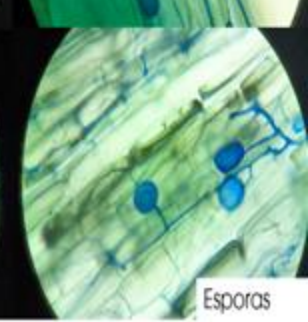
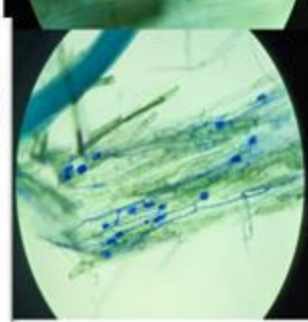
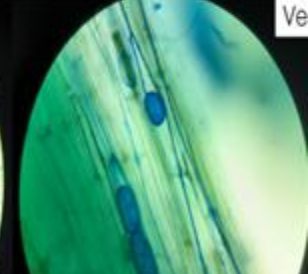
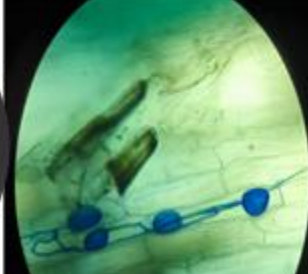
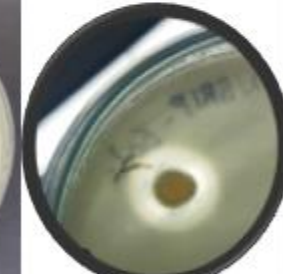
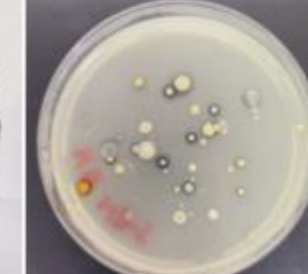
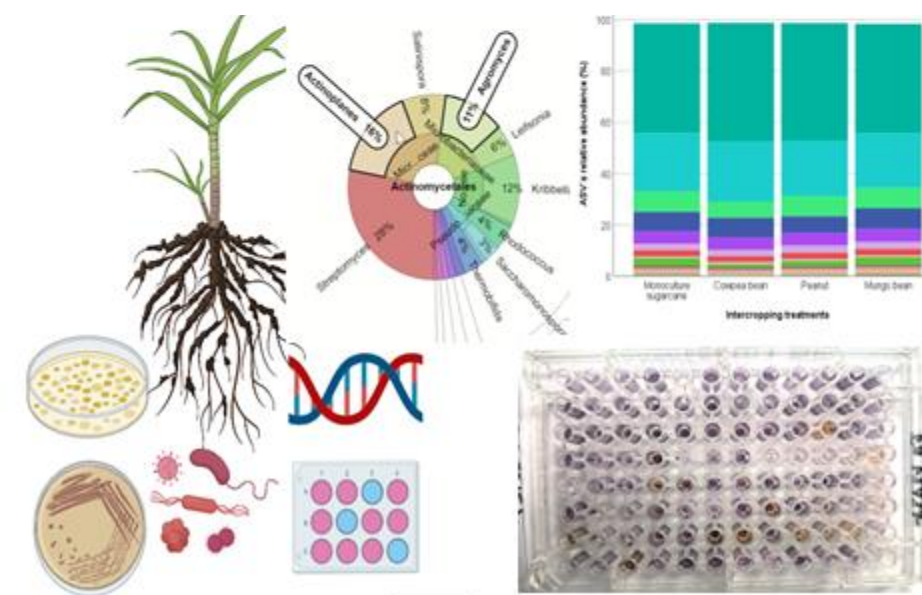
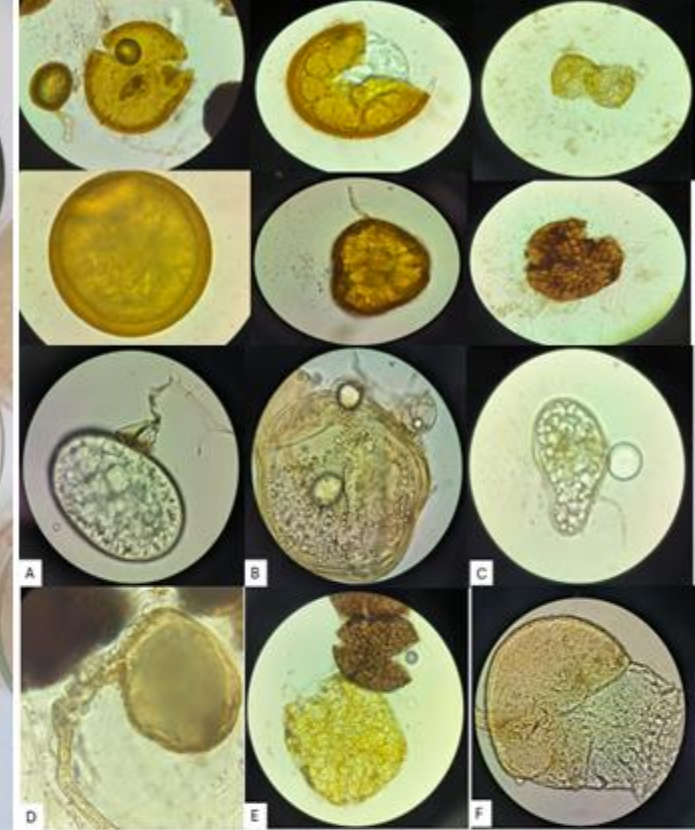


cenicaña

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



Esporas

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

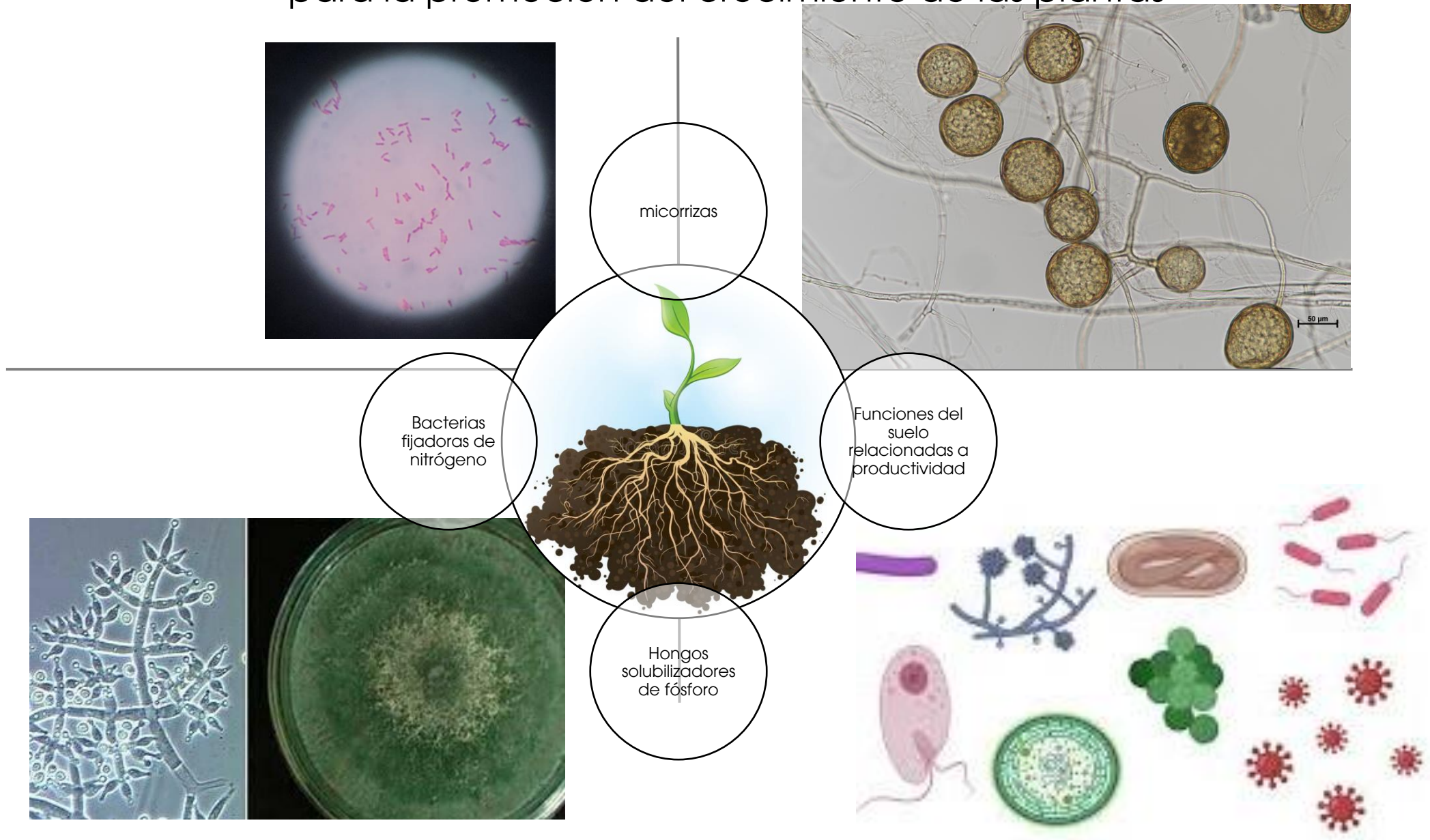
Compendio de experimentos en campo sobre uso de microorganismos o biofertilizantes

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^a-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

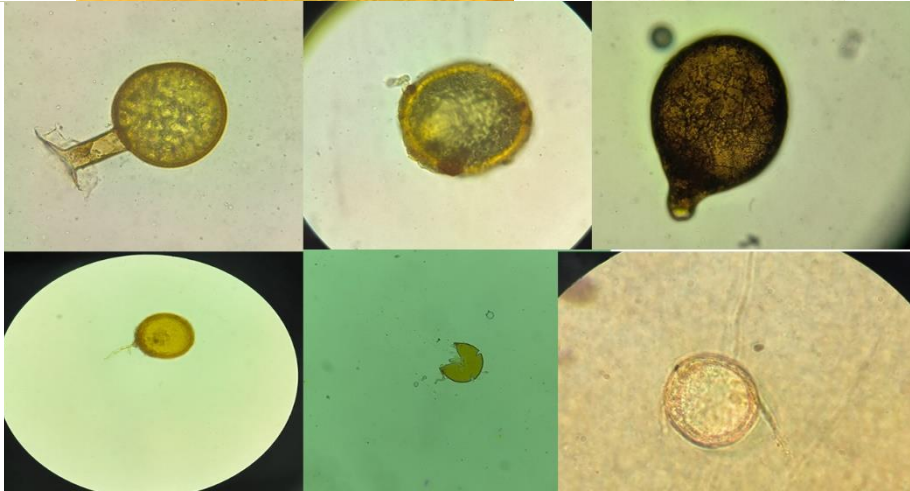
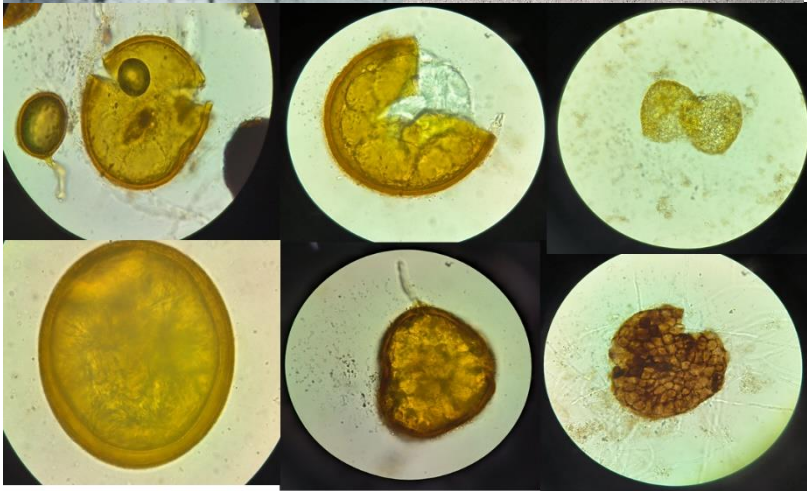
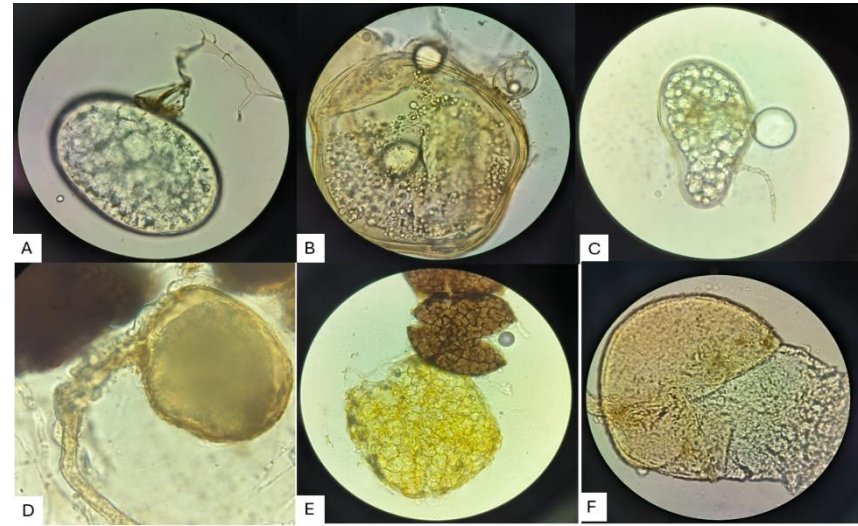
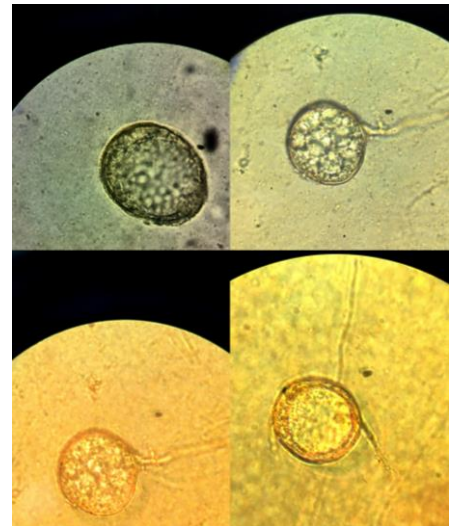
Inducción de cambios a nivel
fisiológico y de metabolismo
frente a condiciones de estrés
(Exopolisacáridos – EPS)



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)



