficia la diversidad microbiológica de la rizosfera de la caña de azúcar

## Localización y material vegetal:

Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT

## Varietal:

CC 05-430 y CC 09-066, Soca 1 (24/09/2022)

## Zona agroecológica y tipo de suelo:

18H1 (Typic Haplustepts)

## Coberturas vegetales vivas sembradas (27/09/2022) :

Maní forrajero (*Arachis pintoï*)

Fríjol Cuapí (*Vigna unguiculata*)

Fríjol Mungo (*Vigna radiata*)

## Diseño experimental:

Bloques completos al azar (2 blq x 4 tto x 4 rep = 64 parcelas)

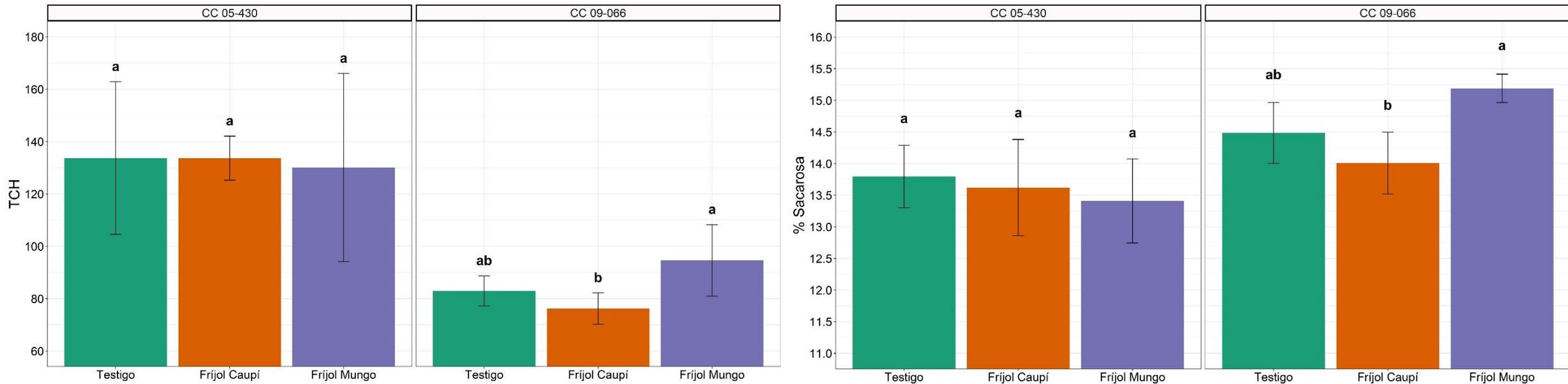
## Puntos de muestreo:



