



Coinoculación de rizobios y Hongos Micorrízicos Arbusculares en dos cultivares de frijol común

Coinoculation of rhizobia and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in two common bean cultivars

¹Anicel Delgado Alvarez, ²Gloria Marta Martín Alonso*,
³Ramón Antonio Rivera Espinosa, ⁴José Víctor Martín Cárdenas

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

RESUMEN: El trabajo se realizó con el objetivo de determinar la mejor combinación de cepas de rizobios y cepas de hongos micorrizógenos arbusculares en dos cultivares de frijol: CC25-9 negro y Lewa, en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Se utilizó en un diseño de bloques al azar con arreglo bifactorial, los factores en estudio fueron: cuatro niveles de rizobios: tres cepas y un control sin inoculación y cuatro niveles de inoculación micorrizica: dos cepas y un control sin inoculación, para un total de doce tratamientos. Las variables evaluadas fueron: altura de la planta, diámetro del tallo, masa seca de las hojas y el tallo, rendimiento y sus componentes. Los resultados en el rendimiento del cultivo mostraron que las mejores combinaciones para el cultivar CC 25-9 son INCAM 4+CIAT 899 e INCAM 11 con CF 1 y CIAT 899 y, aunque estos resultados no difirieron del resto de los tratamientos coinoculados, si fueron superiores a la inoculación simple de los microorganismos. En el cultivar Lewa, la mejor combinación fue INCAM 4+CIAT 899, aunque sin diferencias con INCAM 4+CF 1; INCAM 11 combinado con las tres cepas de rizobios y la inoculación simple de CIAT 899. La efectividad de la inoculación simple de las cepas de HMA INCAM 4 e INCAM 11 fue diferente, en función de cada cultivar en estudio. Del mismo modo, el grado de efectividad de la inoculación simple de los rizobios dependió del cultivar, comportándose CIAT 899 la mejor cepa para el cultivar Lewa, mientras que en el cultivar CC 25-9 N las tres cepas se comportaron semejantes. Las coinoculación más efectiva resulta ser INCAM 11 + CIAT 899, INCAM 11+CF 1 y INCAM 4+CIAT 899, siendo esta última combinación la más eficiente para el cultivar Lewa.

Palabras claves: bacterias, biofertilizantes, *Phaseolus vulgaris*.

ABSTRACT: The work was carried out with the objective of determining the best combination of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi strains in two bean cultivars: CC25-9 black and Lewa in a Nitisol soil. It was used in a randomized block design. Using a bifactorial arrangement, the factors under study were: four levels of rhizobia: three strains and a control without inoculation and four levels of mycorrhizal inoculation: two strains and a control without inoculation, for a total of twelve treatments. The variables evaluated were: height of the plant, diameter of the stem, dry mass of the leaves and the stem, yield and its components. The results in the yield of the crop, showed that the best combinations for the cultivar CC 25-9 are INCAM 4+CIAT 899 and INCAM 11 with CF 1 and CIAT 899 and although these results did not differ from the rest of the coinoculated treatments, they were superior to the simple inoculation of the microorganisms. In the Lewa cultivar, the best combination was INCAM 4+CIAT 899, although without differences with INCAM 4+CF 1; INCAM 11 combined with the three rhizobia strains and the simple inoculation of CIAT 899. The effectiveness of the simple inoculation of the AMF strains INCAM 4 and INCAM 11 was different, it was depend on the cultivars under study. The degree of effectiveness of the simple inoculation of the rhizobia also depended on the cultivar, with CIAT 899 behaving as the best strain for the Lewa cultivar, while in the CC 25-9 N cultivar the three strains behaved similarly. The most effective coinoculation turns out to be INCAM 11+CIAT 899, INCAM 11+CF 1 and INCAM 4+CIAT 899, this last combination being the most efficient for cultivar Lewa.

Key words: bacteria, biofertilizers, *Phaseolus vulgaris*.

*Autor para correspondencia. gloriamartin73@gmail.com, gloriam@inca.edu.cu

Recibido: 18/07/2023

Aceptado: 08/02/2024

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** Anicel Delgado Álvarez; Gloria Marta Martín Alonso; Ramón Antonio Rivera Espinosa.