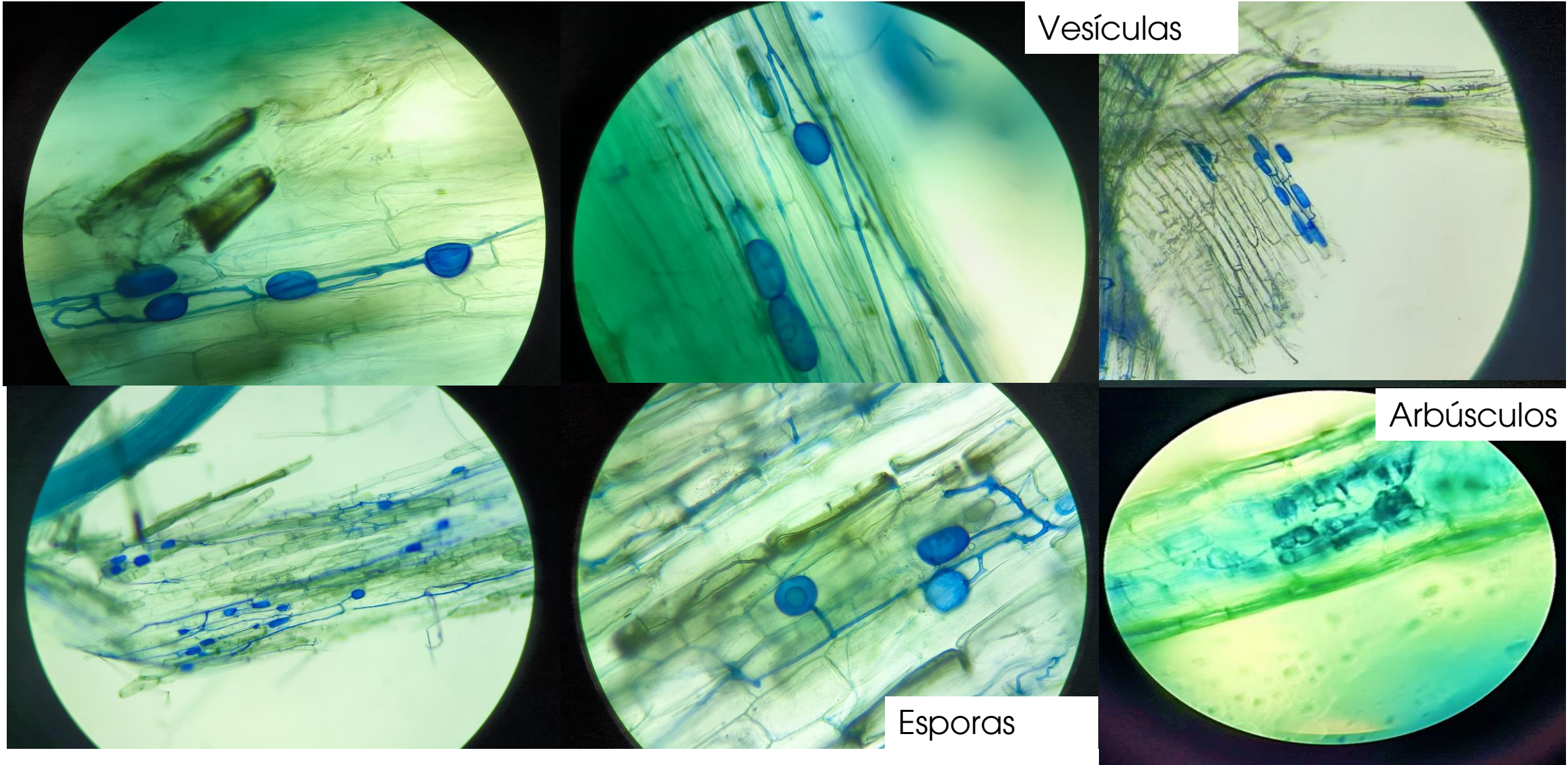
57 morfotipos

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



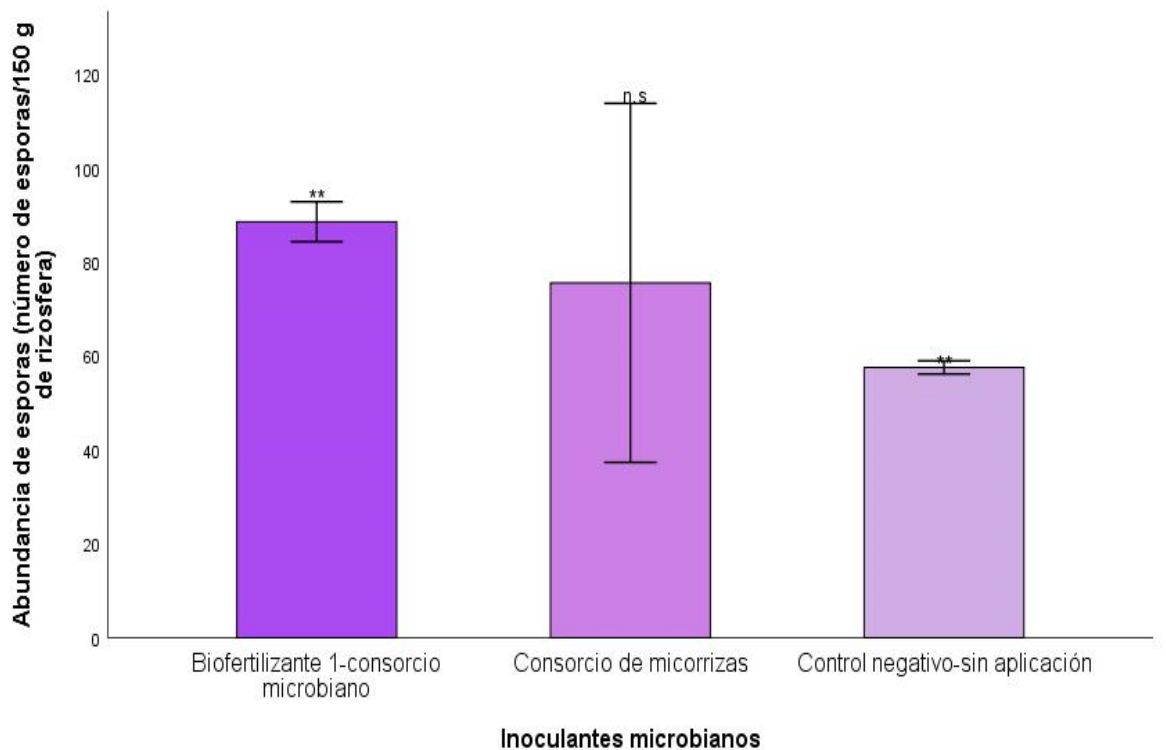
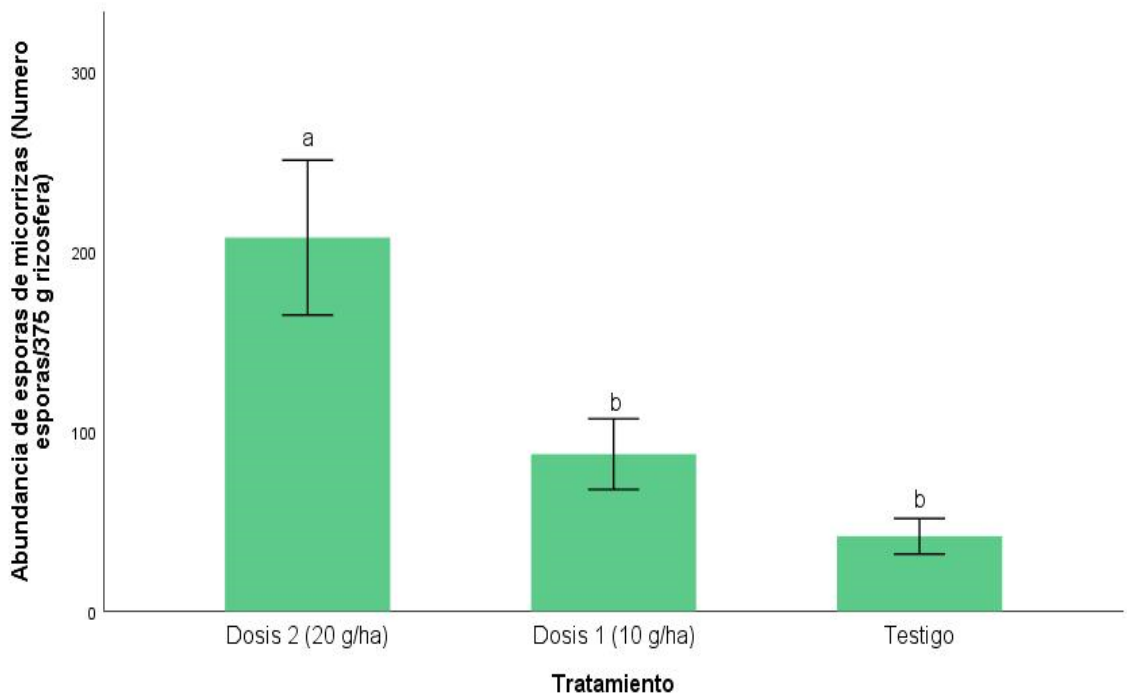
22500 propágulos /sustrato de especies de *Glomus*,

Bioinsumos ensayo 2 -A base de esporas de micorrizas

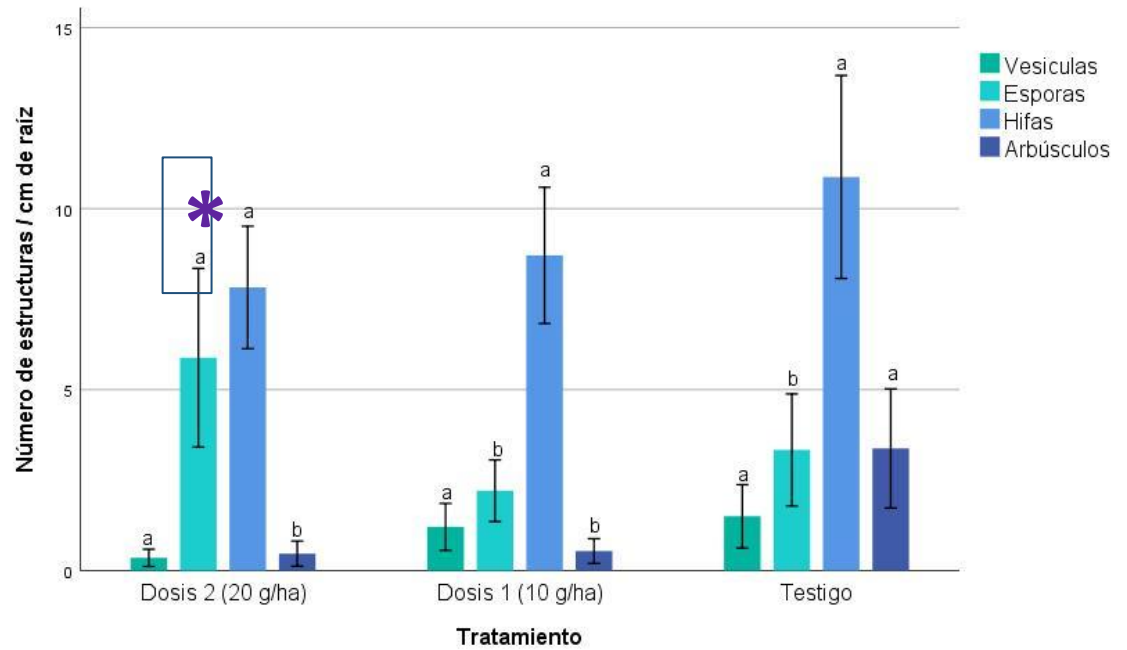
Aplicación:
20 g por planta- 2 bultos/ha
Después de la siembra de esquejes-plantilla



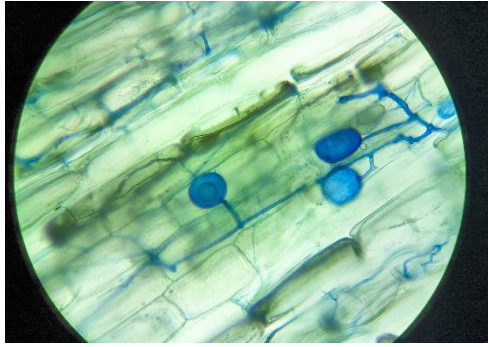
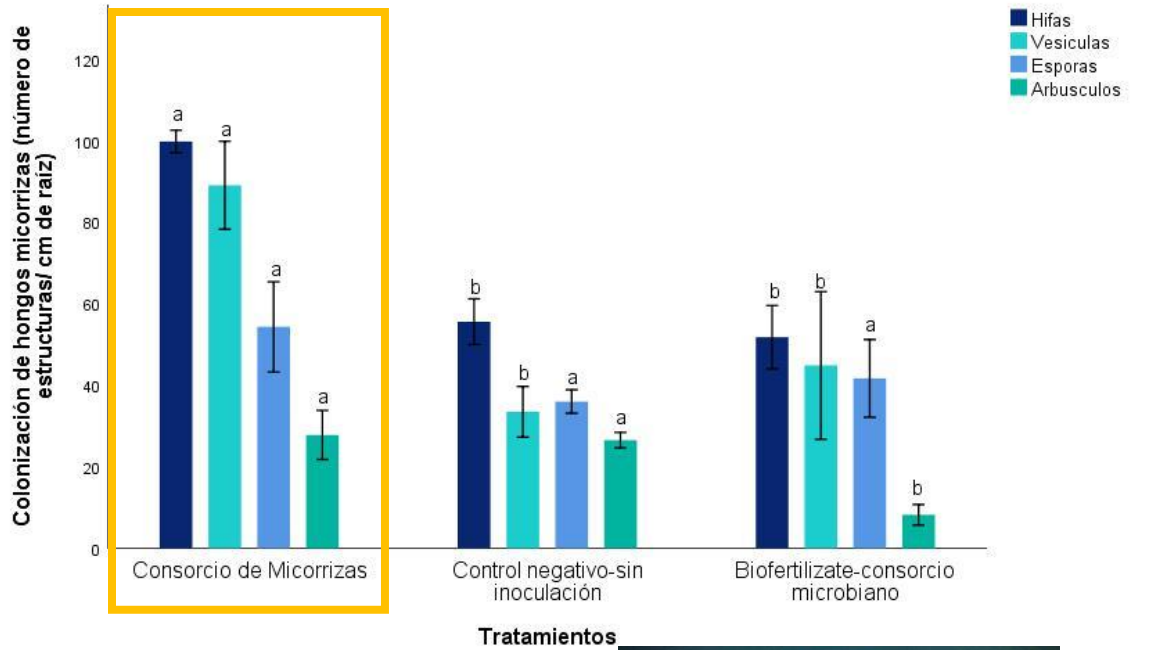
300 g espora/sustrato *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*



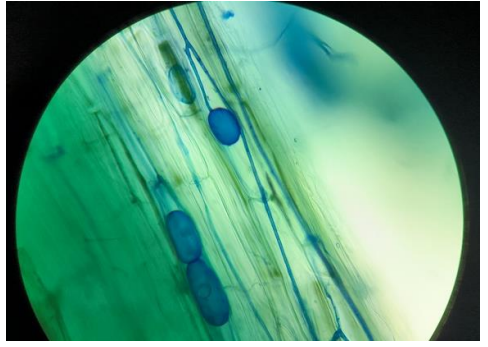
Bioinsumo 1 -A base de esporas de *Glomus*



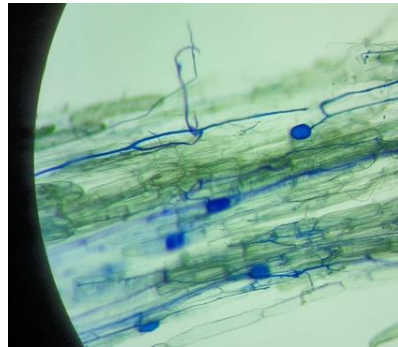
Bioinsumos ensayo 2 -A base de consorcio de esporas de micorrizas