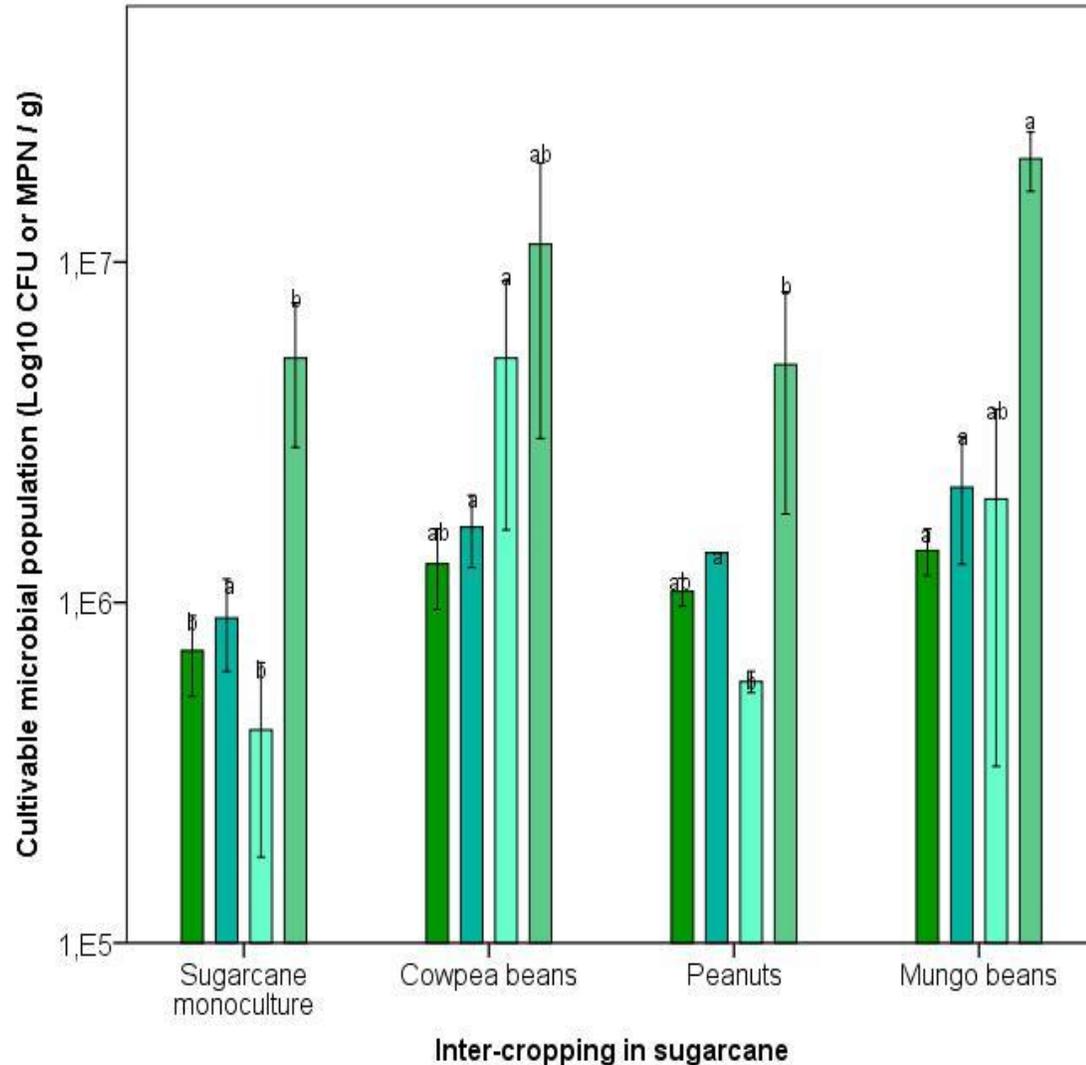
Varietal	Tratamientos	Distancia de siembra	Densidad de siembra (ha)
CC 05-430	Fríjol Caupí	30 cm de la caña y 20 cm entre semillas	60,000
	Maní	30 cm de la caña y 20 cm entre semillas	60,000
	Fríjol Mungo*	*30 cm de la caña y 10 cm entre semilla	120,000*
	Testigo	30 cm de la caña y 20 cm entre semillas	NA
CC 09-066	Fríjol Caupí	30 cm de la caña y 20 cm entre semillas	60,000
	Maní	30 cm de la caña y 20 cm entre semillas	60,000
	Fríjol Mungo*	*30 cm de la caña y 10 cm entre semilla	120,000*
	Testigo	30 cm de la caña y 20 cm entre semillas	NA