Investigación: Anicel Delgado Álvarez; José Víctor Martín Cárdenas†. **Metodología:** Anicel Delgado Álvarez; Gloria Marta Martín Alonso; Ramón Antonio Rivera Espinosa. **Supervisión:** Gloria Marta Martín Alonso; Ramón Antonio Rivera Espinosa. **Escritura del borrador inicial, escritura y edición final, Curación de datos:** Anicel Delgado Álvarez; Gloria Marta Martín Alonso; Ramón Antonio Rivera Espinosa.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), es la especie del género *Phaseolus* más cultivada en los trópicos y subtropicos de América Latina, el Caribe y África, principalmente por ser fuente de proteínas, vitaminas y minerales, que lo ubican entre los cinco cultivos con mayor superficie dedicada a la agricultura en los países latinoamericanos (1).

En Cuba, constituye uno de los platos indispensables en el menú cubano, siendo el frijol negro el más común en la comida criolla (2). A pesar de su importancia y el hecho que es un cultivo tradicional, es necesario incrementar la productividad de las plantas de manera sostenible, con baja cantidad de recursos y con los mejores estándares de calidad (3). Sin embargo, la producción nacional no satisface las demandas de la población, pues existe necesidad de importar anualmente 14 400 toneladas de este grano (4).

En este contexto, los biofertilizantes representan un medio sustentable, económicamente atractivo y ecológicamente aceptable para reducir los insumos externos y mejorar la cantidad y calidad de los productos agrícolas, mediante la utilización de microorganismos del suelo debidamente seleccionados, capaces de poner a disposición de las plantas, mediante su actividad biológica, una parte importante de los nutrimentos que se necesitan para su desarrollo, así como suministrar sustancias hormonales o promotoras del crecimiento (5).

Entre los biofertilizantes más empleados se encuentran los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) y los rizobios, que se asocian de manera simbiótica con la planta y generan un intercambio positivo de nutrimentos, en el cual la planta suministra carbohidratos a los simbioses y éstos a su vez, favorecen la absorción y translocación de agua y nutrimentos; entre ellos, fósforo, cinc y cobre, la fijación biológica del nitrógeno, protección contra patógenos de las raíces y tolerancia de las plantas a diversos estreses bióticos y abióticos (6).

En la coinoculación rizobios - HMA - leguminosas se ha informado que las relaciones simbióticas proporcionan un mayor intercambio entre los simbioses y efectos superiores a las plantas. En este caso la simbiosis rizobios - leguminosas aporta N₂ y las micorrizas incrementan la absorción de otros elementos, entre ellos el P, muy importante para garantizar una adecuada fijación biológica de N, aumentan el número, masa seca en los nódulos y el crecimiento de las plantas (7).

Teniendo en cuenta esta problemática, la presente investigación fue encaminada a determinar la mejor combinación de cepas de rizobios y cepas de hongos micorrizicos arbusculares en dos cultivares de CC25-9 negro y Lewa en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron en el Departamento de Servicios Agrícolas (finca Las Papas), del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en los 23°01' Latitud Norte y 82°08' Longitud Oeste, a 138 msnm. El experimento se efectuó sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, según la Clasificación de los Suelos de Cuba (8). Se realizó un muestreo inicial de suelo para determinar algunas propiedades químicas, por los siguientes métodos (9): pH (H₂O) por el método potenciométrico, con relación suelo:solución de 1:2,5; materia orgánica (% M.O) por el método de Walkley y Black; P asimilable por extracción con H₂SO₄ 0,1 N con relación suelo:solución 1:2,5; cationes intercambiables (cmol kg⁻¹) por extracción con NH₄Ac 1 Mol L⁻¹ a pH 7 y determinación por complexometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (K y Na). Las características agroquímicas del suelo donde se sembró el experimento se muestran en la tabla 1.

Las determinaciones del conteo de esporas de hongos micorrizicos arbusculares se realizó por el método de tamizado en húmedo y decantado, la toma de muestra se realizó antes de la siembra.

En el experimento se sembraron dos cultivares de frijol: Cuba Cueto 25-9 (CC25-9 N), el color de la testa del grano es negro, la fecha de siembra recomendada para este cultivar es del 1° de octubre al 30 de noviembre y Lewa, el color de la testa del grano es blanco, la fecha de siembra recomendada para esta variedad es del 1° de octubre al 30 de enero.

Se emplearon dos cepas de HMA, las cuales proceden del cepario del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA): *Glomus cubense*, cepa INCAM-4 y *Rhizophagus irregularis* cepa INCAM-11.

Respecto a las cepas de rizobios, se emplearon tres cepas para frijol: cepa CF 1 (*Rhizobium leguminosarum*), cepa PRF 81 (*Rhizobium freirei*) y cepa CIAT 899 (*Rhizobium tropici*), procedentes del cepario del Departamento de Fisiología y Bioquímica del INCA.