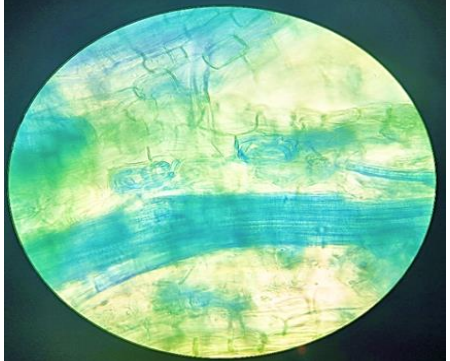
esporas



vesículas



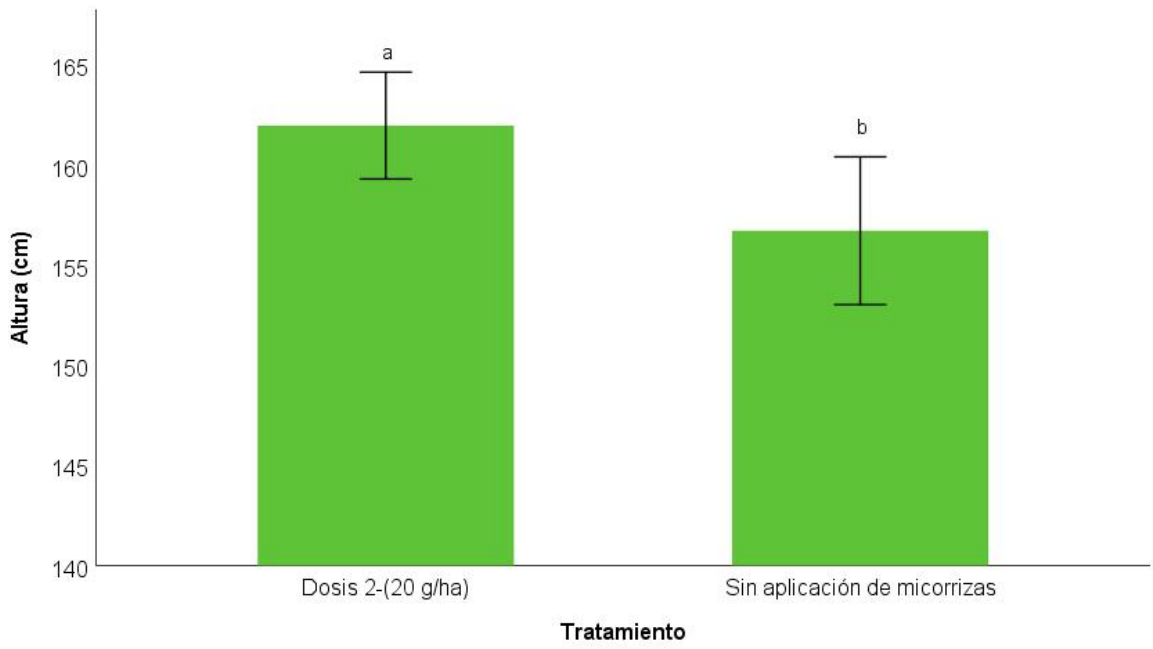
Hifas



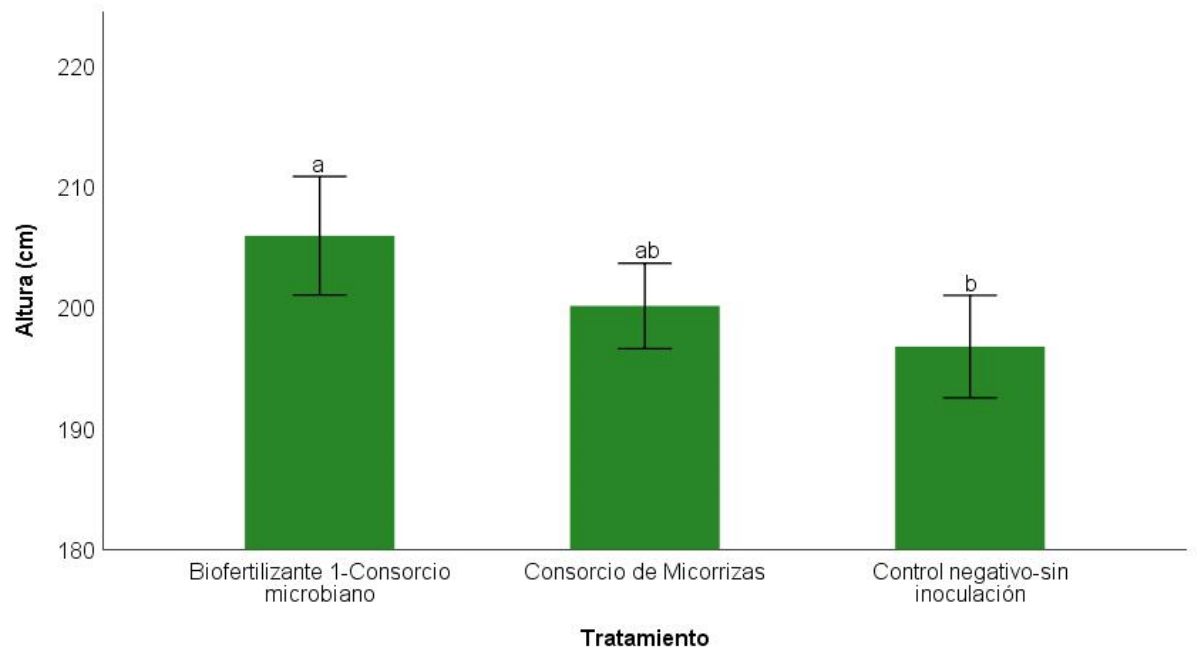
Arbúsculos

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

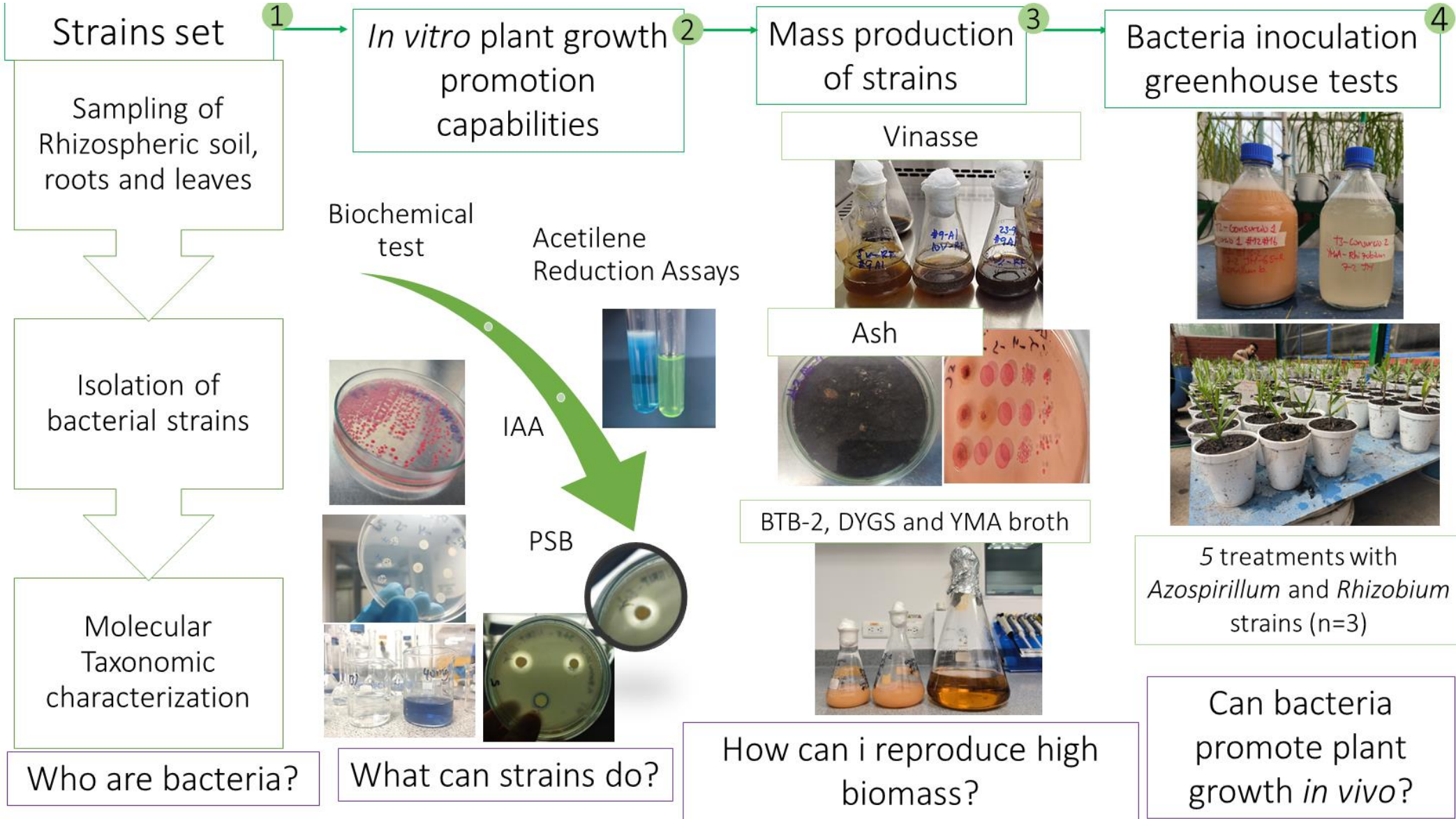


Altura de la variedad CC 1940 a los 7 meses de aplicación del bioinsumo (p=0.029; n=3; T de student)



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

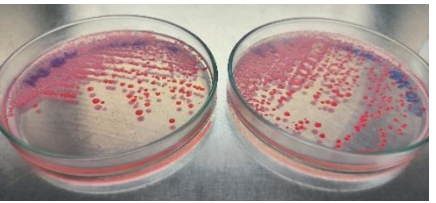
Aplicación de bacterias fijadoras de Nitrógeno y sus efectos en el crecimiento vegetal de la caña de azúcar CC -8592 en plantilla-cosecha 1 Proyecto de Cenicafña



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



Producción de biomasa en medios líquidos



Ajuste de los tratamientos

2 meses Invernadero

1° aplicación Inoculación alta en fase de plántula



- 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 a campo y 2° aplicación



10 meses

- Trasplante con todo el cepellón
- Inoculante bacteriano líquido aplicado por drench
- Dosis de aplicación: 100 ml entre 5×10^6 UFC/ml y 4×10^8
 - 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

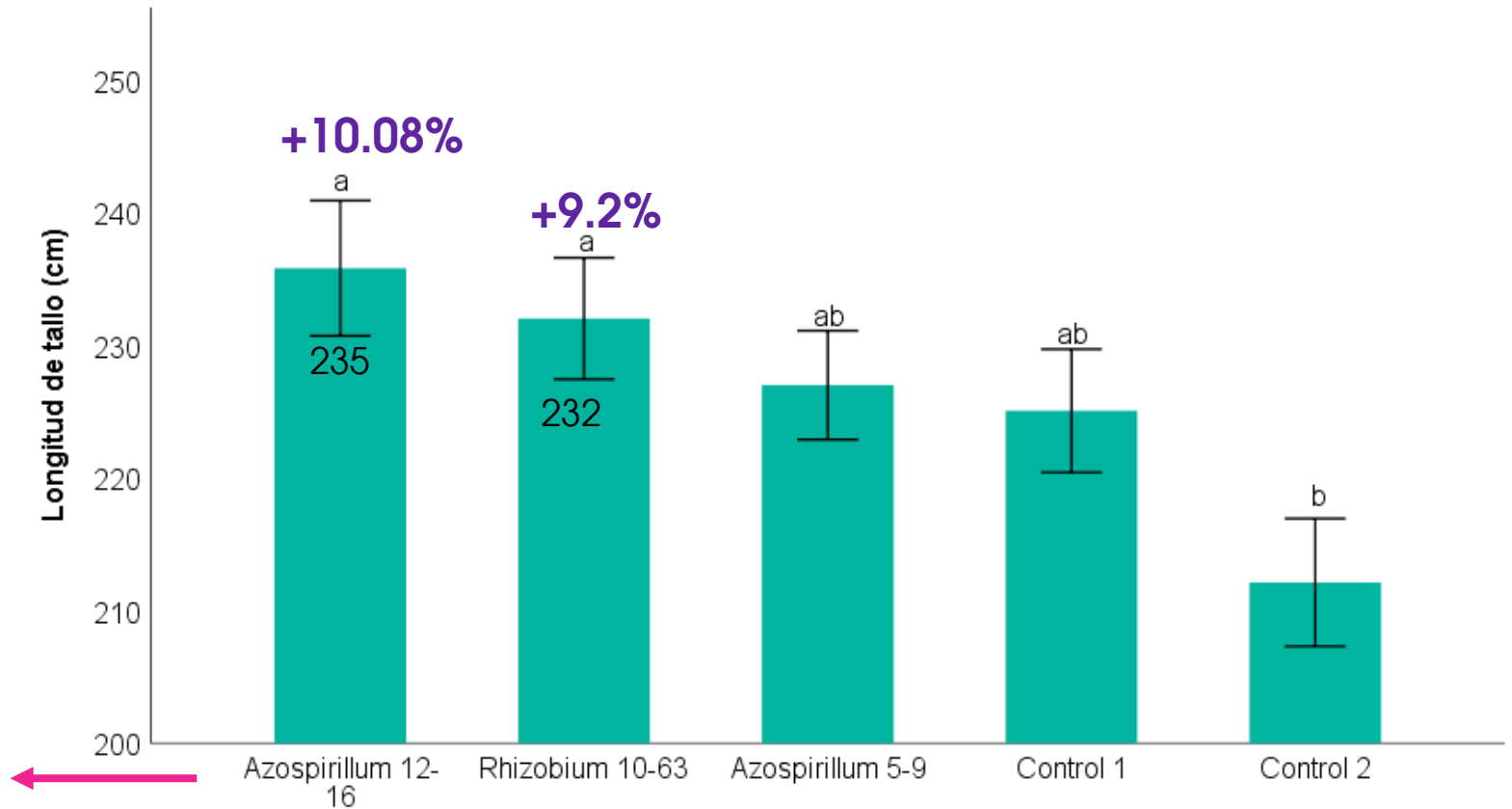


Mecanismos:
Producción de AIA
(aumento área de raíces)

Fijación de N: NH_4

Solubilización de P: PO_4

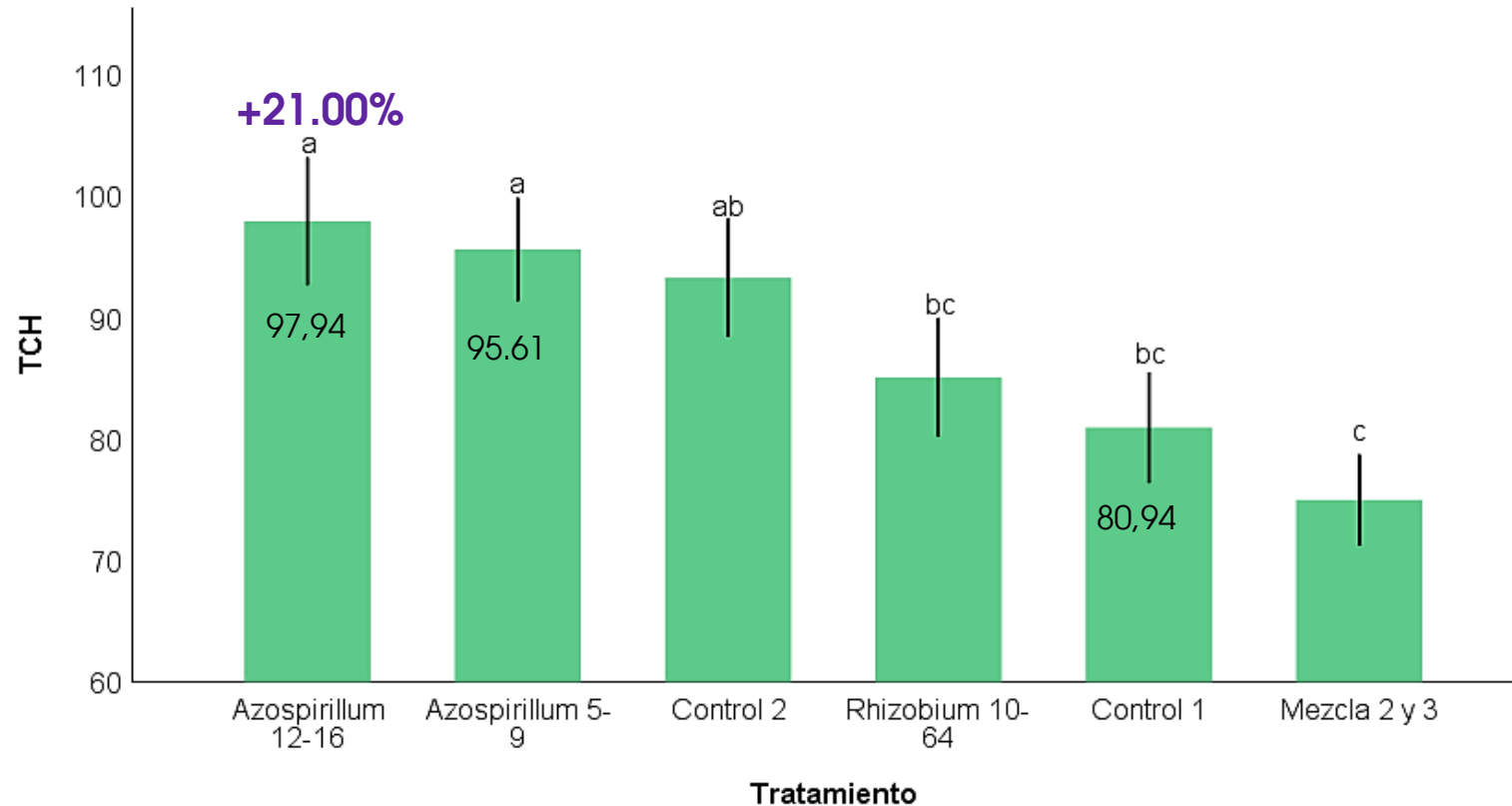
Más eficientes a nivel *in vitro*



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

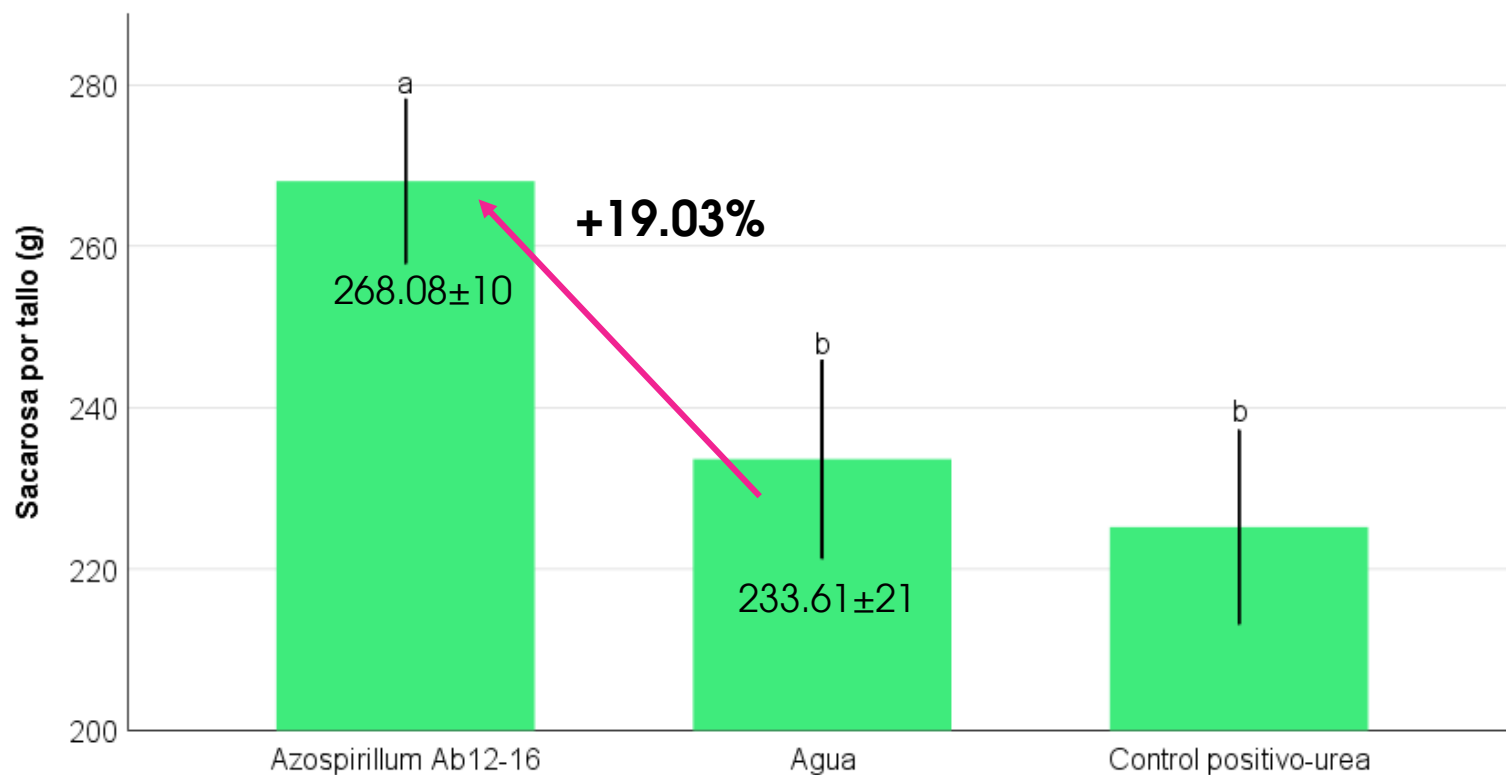
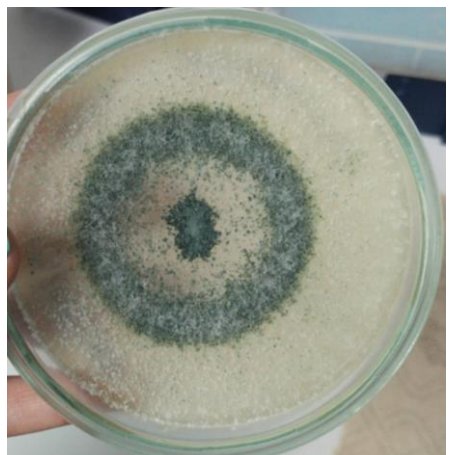


Tabla 2. Variables de análisis directo de caña de azúcar bajo diferentes tratamientos en campo con bacterias fijadoras de N.