# La siembra de intercultivos de la caña de azúcar con frijol Mungo y pueden aumentar el TCH en la variedad CC 09-066

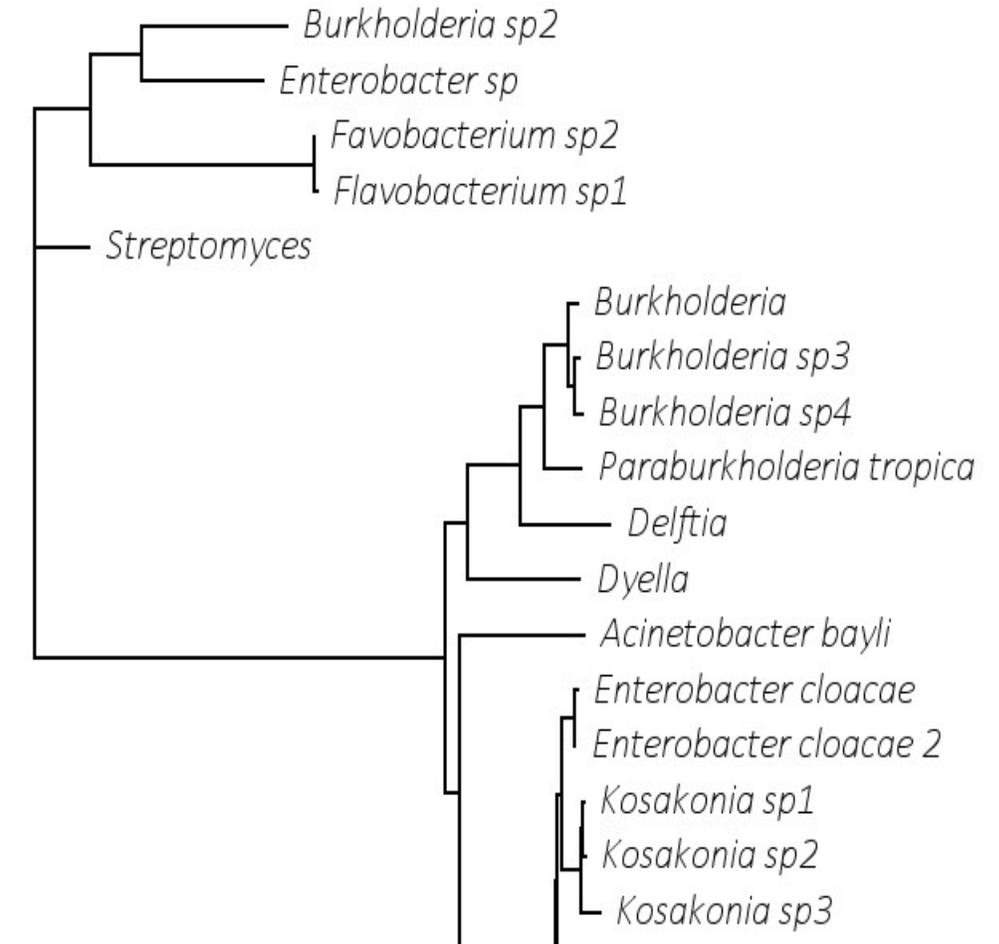
La sacarosa es similar entre todos los tratamientos



# La abundancia y riqueza de poblaciones bacterianas cultivables es mayor en la rizosfera de la caña de azúcar sembrada junto a frijol mungo y maní