Las semillas de cada cultivar se embebieron en el inoculante a base de rizobios correspondiente a cada tratamiento en una dosis equivalente a 200 mL ha⁻¹. El testigo sin inoculación se embebió en agua corriente. La aplicación de los Hongos Micorrizicos Arbusculares se realizó con una dosis equivalente al 8 % de la masa total de la semilla a inocular, espolvoreando el producto sobre la semilla húmeda a sembrar, las semillas inoculadas de cada tratamiento se pusieron a secar a la sombra y posteriormente se procedió a la siembra.

Tabla 1. Características agroquímicas del suelo donde se sembró el experimento (0-20 cm de profundidad)

Cultivares de frijol	Na	K	Ca	Mg	P	MO	pH	Nº Esporas HMA en 50g de suelo
	(cmol.kg ⁻¹)				mg 100 g ⁻¹	%	H ₂ O	
CC 25-9N	0,05	0,48	11,25	4,88	619,25	3,63	6,2	108,5
Lewa	0,05	0,45	12,00	3,88	558,50	3,44	6,3	65,75

Los experimentos estaban compuestos por un total de 48 parcelas cada uno, cada parcela estaba constituida por 6 surcos de 5 m de largo por 4,2 m de ancho, con una distancia de camellón de 70 cm.

En el experimento se empleó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro réplicas, en un arreglo bifactorial. Los factores en estudio fueron tres niveles de inoculación micorrízica (dos cepas y un control sin inoculación) y cuatro niveles de inoculación con rizobios (tres cepas y un control sin inoculación), para un total de doce tratamientos. Los experimentos se realizaron en condiciones de campo en el período comprendido entre diciembre de 2018 a marzo 2019. Se aplicó la fórmula completa NPK (9-13-17) a razón de 200 kg ha, en el fondo del surco antes de la siembra en todos los tratamientos evaluados.

De los 35 a 45 días de sembrado el cultivo, en etapa de prefloración, se tomaron las plantas centrales de 1 m lineal en cada tratamiento y en cada réplica. Se midieron las variables de crecimiento: altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), masa seca del tallo y hojas (g). En el momento de la cosecha se evaluaron el rendimiento y sus componentes: número de vainas por plantas, número de granos por planta, masa de 100 granos (g) y el rendimiento ($t\ ha^{-1}$).

Para el análisis estadístico, primeramente, se comprobó la normalidad de los datos y la homogeneidad de la varianza de las variables evaluadas. Con posterioridad se realizó un análisis de varianza a los datos obtenidos, en función del diseño experimental, comparando los tratamientos y sus interacciones.

En el caso que las interacciones fueran significativas las medias de los tratamientos fueron comparadas por la prueba de Rango Múltiple de Duncan ($p \leq 0,1$). Se empleó el programa STATGRAPHICS Centurión XV. II.

RESULTADOS

Al analizar el comportamiento morfológico de las plantas en los cultivares en estudio (Tabla 2) se encontró interacción entre los factores (inoculación de rizobios y HMA) para las dos variables evaluadas, y se evidenció un comportamiento diferente en cada tratamiento con respecto a la altura de las plantas y el diámetro del tallo.

En las inoculaciones simples de los rizobios en la altura de las plantas y el diámetro del tallo para los diferentes cultivares, se encontró un comportamiento diferenciado entre los cultivares. En el cultivar CC25-9 N todas las cepas de rizobios provocaron alturas superiores al testigo y sin diferencias significativas entre estas. En el cultivar Lewa solo se encontró respuesta significativa a la aplicación de la cepa CIAT 899 con respecto al testigo sin inocular. Mientras que en el diámetro del tallo, en el cultivar CC 25-9 N la inoculación de las tres cepas de rizobios provocó aumentos de la variable respecto al testigo. En el cultivar Lewa no se encontraron diferencias entre las cepas de rizobios en estudio y el testigo sin inocular.

Respecto a la inoculación con las cepas de HMA, se encontró que la altura de la planta fue superior con la inoculación de ambas cepas de micorrizas respecto al testigo sin inocular en los dos cultivares. Es de resaltar que en el cultivar Lewa la inoculación simple de INCAM 11 fue superior a cualquiera de las coinoculaciones estudiadas. Respecto al diámetro del tallo a las aplicaciones simples de HMA, la inoculación de INCAM 11 provocó un aumento del valor de la variable en ambos cultivares.