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

+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*10e7 conidios/ml	<i>Trichoderma koningiopsis</i> Th003 1 x 10 ⁹ conidios/ g
Biofertilizante <i>Trichoderma 2 -</i>	4 g/L 50 ml por planta 5*10e7 conidios/ml	Especies: <i>Trichoderma harzianum</i> y <i>Trichoderma koningii</i> concentración 1x10 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 5×10^7 esporas/ml
- En sustrato: $8,3 \times 10^5$ conidios/g
- Tricho 2- 2×10^7 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

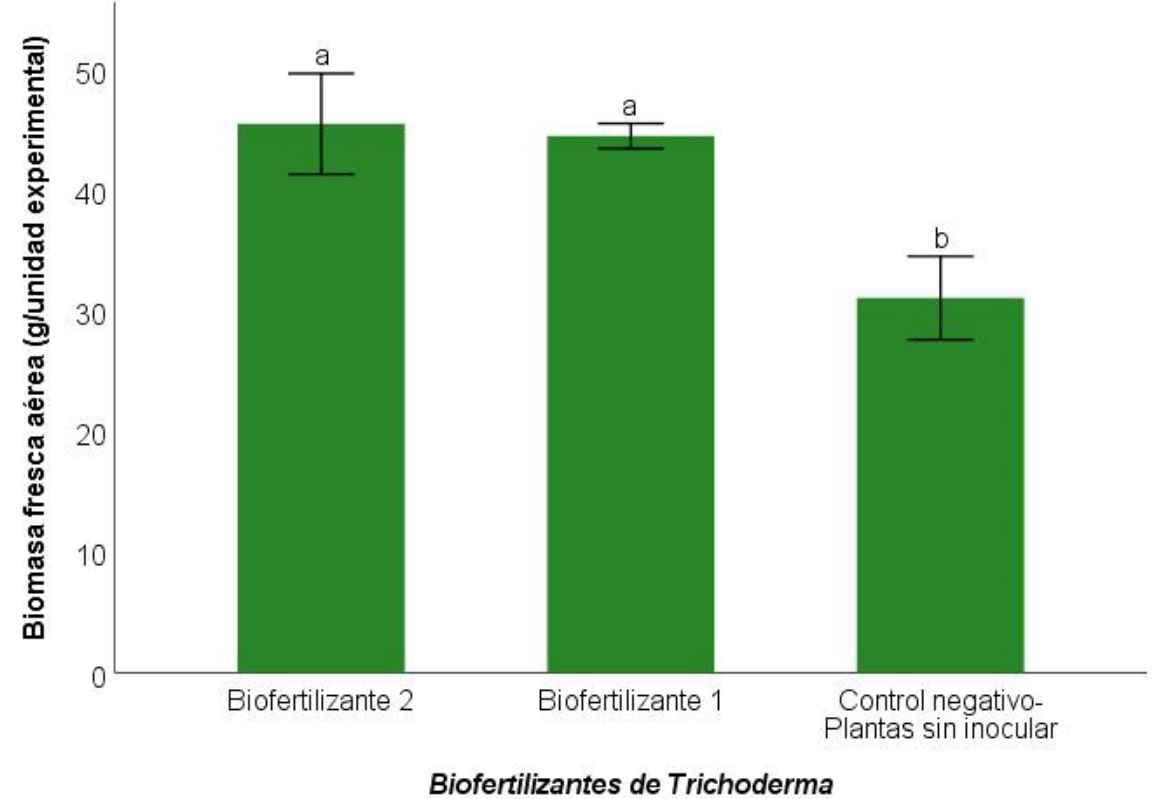
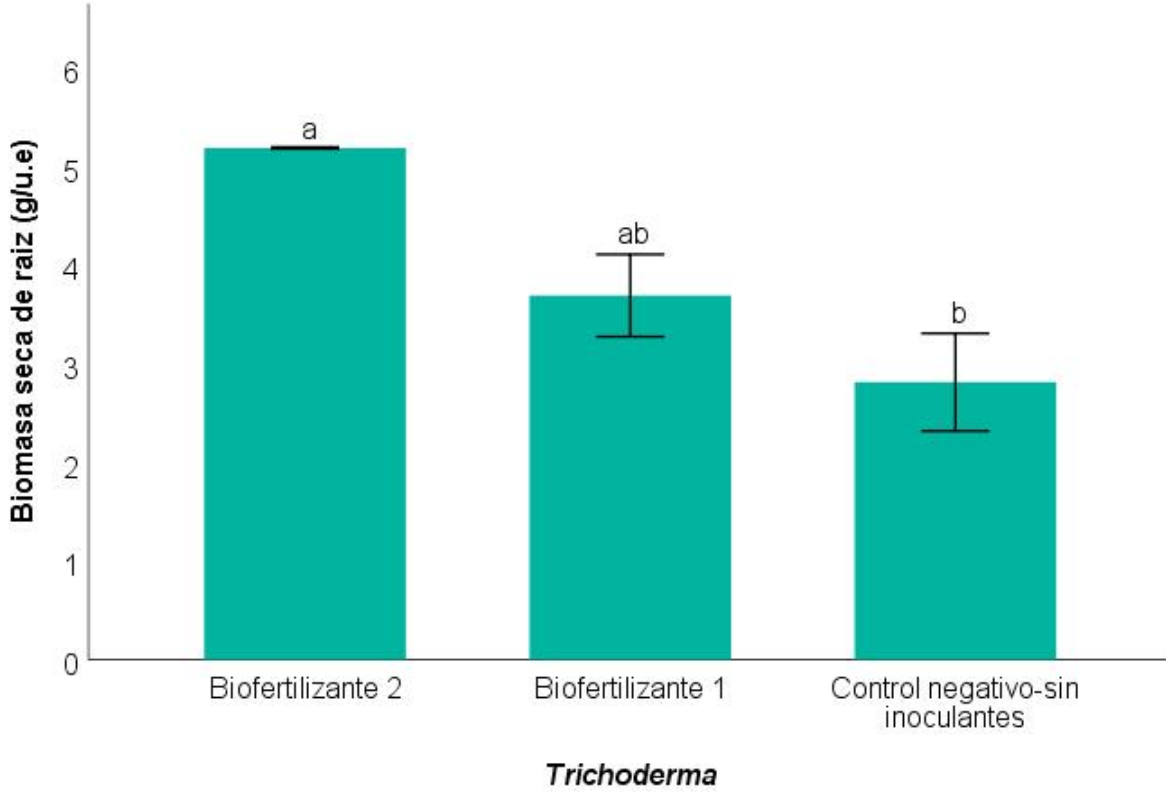
Aplicaciones cada 15 días durante 3 meses

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

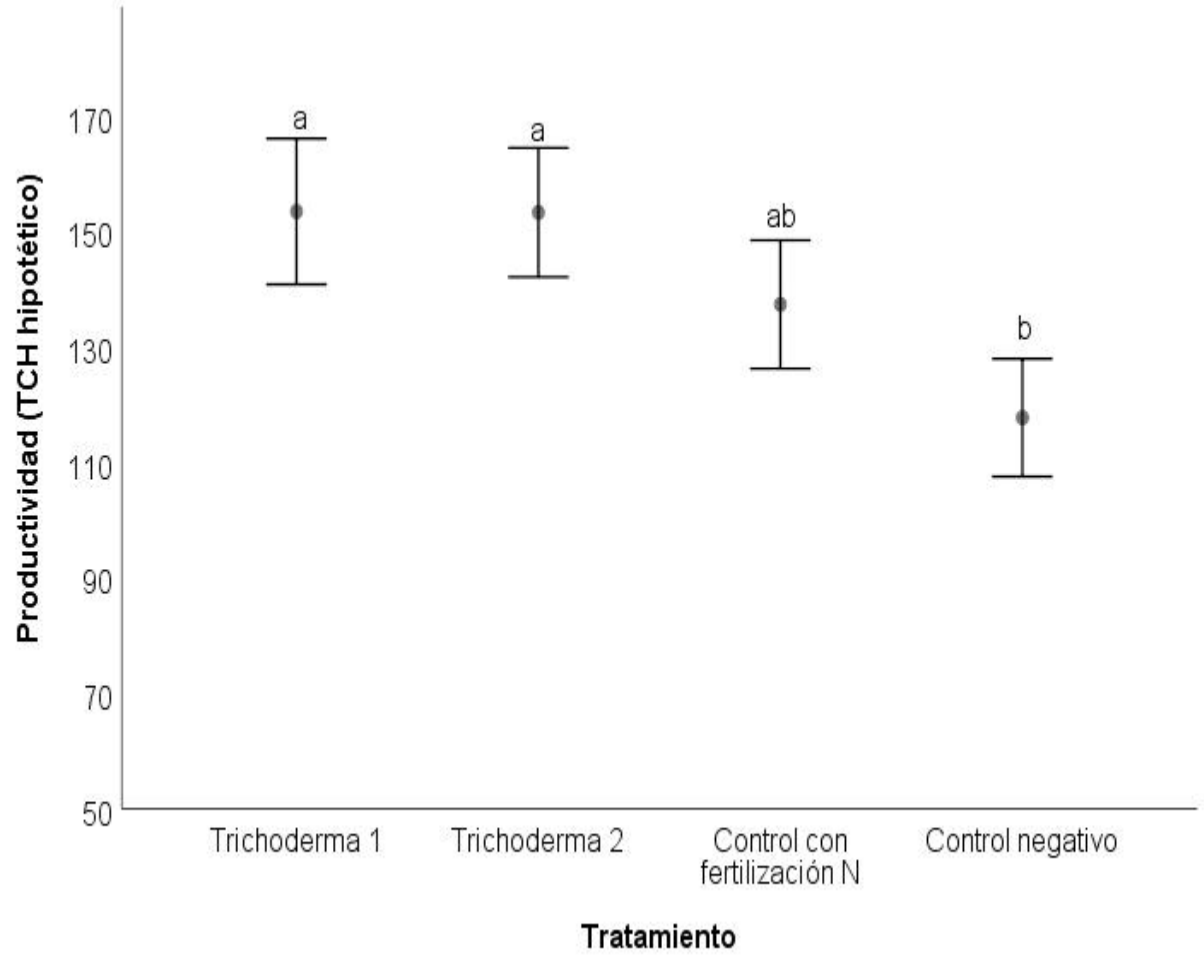
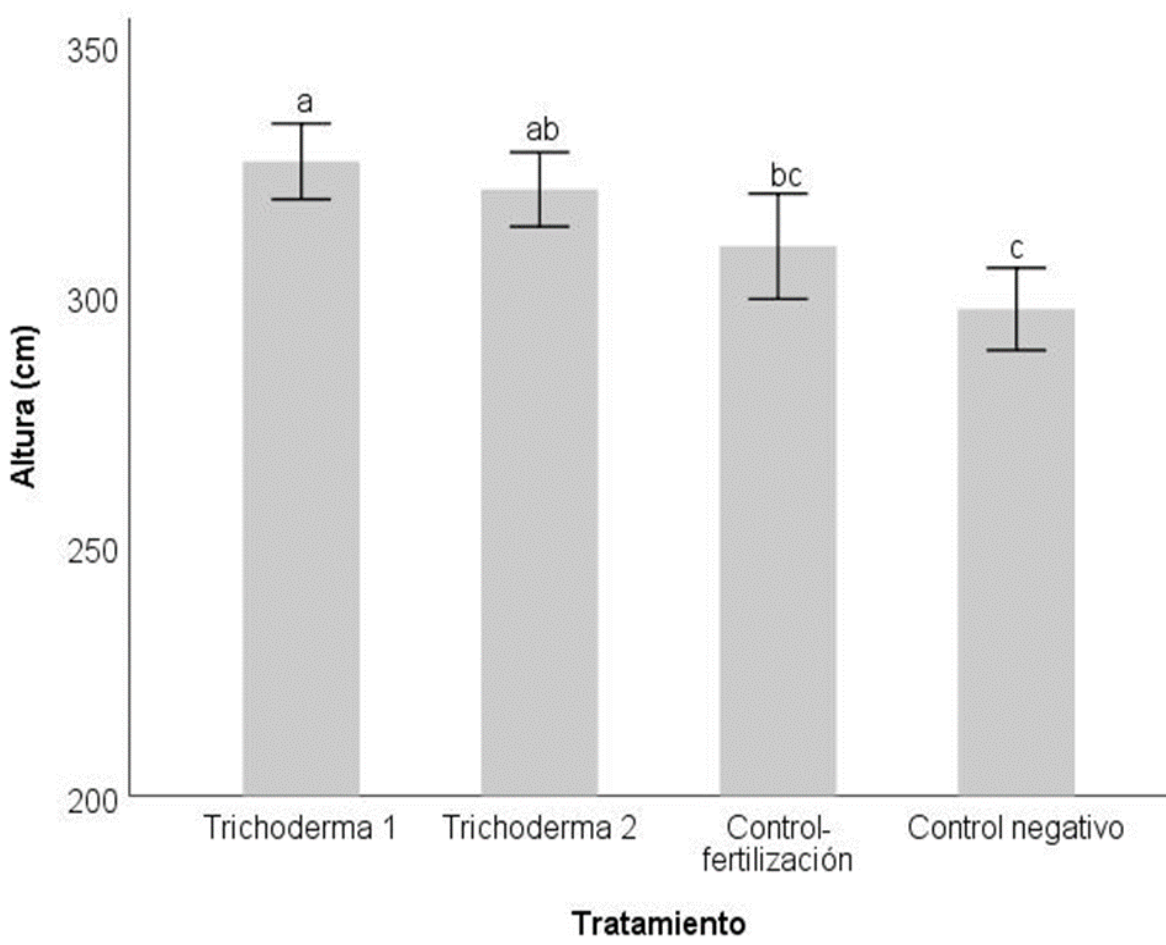
Variables respuesta:

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



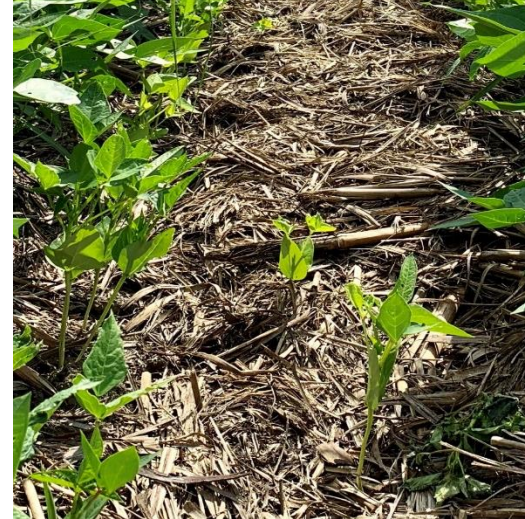
Lote 19A

Fecha de inicio: 1999

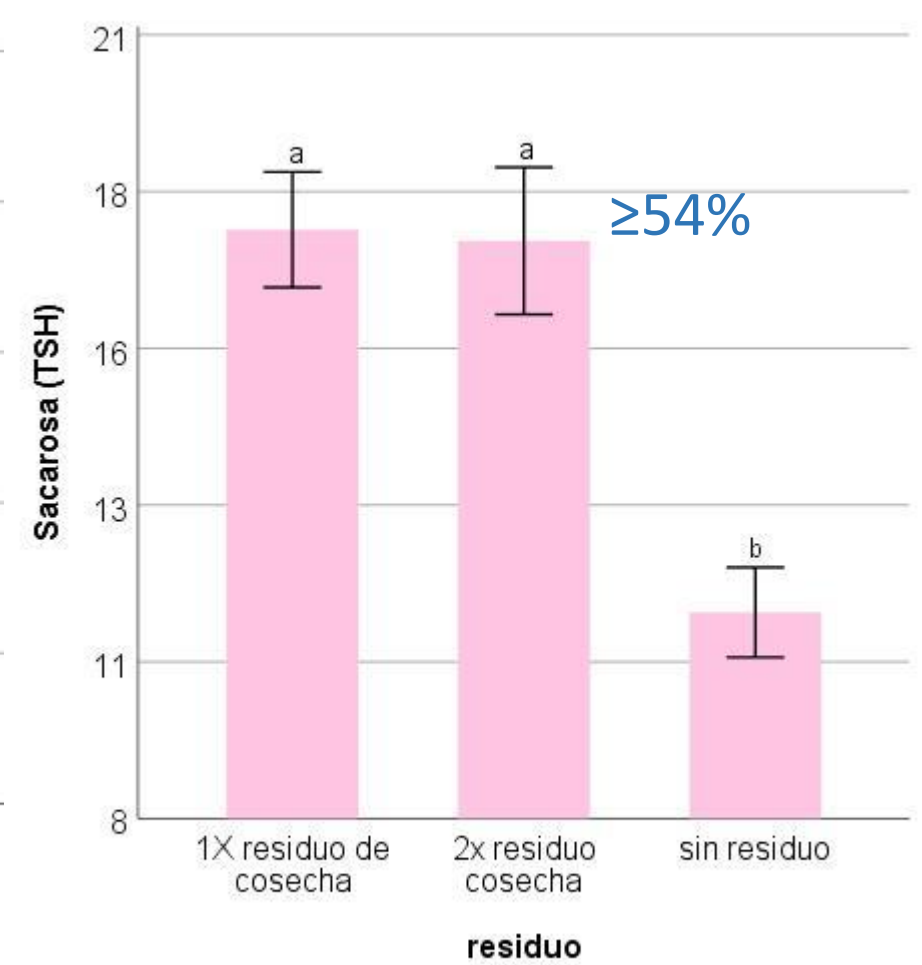
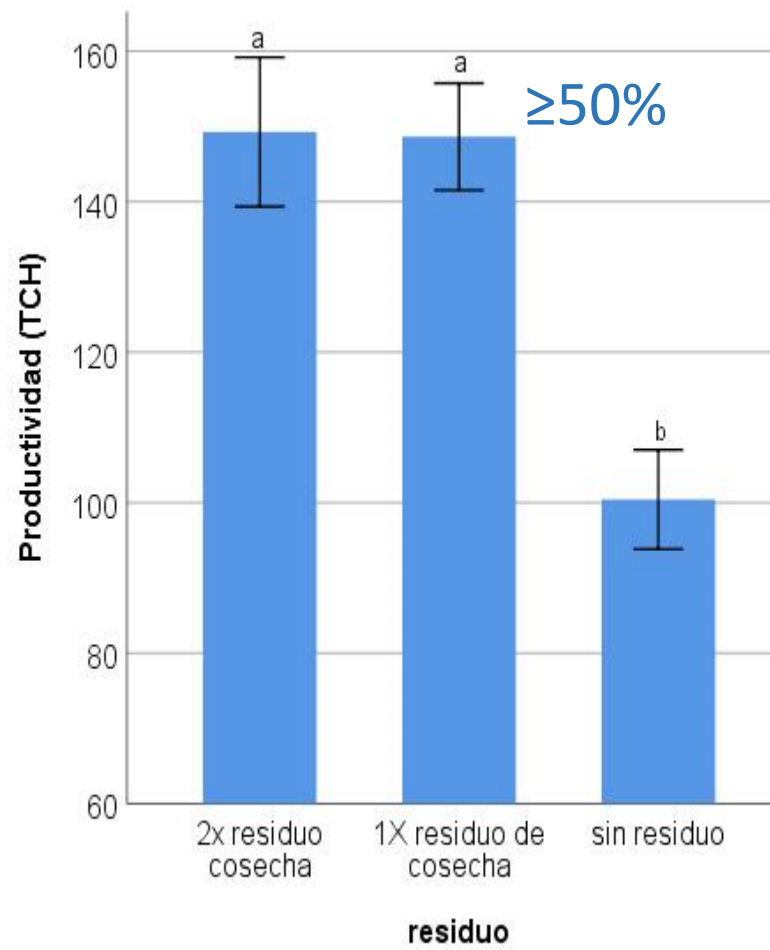
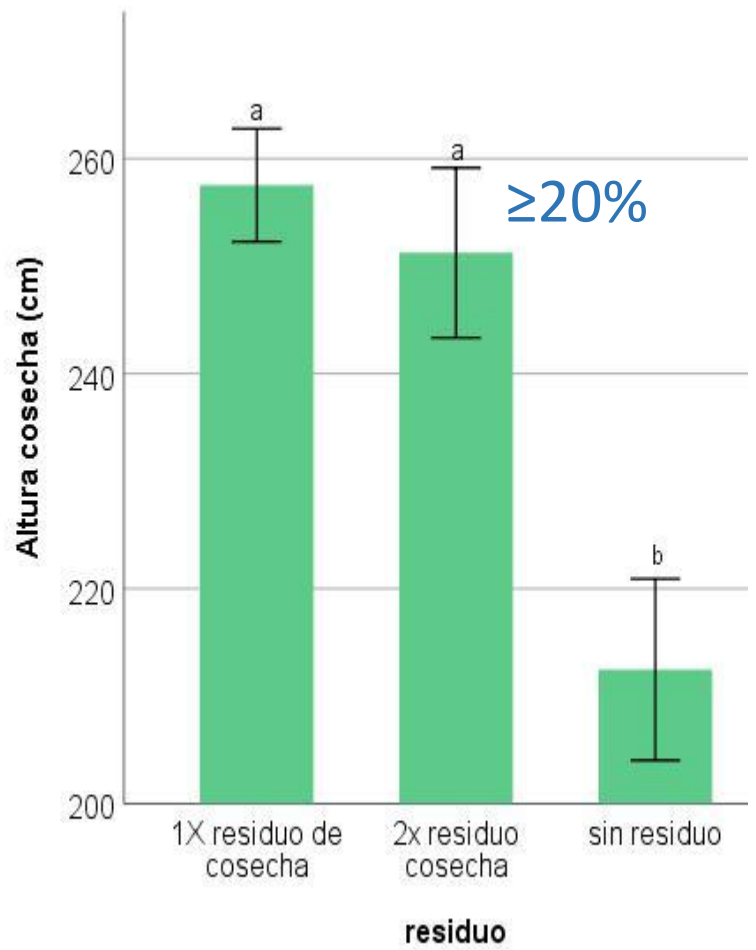
Tiempo de la práctica agronómica de retiro y mantenimiento de los residuos de cosecha: 23 años

Evaluación: Corte 3 - Variedad CC 05-430

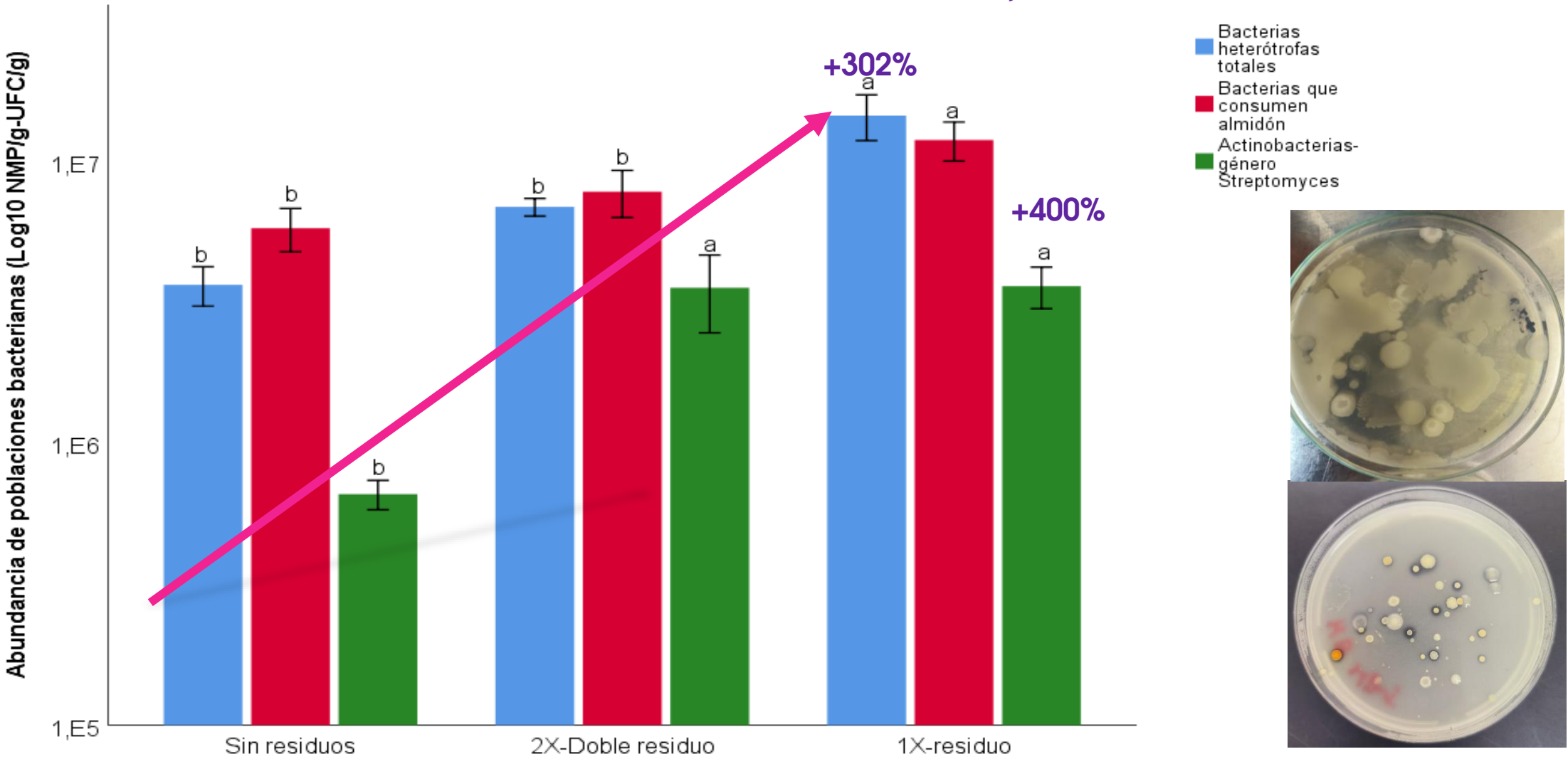
Callejón	Carrretera	Colector	150- 50- 60	100-25-30	100-25-30	150- 50- 60	50- 50- 60	100-25-30
			41	42	47	48	53	54
			0-0-0	200-75-90	0-0-0	200-75-90	0-0-0	150- 50- 0
			40	39	46	45	52	51
			150- 0- 60	150- 50- 0	150- 50- 0	150- 0- 60	200-75-90	150- 0- 60
			37	38	43	44	49	50
			200-75-90	100-25-30	100-25-30	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%

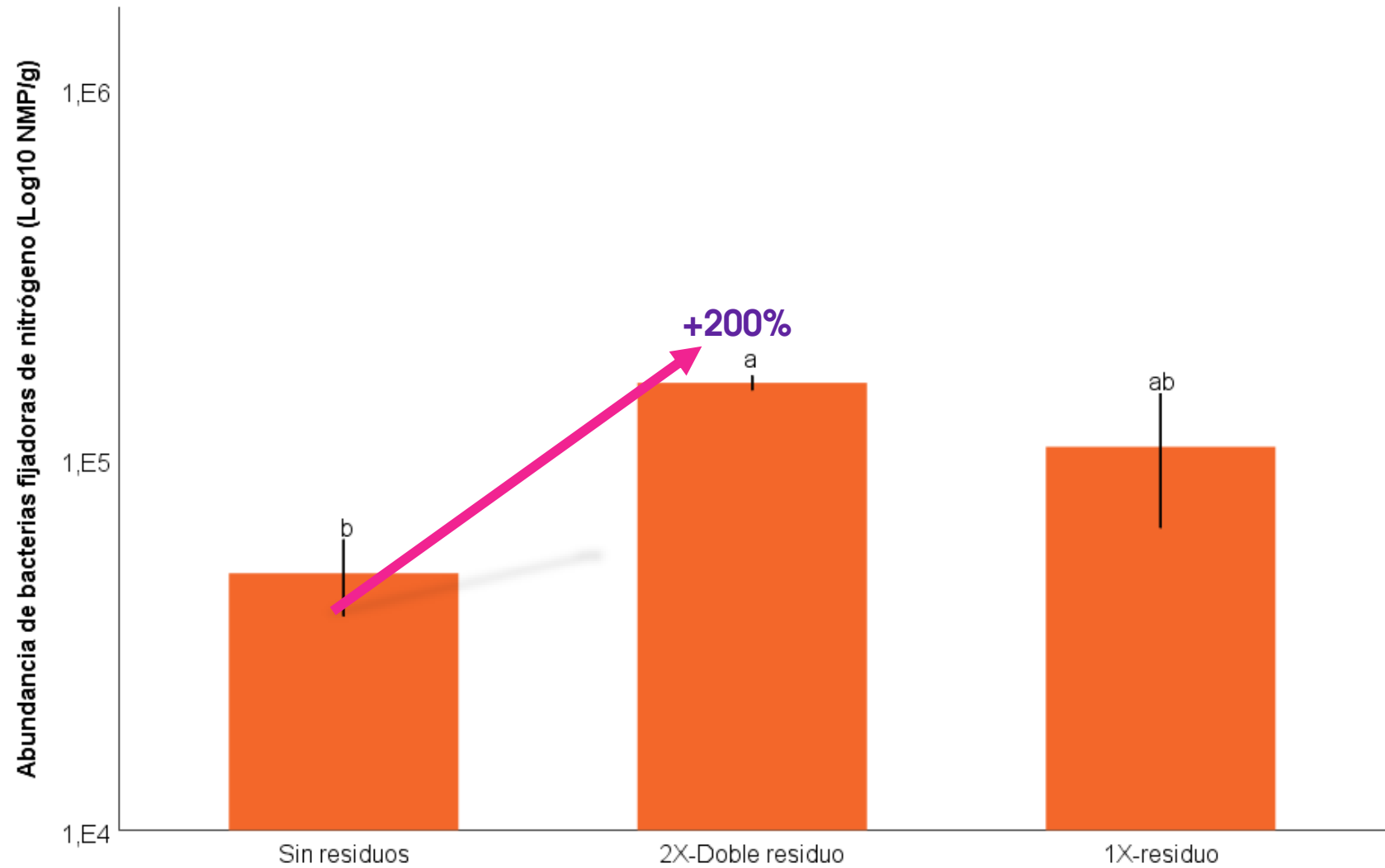


La abundancia de poblaciones microbianas cultivables de la rizosfera de la caña de azúcar CC 05 430 es mayor en las parcelas donde se incorporó y se mantuvieron los residuos orgánicos de cosecha durante 24 años de manejo



*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



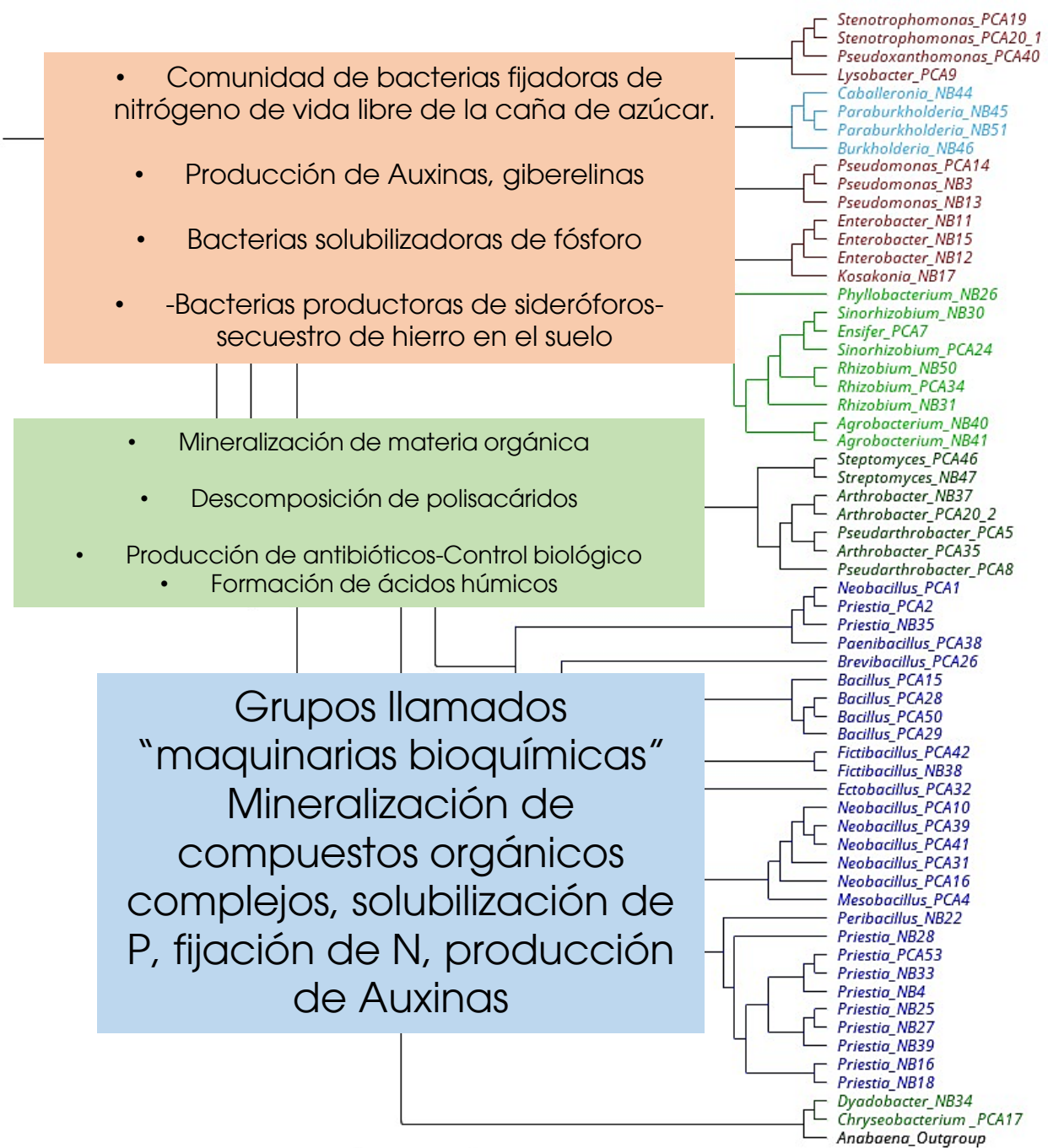


Figura 4. Árbol filogenético de las cepas bacterianas aisladas de la rizosfera de la caña de azúcar

¿Quiénes son?