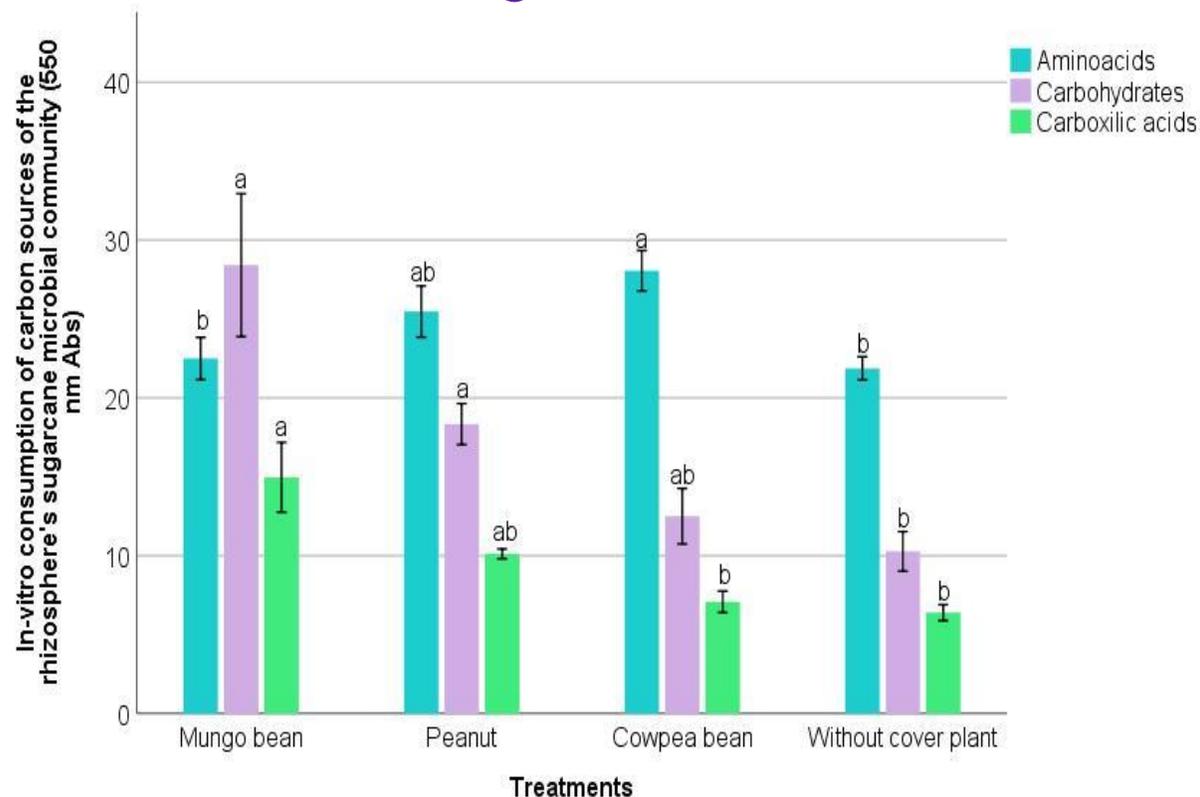
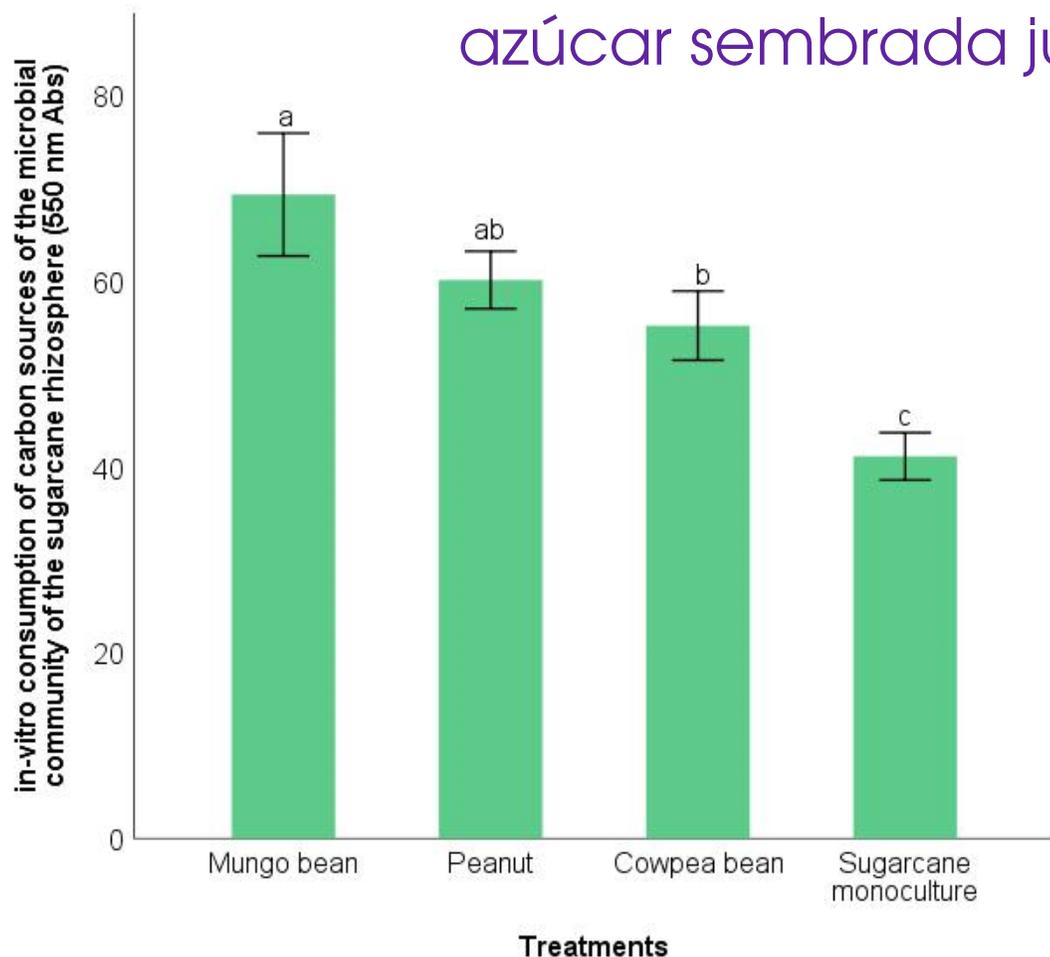


■ Fungi  
■ Actinobacteriota  
■ Nitrogen fixing bacteria  
■ Phosphorus solubilizing bacteria



Se resalta a *Streptomyces* y *Burkholderia* como géneros cultivables claves en la solubilización de fósforo

## Hay una mayor actividad metabólica de consumo de fuentes de carbono de la comunidad microbiana de la rizosfera de la caña de azúcar sembrada junto a coberturas vegetales