En relación con la coinoculación, la efectividad de la misma en la altura de las plantas varió con los cultivares. Para el cultivar CC 25-9 N la coinoculación presentó mayores incrementos de la variable con las combinaciones INCAM 4+PRF 81, INCAM 11+PRF 81 e INCAM 11+CIAT 899. En cuanto al cultivar Lewa, las mayores alturas de las plantas se encontraron con la coinoculación de INCAM

Tabla 2. Efecto de las cepas de rizobios y hongos micorrízicos arbusculares en la altura de las plantas (cm) y el diámetro del tallo (mm) en los dos cultivares de frijol común

Tratamientos	Altura de la planta (cm)				Diámetro del tallo (mm)				
	CC 25-9 N		Lewa		CC 25-9 N		Lewa		
Sin HMA	Sin R	39,79	f	46,58	e	0,41	d	0,43	c
	CF 1	49,34	cde	48,42	de	0,47	abc	0,44	c
	PRF 81	52,88	bc	50,3	cde	0,46	abc	0,44	c
	CIAT 899	50,13	cd	52,63	bcd	0,47	ab	0,45	bc
INCAM 4	Sin R	45,51	e	53,14	bcd	0,44	bcd	0,45	bc
	CF 1	47,54	de	55,82	abc	0,48	a	0,43	c
	PRF 81	58,11	a	51,31	bcde	0,46	abc	0,46	bc
	CIAT 899	49,95	cde	50,97	bcde	0,44	cd	0,44	c
INCAM 11	Sin R	47,78	de	60,19	a	0,49	a	0,49	ab
	CF 1	49,15	cde	55,81	abc	0,45	abcd	0,45	bc
	PRF 81	55,51	ab	53	bcd	0,48	a	0,51	a
	CIAT 899	57,73	a	56,38	ab	0,47	abc	0,44	c
ES \bar{x}		1,61	*	2,13	*	0,012	*	0,013	*

*Letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Prueba de Duncan para $p \leq 0,1$

11+CIAT 899, INCAM 11+CF 1 e INCAM 4+CF 1, aunque todas estas combinaciones fueron semejantes a la inoculación simple de INCAM 11.

Los mayores valores de diámetro del tallo en el cultivar CC 25-9 N se encontraron en las combinaciones INCAM 4+CF 1 e INCAM 11+PRF 81 y sin diferencias con las otras combinaciones de microorganismos y la inoculación simple de INCAM 11, aunque sí se encontraron diferencias con INCAM 4+CIAT 899. En el cultivar Lewa, la mejor combinación fue INCAM 11+PRF 81, no difiriendo de la inoculación simple de INCAM 11.

Al analizar el comportamiento de la masa seca del tallo y de las hojas (Tabla 3) se encontró interacción entre los factores en estudio. En los cultivos estudiados, el mayor efecto de la inoculación con rizobios en la masa seca del tallo se alcanzó con la cepa CIAT 899 respecto al testigo sin inocular. Mientras que en la masa seca de la hoja solo se presentaron efectos significativos en el cultivar CC 25-9 N, con las cepas PRF 81 y CIAT 899

En relación con las aplicaciones simples de HMA en la masa seca del tallo, la inoculación con INCAM 4 provocó el mayor valor de la variable en el cultivar CC 25-9 N. En el cultivar Lewa se obtuvo incrementos significativos de la variable con la inoculación de cualquiera de las dos cepas de HMA evaluadas y sin diferencias entre las mismas. En la masa seca de las hojas, la inoculación con HMA, en el cultivar CC 25-9 N se obtuvo una respuesta superior al testigo sin inocular con las dos cepas de HMA. En el cultivar Lewa, esta respuesta solo se observó con la cepa INCAM 11.

Al analizar los resultados de la coinoculación en la masa seca del tallo, el mejor resultado se encontró con la combinación INCAM 4+PRF 81 en el cultivar CC 25-9 N. En el cultivar Lewa, el mejor comportamiento se obtuvo con INCAM 4+PRF 81, sin diferencias con las coinoculaciones de INCAM 4 e INCAM 11 con la cepa de rizobio CF 1.

Al observar los resultados de la coinoculación en la masa seca de las hojas, la mejor combinación que se comportó

en el cultivar CC 25-9 N fue INCAM 4+PRF 81, no presentando diferencias con el resto de las combinaciones de microorganismos y la inoculación simple de PRF 81, CIAT 899, INCAM 4 e INCAM 11, excepto con INCAM 11+PRF 81, con la que sí presentó diferencias. El cultivar Lewa presentó el mayor valor de la masa seca de las hojas con la combinación de INCAM 4+CIAT 899, que fue semejante a la inoculación simple de INCAM 11 y sin diferencias con las coinoculaciones de INCAM 4+CF 1 y CIAT 899 y la inoculación simple de INCAM 11 y las tres cepas de rizobios.