69 cepas bacterianas cultivadas en agar NBRIP y agar PCA

5 filos

8 clases

12 ordenes

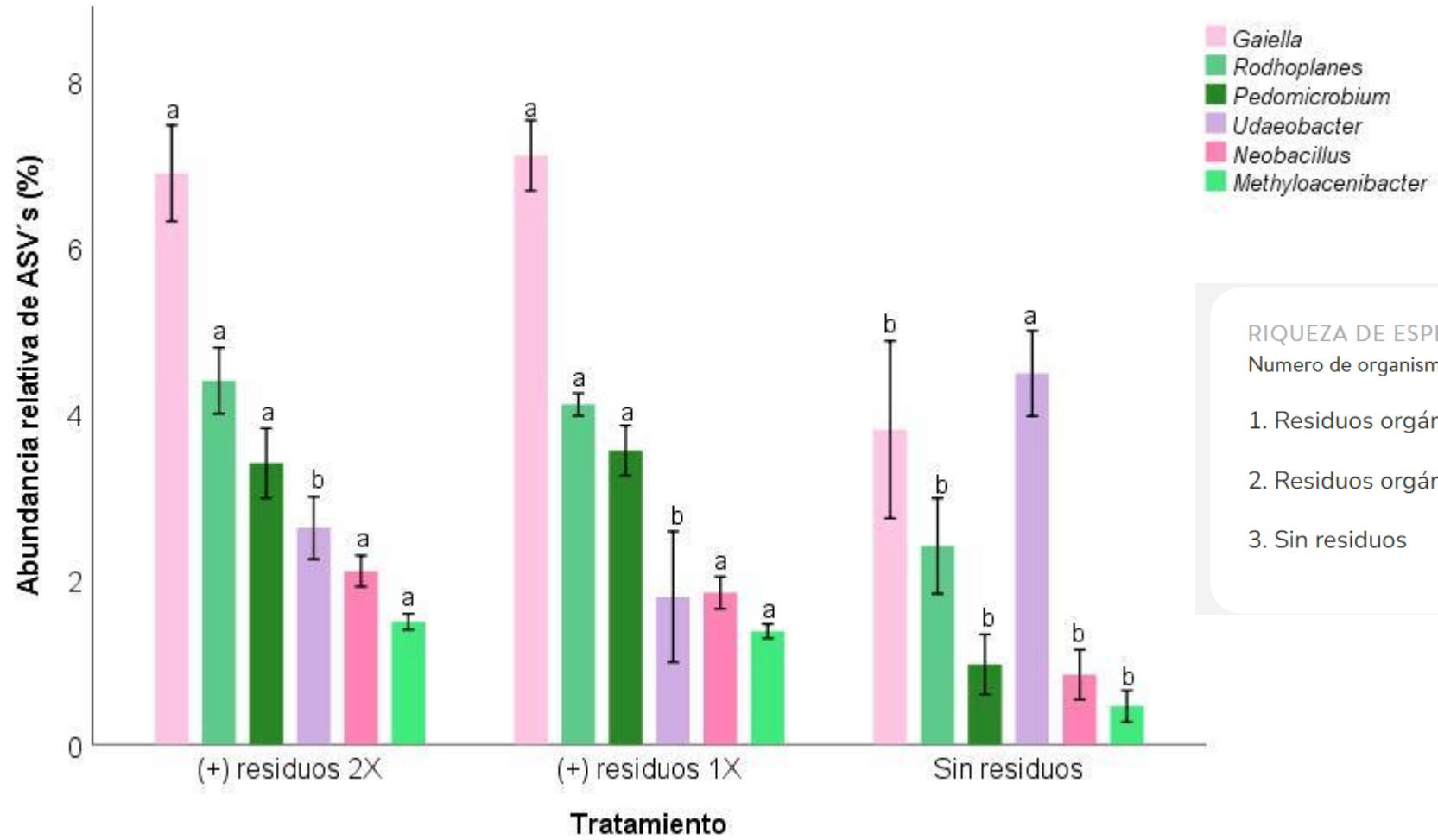
12 familias

27 géneros

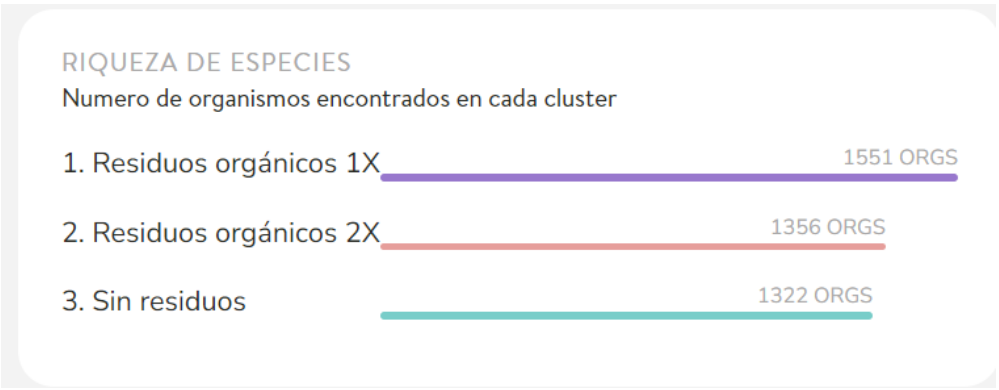
69 morfoespecies

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

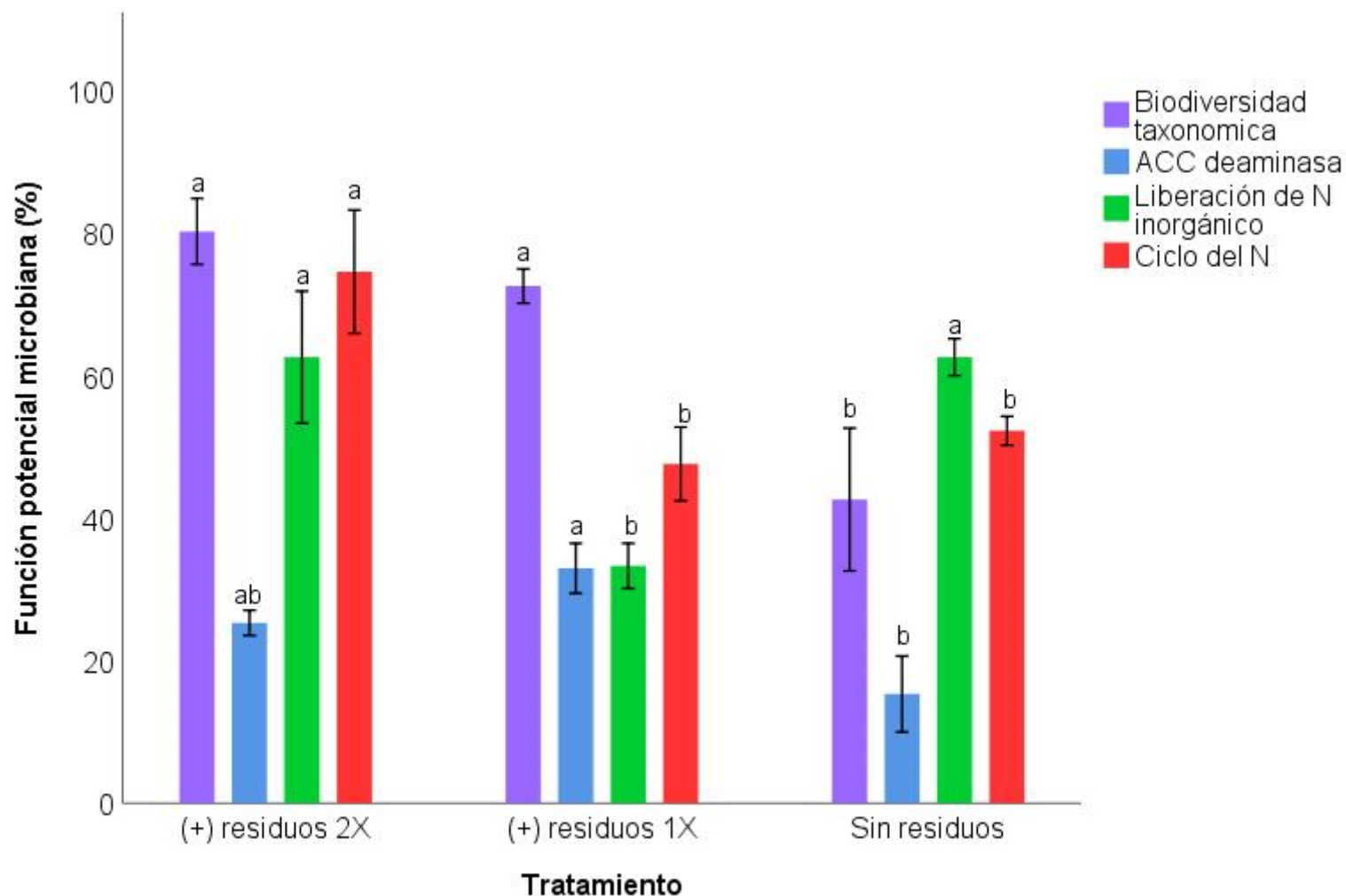
El mantenimiento de los residuos orgánicos de cosecha como práctica agronómica sostenida en el tiempo puede beneficiar la comunidad microbiana (metagenómica) de la rizosfera de CC 05-430

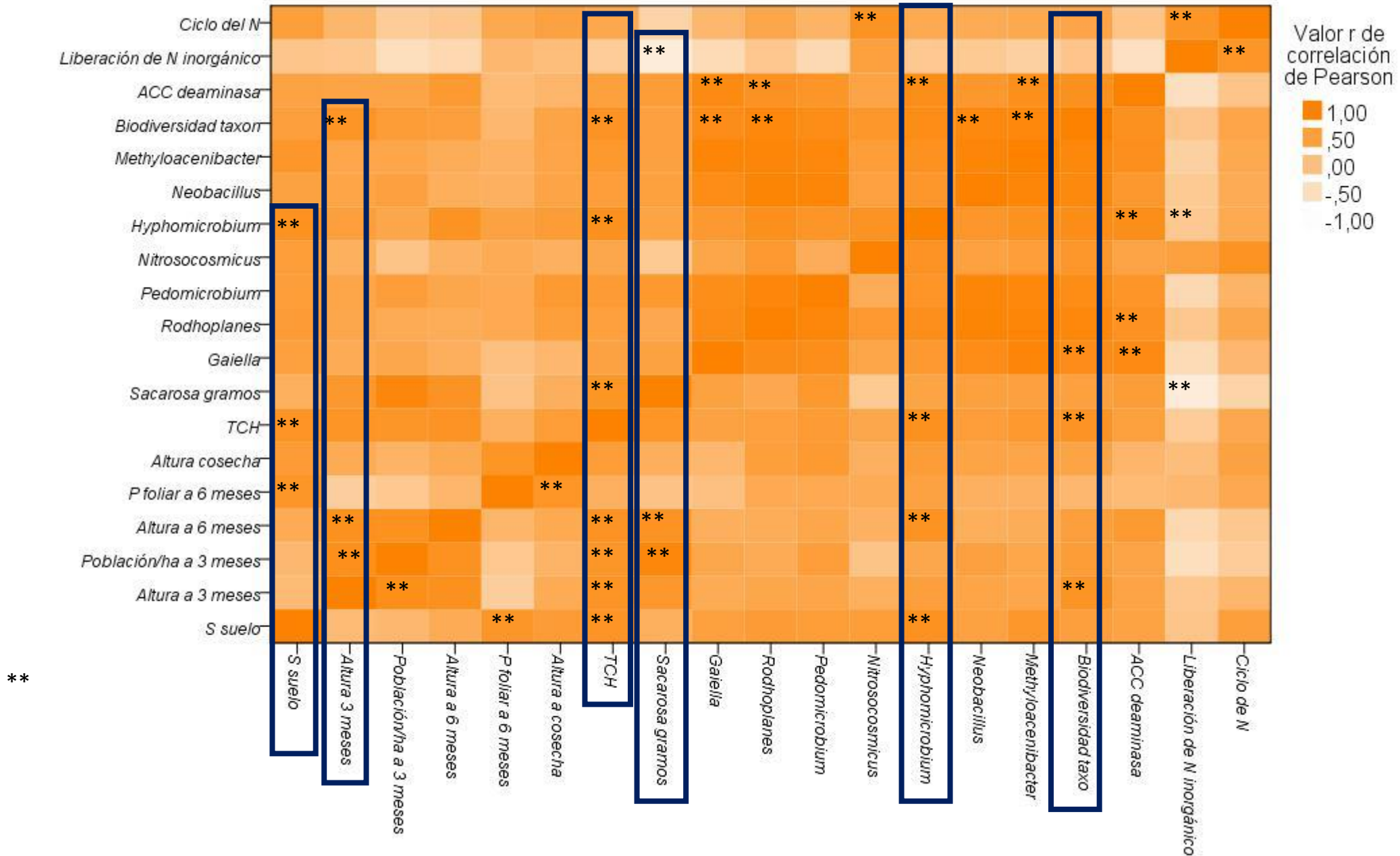


Incrementos del 17% de riqueza microbiana
Diversidad filogenética mayor



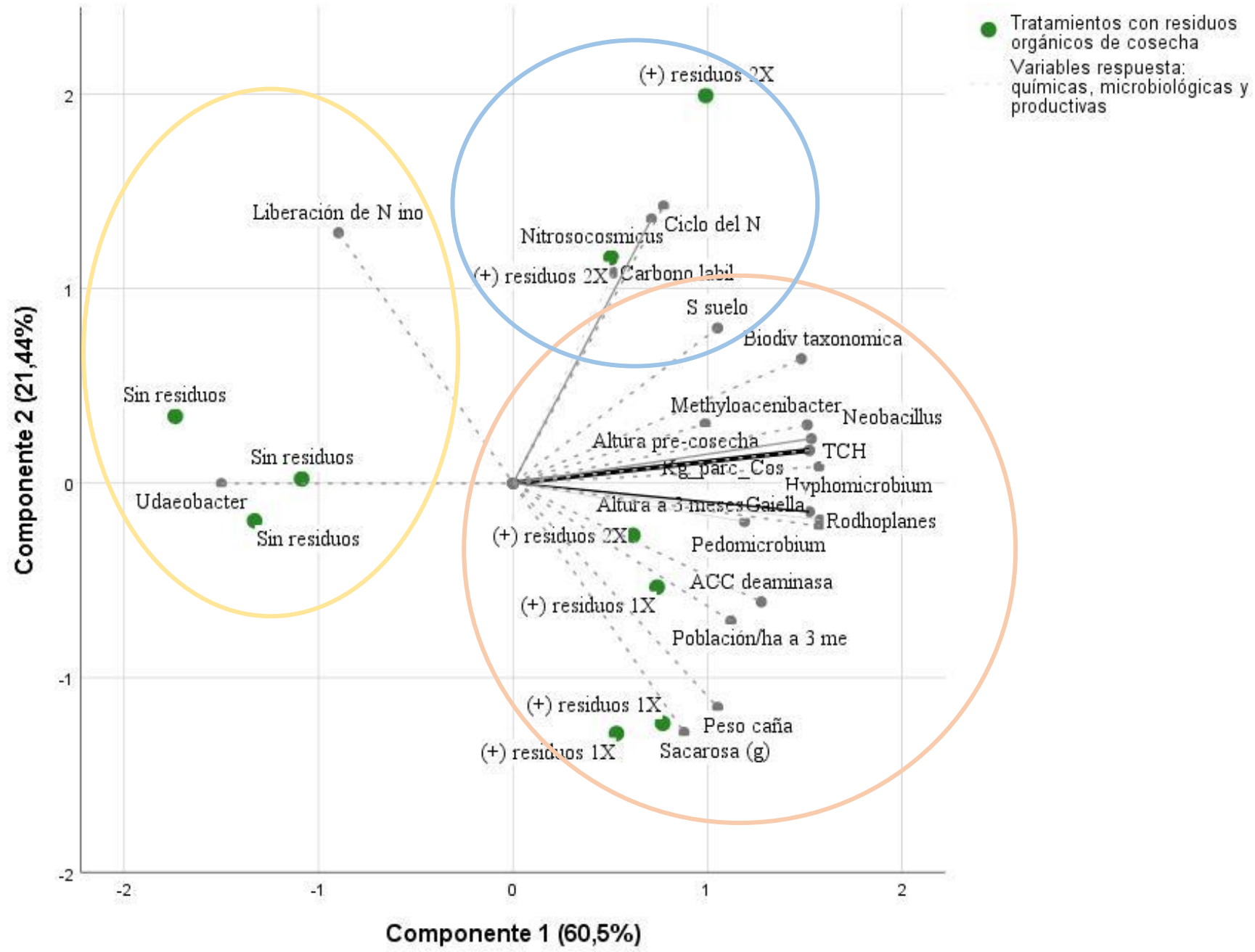
El mantenimiento de los residuos orgánicos de cosecha como práctica agronómica sostenida en el tiempo conserva algunas funciones ecológicas microbianas de la rizosfera de CC 05-430