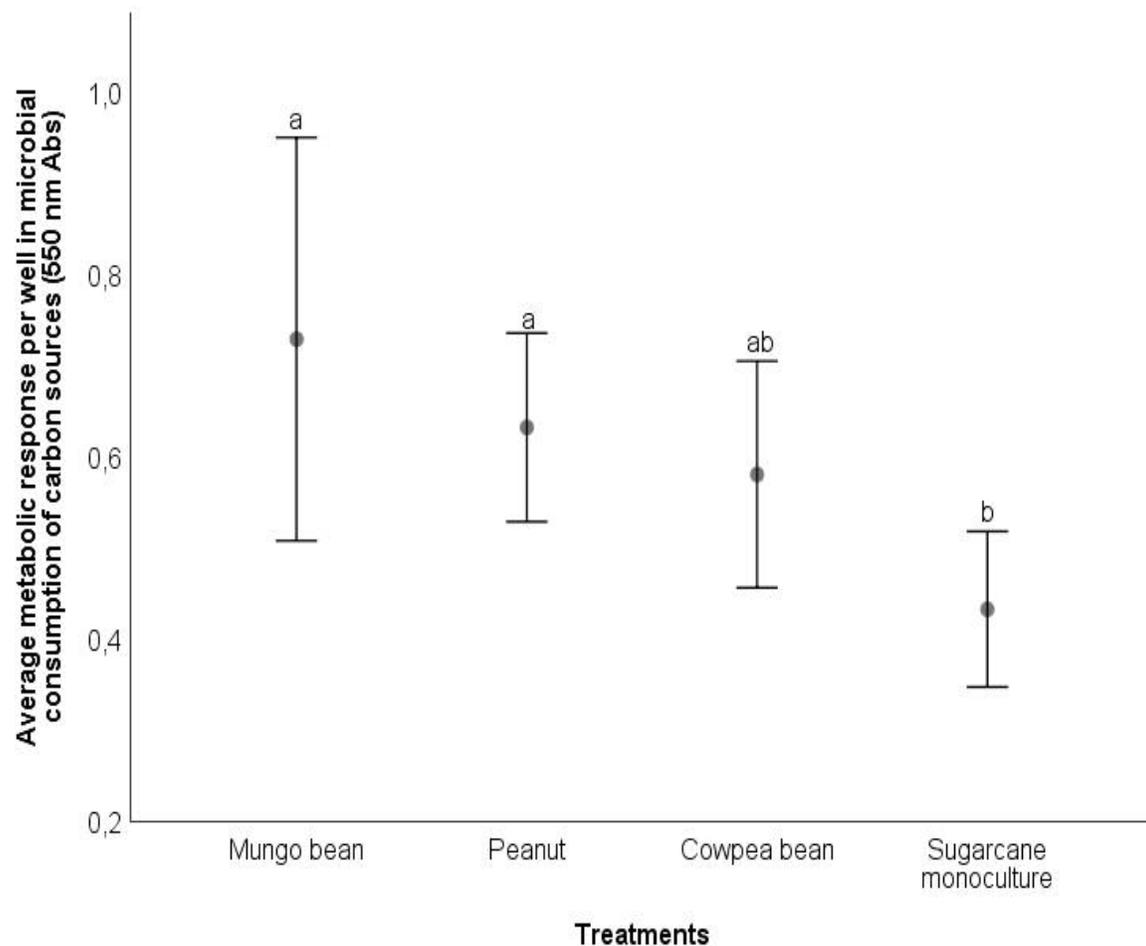


El consumo microbiano total de fuentes de carbono fue mayor cuando la caña de azúcar se sembró en cultivos intercalados con frijoles y maní.

-Hay un mayor consumo de carbohidratos y ácidos carboxílicos en la rizosfera de la caña asociada a Mungo y maní

-Hay mayor consumo de aminoácidos en inter-cultivos caña de azúcar-cowpea

La diversidad funcional *in-vitro* de mineralización de carbono de la comunidad microbiana es mayor en la rizosfera de la caña de azúcar en inter-cultivos con frijol Mungo y Maní.