El efecto de los tratamientos en el número de vainas por plantas (Tabla 4) se encontró, para el caso de la inoculación con rizobios, que en el cultivar CC 25-9 N no hubo respuesta a la inoculación simple con ninguna de las cepas evaluadas de este microorganismo. En el cultivar Lewa la mejor cepa de rizobios fue CIAT 899. En el número de granos por planta, en el cultivar de frijol CC 25-9 N, las tres cepas de rizobios fueron superiores al testigo. En el Lewa, la mejor cepa de rizobios fue CIAT 899 comportándose semejante a la evaluación anterior.

En el caso de la inoculación con HMA en el número de vainas por planta, el cultivar CC 25-9 N no presentó respuesta a la inoculación. En el cultivar Lewa solo esta cepa fue significativa INCAM 11. Mientras que para el número de granos por planta se observó que en el cultivar CC 25-9N las dos cepas inoculadas presentaron un mejor comportamiento que el testigo y similares entre sí. En el cultivar Lewa, el mejor comportamiento se observó con la inoculación de INCAM 11 y la cepa INCAM 4 fue semejante al testigo.

Al analizar la efectividad de la coinoculación en el número de vainas, se encontró interacción entre los factores. En el cultivar CC 25-9 N el mayor resultado se presentó con la coinoculación INCAM 4+CF 1 significativamente superior a las aplicaciones simples y al testigo. En el cultivar Lewa, el mejor tratamiento coinoculado fue INCAM 4+CF 1, aunque no resultó superior a la inoculación simple de INCAM 11.

Tabla 3. Efecto de las cepas de rizobios y hongos micorrízicos arbusculares en la masa seca del tallo y de la hoja (g) en los dos cultivos de frijol común

Tratamientos	Masa Seca del tallo (g)				Masa Seca de la hoja (g)					
	CC 25-9 N		Lewa		CC 25-9 N		Lewa			
Sin HMA	Sin R	466,1	f	315	c	95,03	c	123,35	d	
	CF 1	504,5	def	401,67	c	484,58	bc	185,14	bcd	
	PRF 81	484,9	ef	326,66	c	881,68	ab	241,85	bcd	
	CIAT 899	527,2	cde	543,89	b	653,93	ab	164,65	cd	
INCAM 4	Sin R	557,2	bc	567,23	b	1926,45	ab	219,59	bcd	
	CF 1	549,5	cd	598,89	ab	723,05	ab	408,58	abc	
	PRF 81	675,6	a	672,78	a	1065,25	a	354,73	abcd	
	CIAT 899	571,1	bc	384,44	c	807,88	ab	547,59	a	
INCAM 11	Sin R	472,7	f	573,33	b	699,95	ab	543,38	a	
	CF 1	543,4	cd	591,67	ab	929,63	ab	447,13	abc	
	PRF 81	550,7	cd	536,67	b	487,2	bc	467,57	ab	
	CIAT 899	598,4	b	376,67	c	931,25	ab	362,59	abcd	
ESX		17,9*		36,36*		162,93*		102,54		*

*Letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Prueba de Duncan para $p \leq 0,1$

Tabla 4. Efecto de las cepas de rizobios y hongos micorrízicos arbusculares en el número de vainas /planta y el número de granos/planta de dos cultivares de frijol común

Tratamientos	Nº de vainas /planta				Nº de granos/planta				
	CC 25-9 N		Lewa		CC 25-9 N		Lewa		
Sin HMA	Sin R	9,85	c	9,28	d	9,85	c	9,28	D
	CF 1	9,98	c	10,43	cd	9,98	c	10,43	cd
	PRF 81	9,9	c	9,85	cd	9,9	c	9,85	cd
	CIAT 899	10,78	bc	11,95	bc	10,78	bc	11,95	bc
INCAM 4	Sin R	11,44	bc	10,85	cd	11,44	bc	10,85	cd
	CF 1	14,65	a	13,28	ab	14,65	a	13,28	ab
	PRF 81	11,85	bc	11,61	bc	11,85	bc	11,61	bc
	CIAT 899	11,45	bc	11,05	cd	11,45	bc	11,05	cd
INCAM 11	Sin R	10	c	14,08	a	10	c	14,08	A
	CF 1	10,83	bc	10,93	cd	10,83	bc	10,93	cd
	PRF 81	12,75	b	10,73	cd	12,75	b	10,73	cd
	CIAT 899	11	bc	10,6	cd	11	bc	10,6	cd
ES \bar{x}		0,73	*	0,79	*	0,73	*	0,79	*

*Letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Prueba de Duncan para $p \leq 0,1$

En relación con la coinoculación en el número de granos por planta, los mejores resultados en el cultivar CC 25-9 N se encontraron con la aplicación de INCAM 4+PRF 81 que fue superior a las otras combinaciones de microorganismos, a las aplicaciones simples y al testigo. Por otra parte, en el cultivar Lewa, la mejor combinación fue INCAM 4+CF 1, aunque sin diferencias con la inoculación simple de INCAM 11.

En la [Tabla 5](#) se observa el efecto de los tratamientos tanto en la masa seca de 100 granos como en el rendimiento del cultivo. En ambas evaluaciones, los dos cultivares, los tratamientos inoculados con diferentes cepas de rizobios fueron superiores al testigo. Este mismo comportamiento se pudo apreciar en la inoculación simple de las cepas de HMA.

En relación con la coinoculación en la masa de 100 granos por planta, aunque diferentes combinaciones presentaron valores altos, en ninguno de los cultivares estos resultados fueron estadísticamente superiores a la inoculación simple de los microorganismos.

Al analizar el efecto de las coinoculaciones en el rendimiento del cultivo, para el cultivar CC 25-9 N, las mejores combinaciones se encontraron con INCAM 4+CIAT 899 e INCAM 11 con CF 1 y CIAT 899 y aunque estos resultados no difirieron del resto de los tratamientos coinoculados, si fueron superiores a la inoculación simple de los microorganismos. En el cultivar Lewa, la mejor combinación fue INCAM 4+CIAT 899, aunque sin diferencias con CIAT 899+CF 1; INCAM 11 combinado con las tres cepas de rizobios y la inoculación simple de CIAT 899.

Tabla 5. Efecto de las cepas de rizobios y hongos micorrízicos arbusculares en la masa de 100 granos (g) y Rendimiento agrícola ($t\ ha^{-1}$) de dos cultivares de frijol común

Tratamientos	Masa de 100 granos (g)				Rendimiento ($t\ ha^{-1}$)				
	CC 25-9 N		Lewa		CC 25-9 N		Lewa		
Sin HMA	Sin R	13,5	c	12,9	b	0,89	e	0,79	f
	CF 1	15,4	b	14,83	a	1,15	cd	1,24	bcd
	PRF 81	15,67	ab	15,75	a	1,11	d	1,19	cde
	CIAT 899	15,32	b	15,83	a	1,17	cd	1,32	ab
INCAM 4	Sin R	16,25	ab	14,88	a	1,18	bcd	1,13	de
	CF 1	16,2	ab	15	a	1,3	abc	1,28	abc
	PRF 81	16,85	a	15,33	a	1,29	abc	1,24	bcd
	CIAT 899	16,27	ab	15,8	a	1,42	a	1,35	a
INCAM 11	Sin R	15,4	b	14,85	a	1,17	cd	1,1	e
	CF 1	16,35	ab	15,15	a	1,36	a	1,31	ab
	PRF 81	16	ab	14,48	a	1,34	ab	1,28	abc
	CIAT 899	15,92	ab	15	a	1,37	a	1,29	abc
ES \bar{x}		0,432	*	0,49	*	0,07	*	0,05	*

*Letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Prueba de Duncan para $p \leq 0,1$

DISCUSIÓN

En los últimos años con el auge de potenciar la actividad biológica de los microorganismos del suelo y aprovechar sus beneficios, se incrementan las publicaciones con el uso, tanto de los inoculantes micorrízicos arbusculares (10,11) como de los rizobios en leguminosas (12).

De forma general se encontró una respuesta significativa y similar de los cultivares a la aplicación de INCAM 4 o INCAM 11. En los últimos años se ha establecido que la efectividad de la inoculación de estas cepas se encuentra relacionada con el pH (H₂O) del suelo o sustrato donde crecen los cultivos (13,14), de forma tal que en el rango de pH entre 5,6 y 7,2 la cepa INCAM 4 presenta la mayor efectividad y en el rango de pH 7 - 8 la mayor efectividad la presenta INCAM 11, con una zona de solapamiento de las efectividades entre 7 a 7,2.