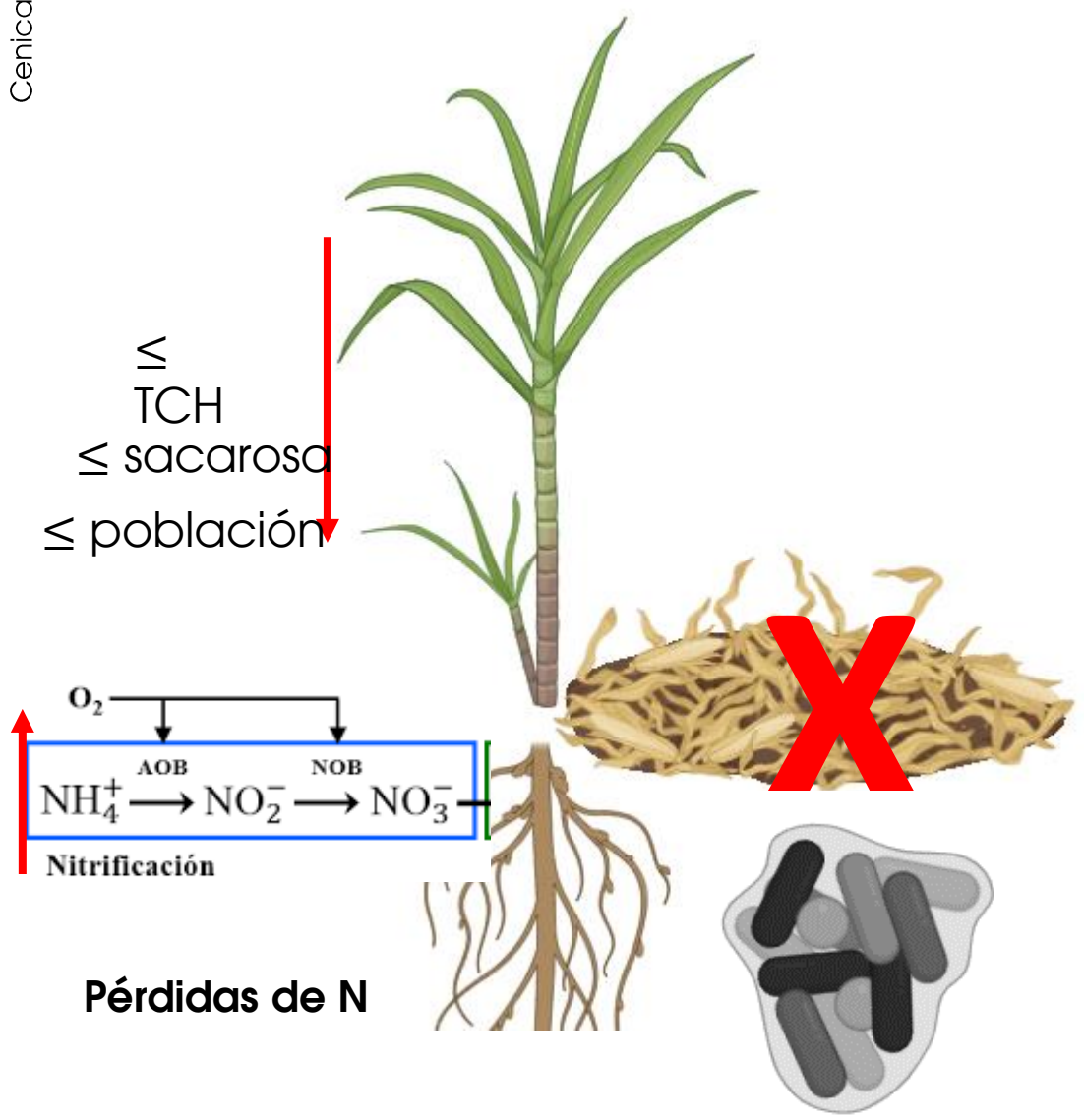
Mapa de calor para los valores r de Pearson para las variables dependientes

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

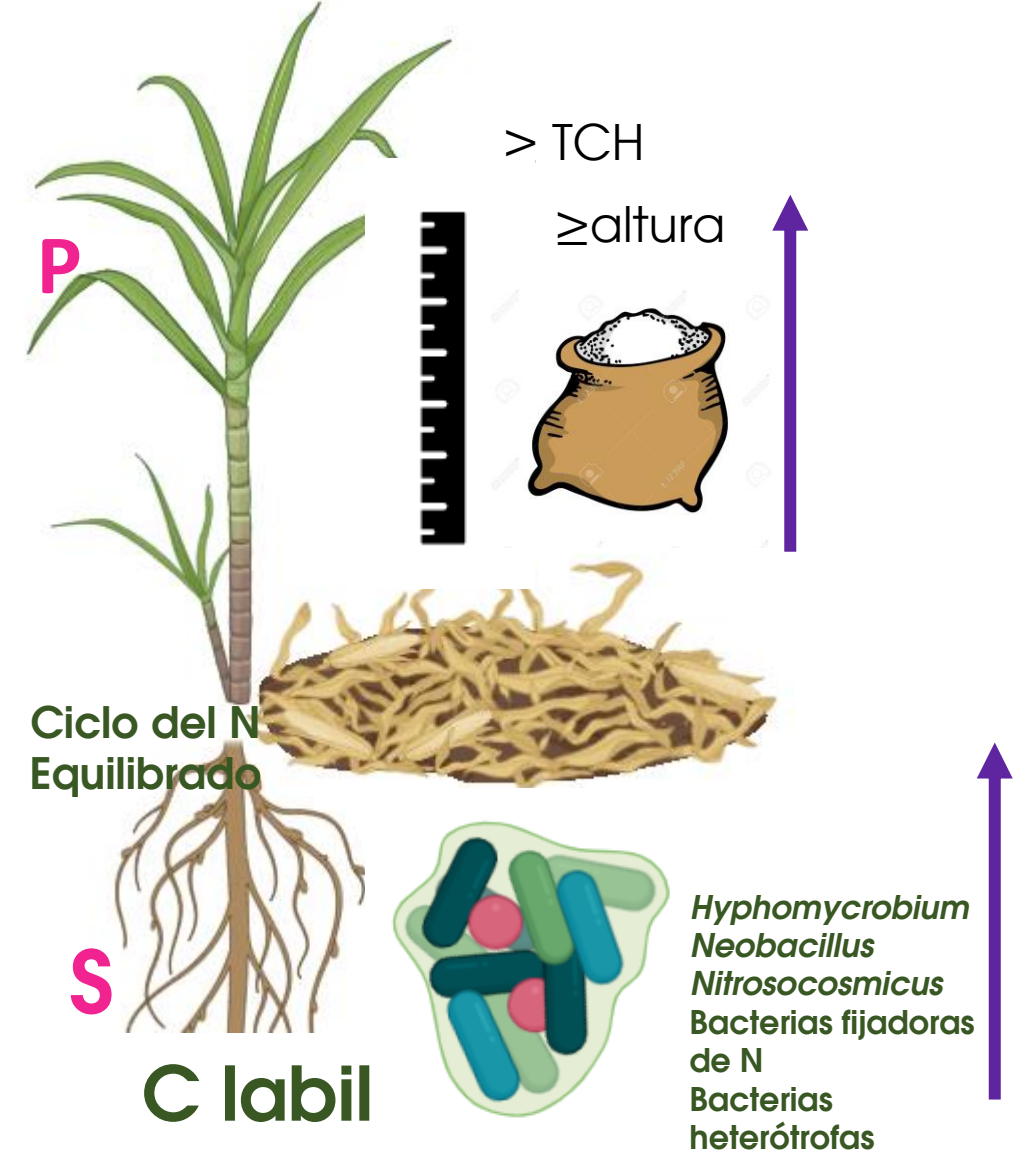


Normalización de principal de variable.

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)

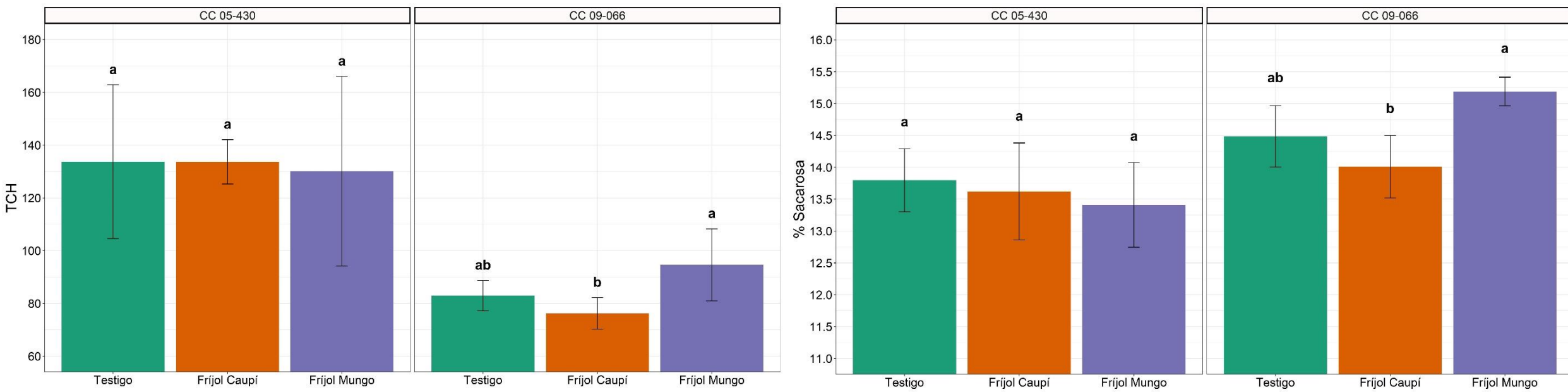
Puntos de muestreo:



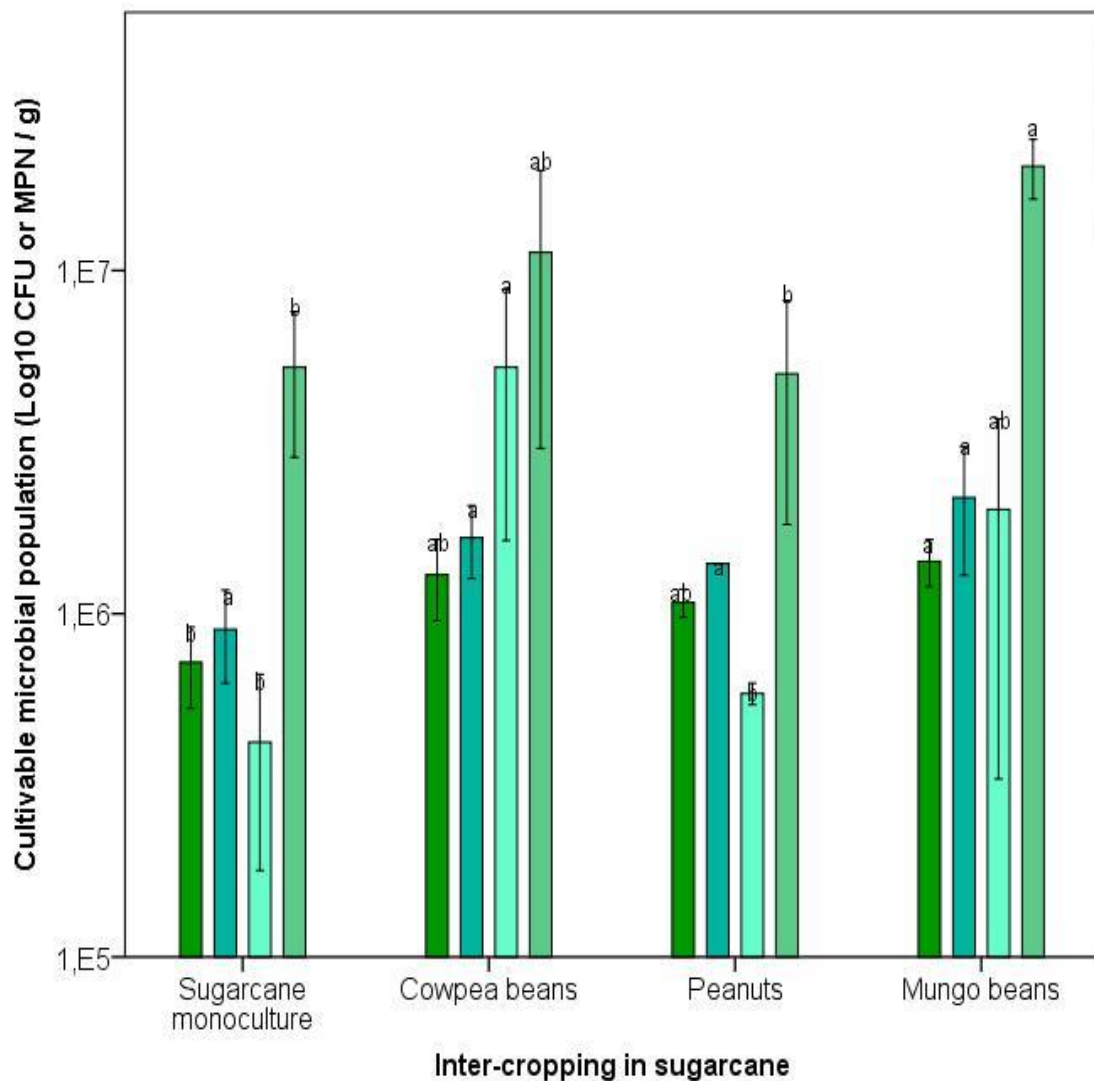
Varietal	Tratamientos	Distancia de siembra	Densidad de siembra (ha)
CC 05-430	Fríjol Caupí	30 cm de la caña y 20 cm entre semillas	60,000
	Maní	30 cm de la caña y 20 cm entre semillas	60,000
	Fríjol Mungo*	*30 cm de la caña y 10 cm entre semilla	120,000*
	Testigo	30 cm de la caña y 20 cm entre semillas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

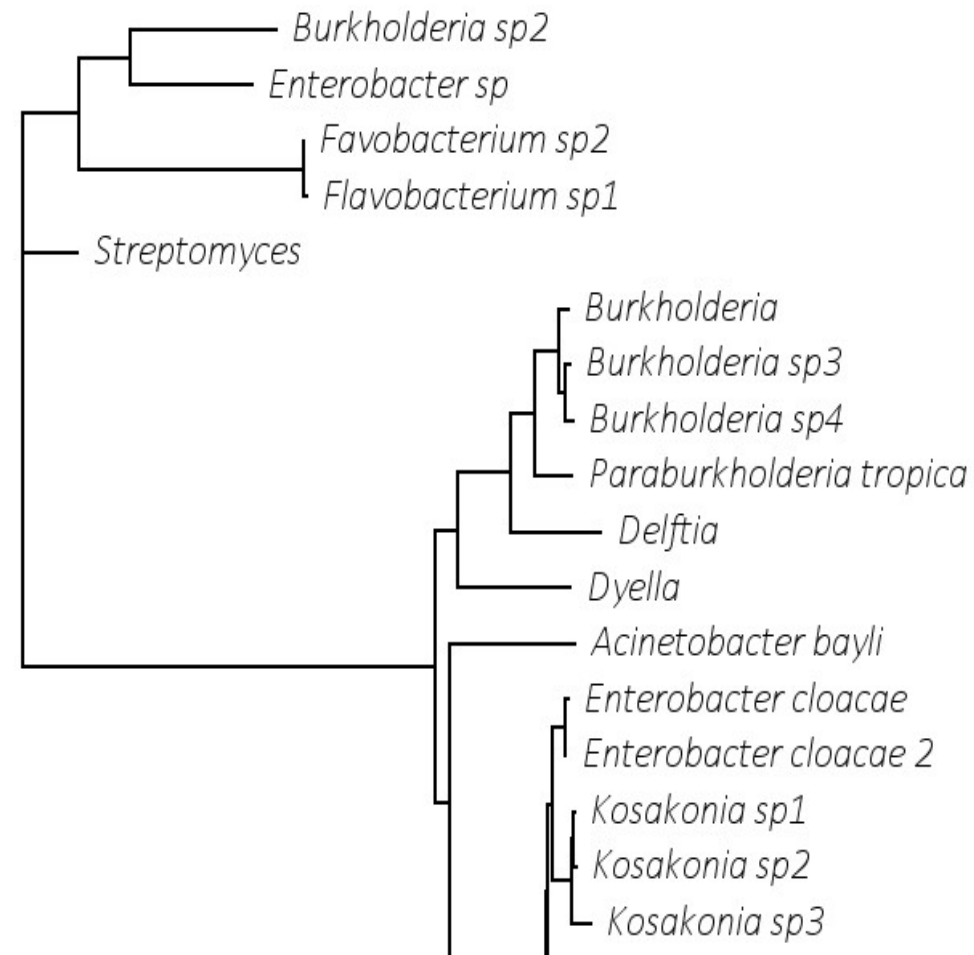
La sacarosa es similar entre todos los tratamientos