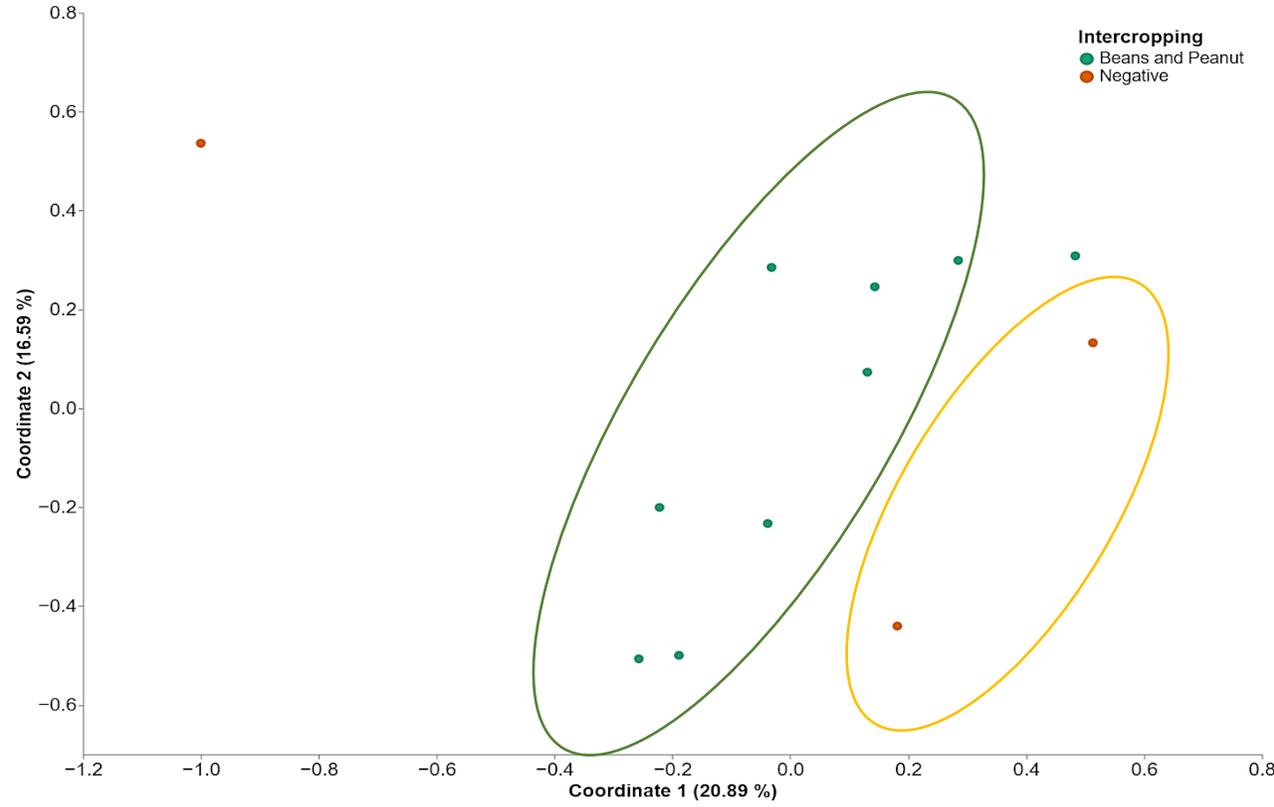


Intercropping in sugarcane	Functional richness	Shannon-H index	Brillouin index
Monoculture	52.33±5.81 <sup>b</sup>	3.70±0.11 <sup>b</sup>	,680±0.073 <sup>b</sup>
Mungo	70.33±2.02 <sup>a</sup>	4.043±0.061 <sup>a</sup>	1,26±0.176 <sup>a</sup>
Cowpea	64.33±1.76 <sup>ab</sup>	3.923±0.014 <sup>ab</sup>	1,146±0.080 <sup>ab</sup>
Peanut	74.33±2.90 <sup>a</sup>	4.110±0.040 <sup>a</sup>	,930±0.095 <sup>ab</sup>
ANOVA <i>P</i> value	0.011	0.012	0.030