Respecto al comportamiento de las variables morfológicas, en otros estudios realizados, se encontraron una mayor altura y diámetro del tallo de las plantas en frijoles inoculados con rizobios y HMA, siendo siempre los tratamientos inoculados los de mejor comportamiento respecto al testigo sin inocular (15).

Otros autores obtuvieron incrementos de los valores de altura en plantas de frijol, en rangos de hasta 10 cm, enfatizando en el papel que juega la disponibilidad de los nutrientes, principalmente el fósforo, en el crecimiento de las plantas (16). Al respecto, a nivel mundial, se han encontrado resultados consistentes que confirman que la absorción de nutrientes se facilita mediante la presencia en el suelo de una red efectiva de simbiosis micorrízica, la que además incrementa el crecimiento de las plantas (17).

En relación con la masa seca, se han observado incrementos en las plantas de frijol de los tratamientos micorriza + rizobios y rizobios que los encontrados en los tratamientos control y micorrizas, posiblemente asociados a los niveles de nutrientes en el suelo y dejando claro la relevancia de la coinoculación en el crecimiento y desarrollo del cultivo (18).

En relación con la coinoculación, los resultados mostraron un comportamiento diferenciado en función de los cultivares. Si bien en todos los casos algunas combinaciones rizobios-HMA alcanzaron siempre los mayores rendimientos, las diferencias con relación a los rendimientos obtenidos por las inoculaciones simples fueron significativas.

De ese modo, en los resultados de este trabajo, se corrobora la compatibilidad entre el frijol, los rizobios y los HMA, lo que favoreció el crecimiento y rendimiento. Estos resultados coinciden con otras investigaciones realizadas donde también encontraron diferencias en los componentes del rendimiento del cultivo de frijol con la aplicación combinada de microorganismos (19).

Asimismo, los resultados en esta investigación concuerdan con los obtenidos por otras investigaciones donde se obtuvo un número de vainas mayor en las plantas sometidas a los tratamientos con rizobios y micorrizas (18).

Es importante recalcar que la coinoculación de las cepas de rizobios y hongos micorrizógenos arbusculares incrementó significativamente el número de granos por vaina de las plantas evaluadas en los dos cultivares. En este sentido en trabajos realizados se reportaron aumentos en el rendimiento del frijol con las inoculaciones combinadas de rizobios y de hongos micorrízicos, concluyendo que las acciones combinadas de los microorganismos tienen un efecto sinérgico en el crecimiento vegetal (20, 21).

Los resultados de estos experimentos amplían la información y las bases para el manejo de la coinoculación con rizobios y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de frijol, al comprobar que existen opciones prácticas para el manejo de la inoculación de cepas eficientes de ambos microorganismos que aseguren un adecuado crecimiento, desarrollo de las plantas y apropiados indicadores de funcionamiento microbiano, todo lo cual redundará en rendimientos sostenibles con un mínimo de insumos agrícolas.

CONCLUSIONES

- La efectividad de la inoculación simple de las cepas de HMA INCAM 4 e INCAM 11 dependió de los cultivares en estudio.
- El grado de efectividad de la inoculación simple de las cepas de rizobios dependió del cultivar en estudio, comportándose CIAT 899 como la mejor cepa para el cultivar Lewa, mientras que en el cultivar CC 25-9 N las tres cepas se comportaron en forma similar.
- Las coinoculaciones más efectivas resultaron ser INCAM 11+CIAT 899, INCAM 11+CF 1 y INCAM 4+CIAT 899, siendo esta última combinación la más eficiente para el cultivar Lewa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Colás, A., Díaz, B., Rodríguez, A., Gatorno, S. y Rodríguez, O. (2018). Efecto de la biofertilización en la morfofisiología y rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ctro. Agríc.*, 45, 34-42.
2. Chazan, M. (2008). *World Prehistory and Archaeology: Pathways through Time*. Pearson Education, Inc. ISBN 0-205-40621-1.
3. Rivera, R.; Calderón, A.; Nápoles, M.C.; Ruiz, L.; Simo, J.; Plana, R. (2012). La validación a escala productiva del biofertilizante EcoMic® y su aplicación conjunta con rizobios en el cultivo del frijol, en centro y occidente del país. Disponible en: https://scholar.google.com/cu/scholar?q=Rivera+2012+validacion+productiva+del+biofertilizante&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar#d=gs_qabs&t=1656518913656&u=%23p%3Dbf9PtcqgG20J
4. ONEI (Oficina Nacional de Estadística e Información). (2019). Anuario Estadístico de Cuba 2018. En: Agricultura. La Habana, Cuba. Disponible en: <http://www.onei.cu/aec2017/09%20Agricultura>.