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

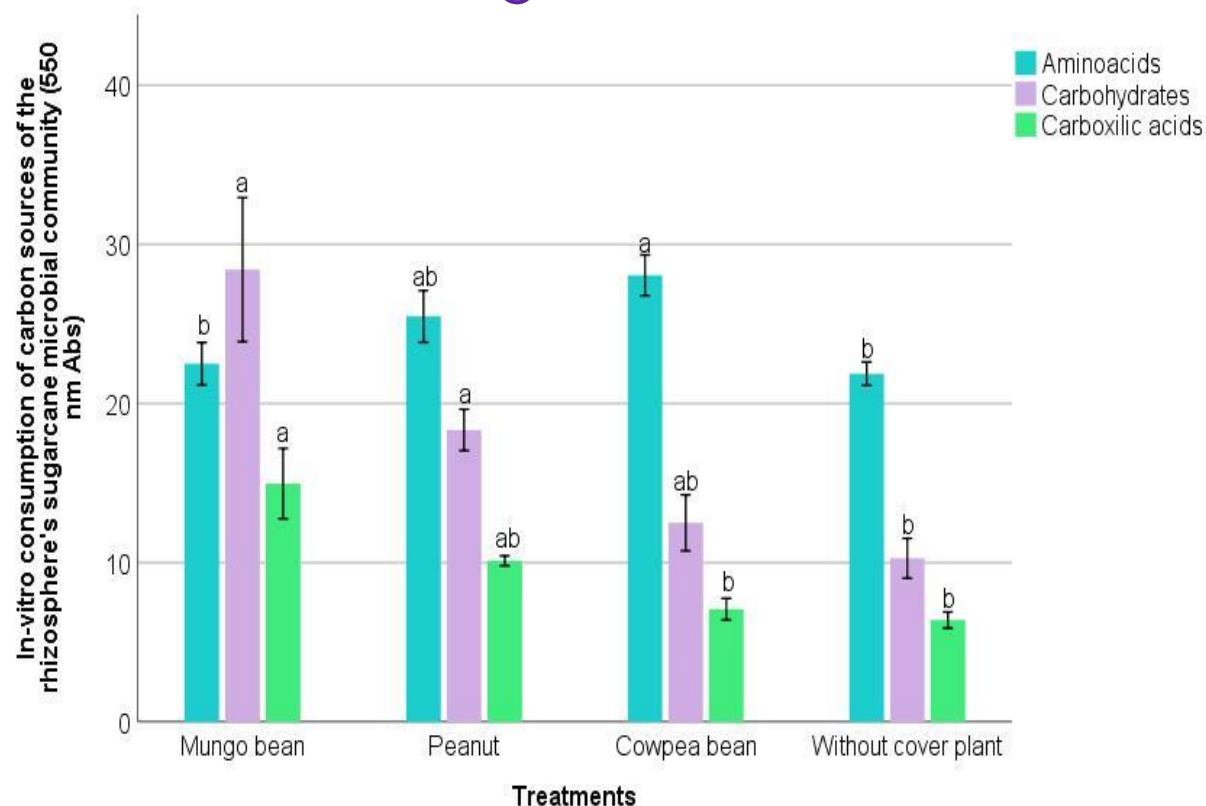
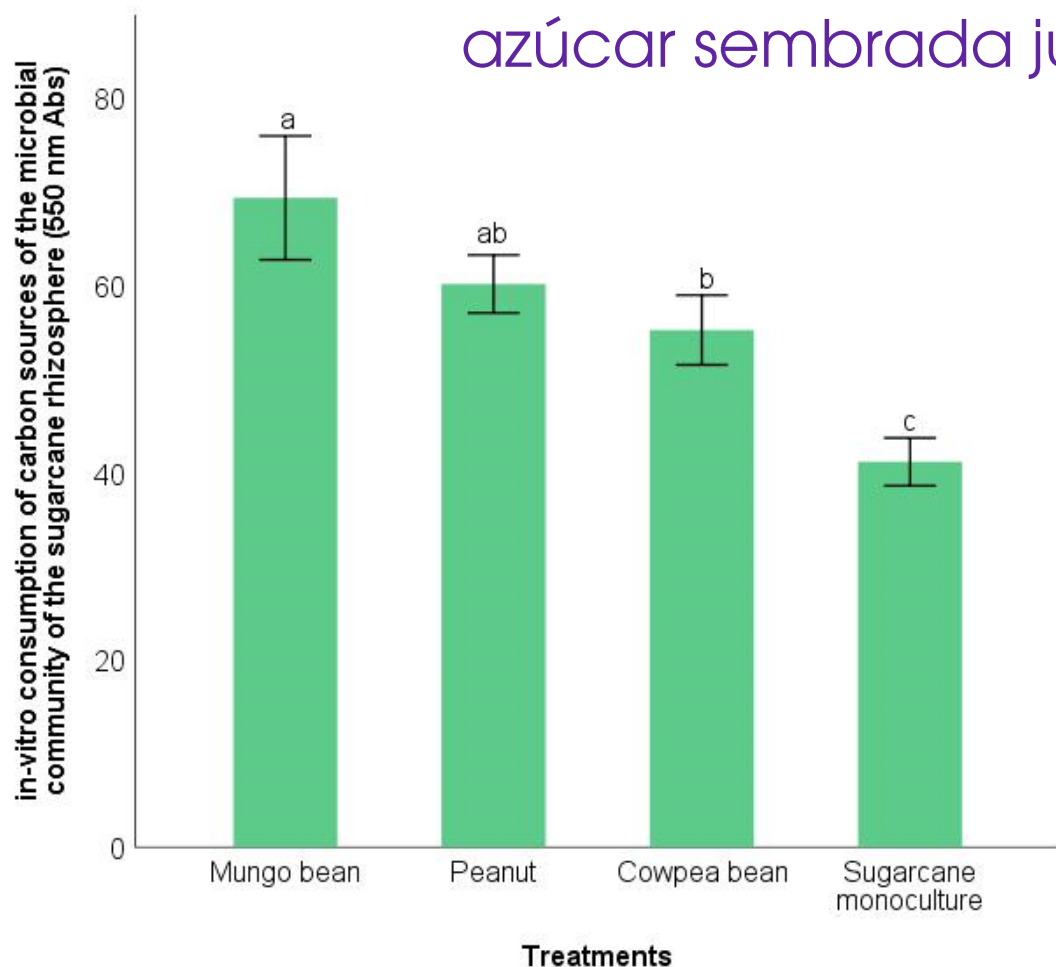


■ Fungi
■ Actinobacteriota
■ Nitrogen fixing bacteria
■ Phosphorus solubilizing bacteria



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

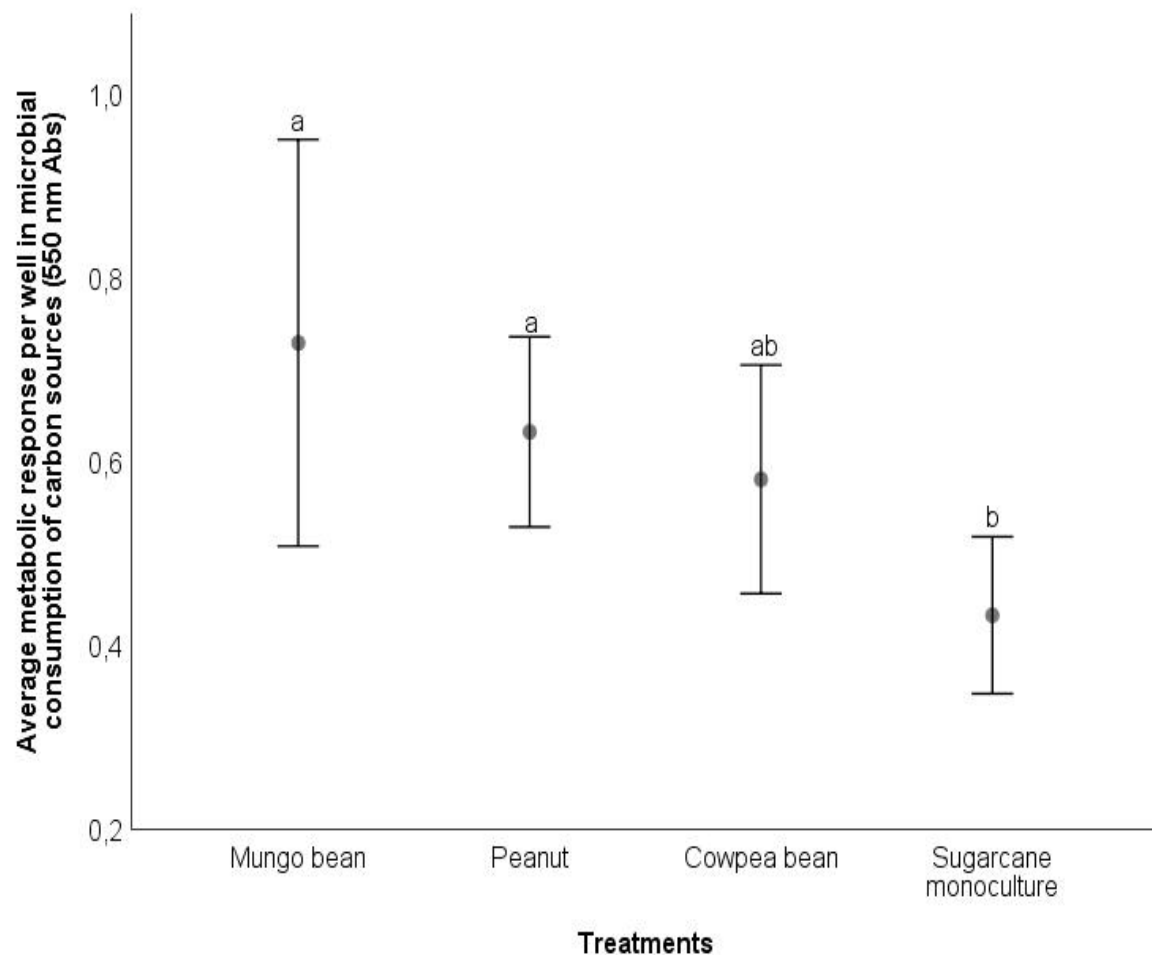


El consumo microbiano total de fuentes de carbono fue mayor cuando la caña de azúcar se sembró en cultivos intercalados con frijoles y maní.

-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.

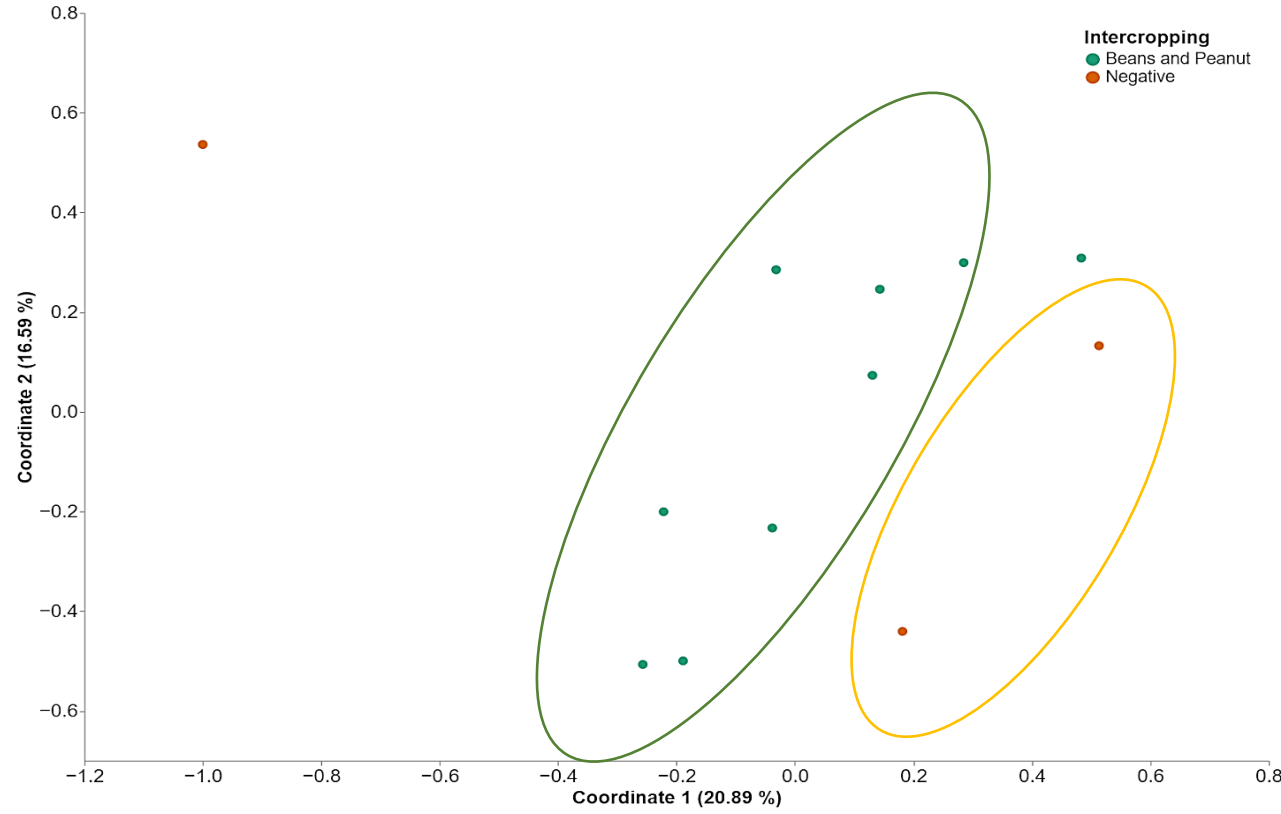


Intercropping in sugarcane	Functional richness	Shannon-H index	Brillouin index
Monoculture	52.33±5.81 ^b	3.70±0.11 ^b	,680±0.073 ^b
Mungo	70.33±2.02 ^a	4.043±0.061 ^a	1,26±0.176 ^a
Cowpea	64.33±1.76 ^{ab}	3.923±0.014 ^{ab}	1,146±0.080 ^{ab}
Peanut	74.33±2.90 ^a	4.110±0.040 ^a	,930±0.095 ^{ab}
ANOVA <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.



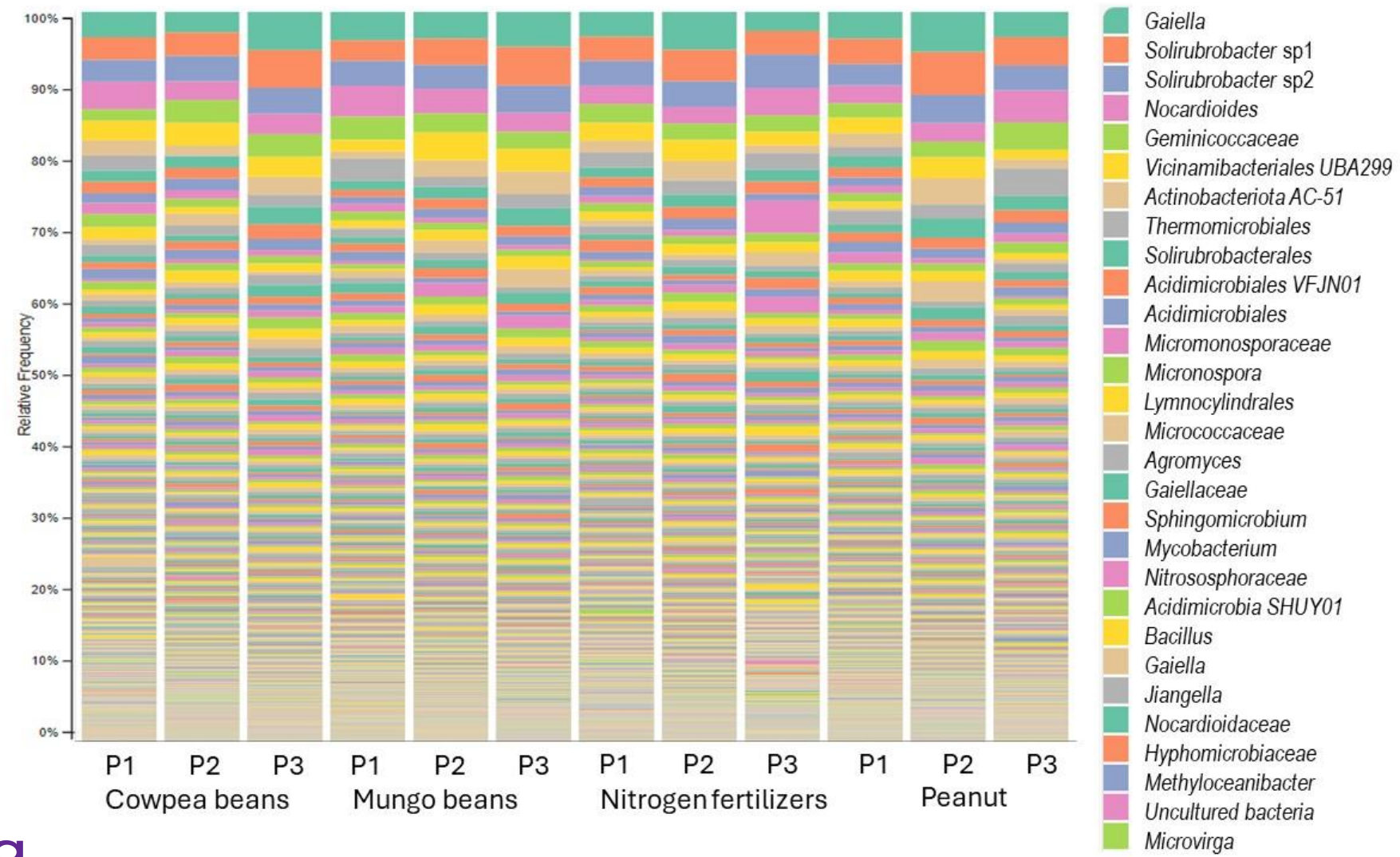
Análisis de coordenadas principales para las distancias Bray-curtis (diversidad β) de la estructura de la comunidad bacteriana de la rizosfera de la caña de azúcar

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