# Análisis metagenómico de librerías de ARNr 16s

## Comunidad bacteriana de la rizosfera de la caña de azúcar

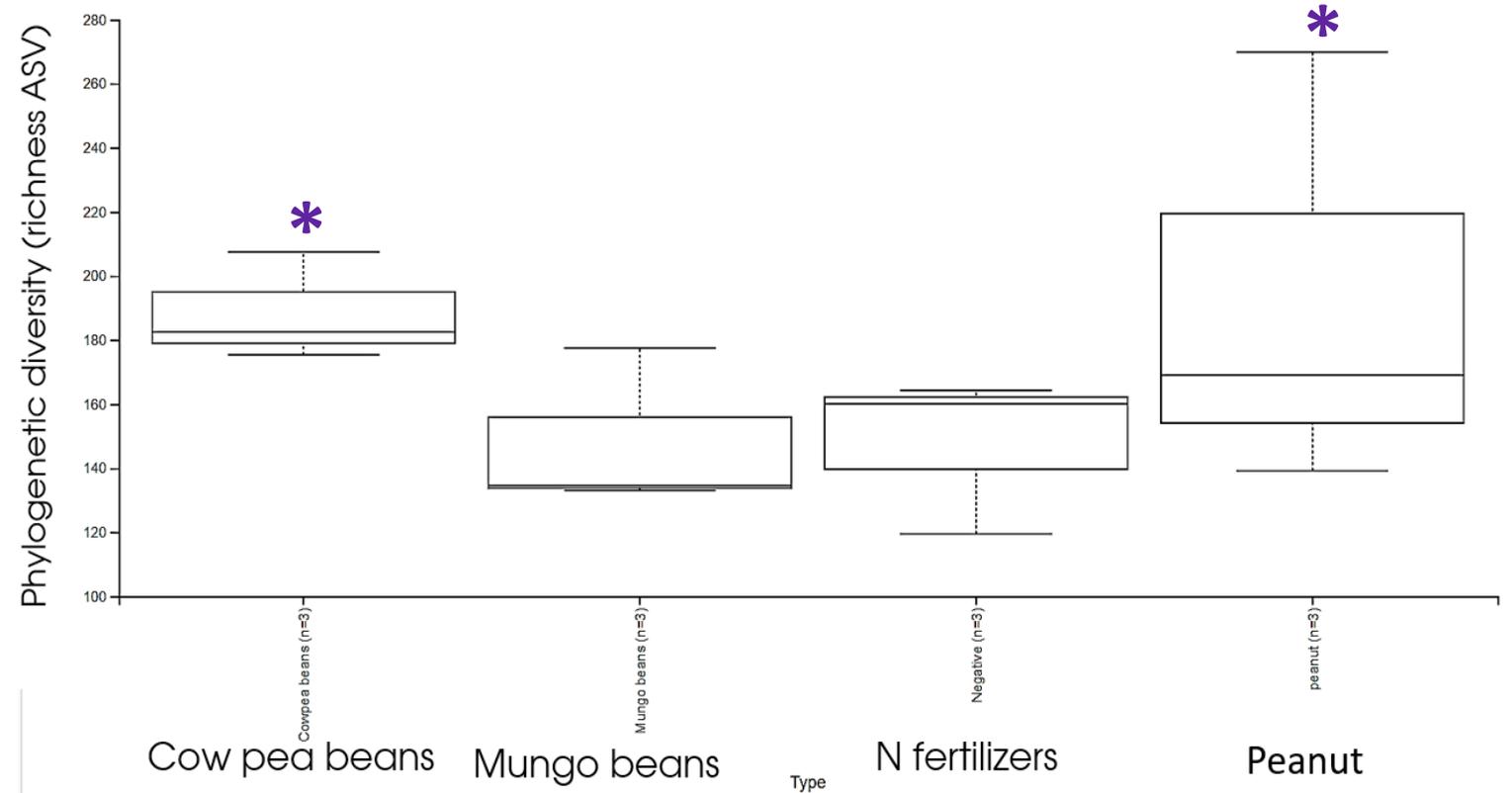
**La estructura de la comunidad bacteriana de la rizosfera de la caña de azúcar es diferente en caña en mono-cultivos y caña en inter-cultivos con frijol y maní.**