5. Martínez, R.; Dibut, B. (2012). Biofertilizantes bacterianos. Editorial Científico-Técnica, La Habana, Cuba. ISBN 978-959-05-0659-8.
6. Wilches, W.; Ramírez, M.; Pérez, U.; Serralde, D.; Peñaranda, A. y Ramírez, L. (2019). Association of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) with sugarcane plants (*Saccharum officinarum*) for panela production in Colombia. *Terra Latinoamericana*, 37, 175-184. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>
7. Martín, G.M.; Tamayo, Y.; Hernández, M.; Varela y da Silva, E. (2017). Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de ^{15}N y diferencia de N total. *Cult. Tropic.*, 38, 122–130.
8. Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, M.; Castro, D. (2015). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Ediciones INCA. Mayabeque, Cuba. ISBN 978-959-7023-77-7.
9. Paneque, V. M.; Calaña, J. M.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, T. C. y Caruncho, M. (2010). Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Ediciones INCA. 160 p, ISBN: 978-959-7023-51-7.
10. Zhang, S.; Lehmann, A.; Zheng, W.; You, Z.; Rillig, M.C. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi increase grain yields: a meta-analysis. *New Phytologist*. doi: <http://doi.org/10.1111/nph.15570>
11. Rillig, M.C.; Aguilar-Trigueros, C.A.; Camenzind, T.; Cavagnaro, R.T.; Degruene, F.; Hohmann, P. et al. (2019). Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis? *New Phytologist*, 222(3), 1171-1175. DOI: <http://doi.org/10.1111/nph.15602>
12. Santos, M.S.; Nogueira, M. A.; Hungria M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB. 2019. Expr.* <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0>
13. Rivera, R.; Fernández, F.; Ruiz, L.; González, P.J.; Rodríguez, Y.; Pérez, E. Manejo, integración y beneficios del biofertilizante micorrízico EcoMic® en la producción agrícola. R Rivera Ed Ediciones INCA, San José de las Lajas, Cuba. 2020. 151p.
14. Buil, P.A.; Jansa, J.; Blažková, A.; Holubík, O.; Dufková, R.; Rozmoš, M.; Püschel, D.; Kotianová, M. & Janoušková, M. Infectivity and symbiotic efficiency of native arbuscular mycorrhizal fungi from high-input arable soils. *Plant Soil*, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05715-8>
15. Liriano, R.; Núñez, D.B.; Barceló, R. Efecto de la aplicación de Rhizobium y micorriza en el crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) variedad CC-25-9 negro, Centro Agrícola, 39(4), 17-20. 2012. octubre-diciembre, ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001.
16. Martín, N.J.; Llerena, Á.B.; Acosta, J.L. Influencia de los hongos micorrízicos arbusculares, abonos orgánicos y sacarosa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Alternativas*, 2018. ISSN: 13T90-1915, 19(2), 89-96pp.
17. Bukovská, P.; Rozmoš, M.; Kotianová, M.; Gancarcíková, K.; Dudáš, M.; Hřelová, H.; Jansa, J. Arbuscular Mycorrhiza Mediates Efficient Recycling From Soil to Plants of Nitrogen Bound in Chitin. *Front. Microbiol*, 12, 574060. 2021. DOI: <http://doi.org/10.3389/fmicb.2021.574060>
18. Hidalgo, J.E.; Ramos, C.C. Coinoculación de Rhizophagus irregularis y Rhizobium sp. en *Phaseolus vulgaris* L. var. canario (Fabaceae) "frijol canario". *Arnaldoa*, 26(3), 991-1006. 2019. DOI: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26309>
19. Calero, A.; Pérez, Y.; Quintero, E.; Olivera, D.; Peña, K. Efecto de la aplicación asociada entre Rhizobium leguminosarum y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común. *Cienc. Tecnol. Agropec*, 20, 295-308. 2019. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1460
20. Tamayo-Vélez, A.; Bernal Estrada, J.A. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield response to chemical and biological fertilization in different localities of Colombia. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 71, 8573-8579. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v71n3.72392>
21. Colás-Sánchez, A.; Díaz-Pérez, B.; Rodríguez-Urrutia, A.; Gatorno-Muños, S.; Rodríguez-López, O. Efecto de la biofertilización en la morfofisiología y rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Centro Agrícola*, 45(4), 34-42. 2018.