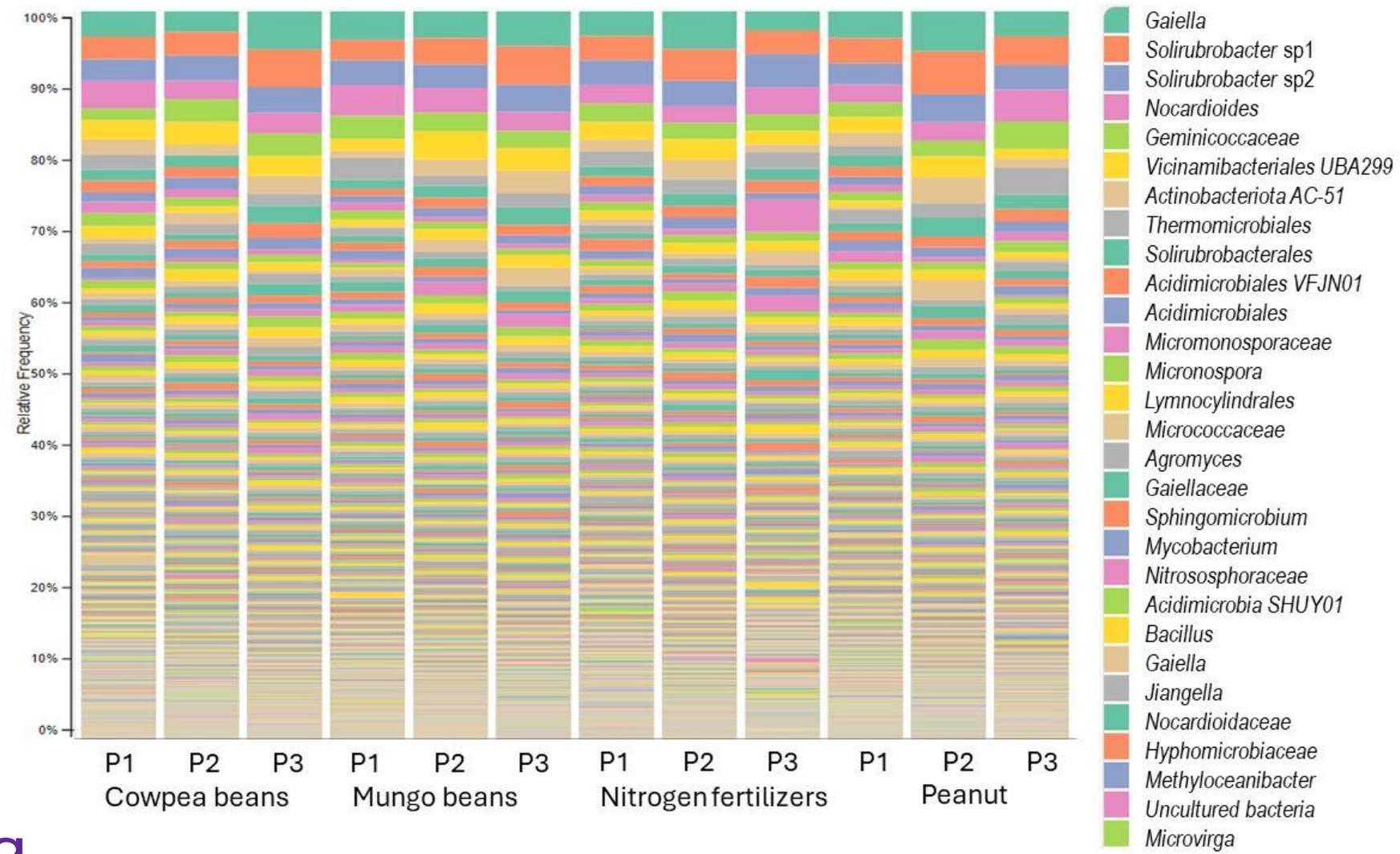
Análisis de coordenadas principales para las distancias Bray-curtis (diversidad  $\beta$ ) de la estructura de la comunidad bacteriana de la rizosfera de la caña de azúcar

# La diversidad filogenética de bacterias incrementa en la rizosfera de la caña de azúcar en inter-cultivos con frijol Cowpea y Maní

Treatments	Faith's Phylogenetic diversity
Sugarcane monoculture	147.87±14.27 b
Mungo	148.30±11.63 b
Cowpea	188.41±9.7 a
Peanut	192.64±39.52 ab



El intercultivo de caña de azúcar con frijol caupí y maní puede aumentar la abundancia relativa de Actinobacteria ASV en un 9,2% ( $p \leq 0,05$ ;  $n=3$ -ANOVA;  $p=0,025$ ,  $n=3$ -T de Student entre tratamientos sin intercultivo y maní ).



600 géneros identificados en caña de azúcar

Nuevos registros para el Valle del Cauca

---

## Conclusión final

El uso de **biofertilizantes microbianos** como **práctica agronómica complementaria** a la fertilización pueden promover crecimiento vegetal en caña de azúcar (Mayor TCH, altura, sacarosa)

---

**Biofertilizantes microbianos** estudiados:

Bacterias fijadoras de N-*Azospirillum brasiliense*

Micorrizas-Hongos micorrícicos *arbusculares-Glomus-Acaulospora-Scutellospora*

*Trichoderma*

---

Las buenas prácticas agronómicas de **mantenimiento de los residuos orgánicos de cosecha en entresurco** pueden aumentar la **productividad del cultivo** y está relacionada con el **incremento de S, Carbono lábil, la diversidad** y funciones de la comunidad microbiana del suelo

---

El uso de **inter-cultivos con frijol y maní** pueden conservar la **diversidad microbiológica** de la comunidad bacteriana del suelo y las funciones de mineralización

---