

EFFECTOS DE LA POSICIÓN DE PLANTACIÓN Y LA APLICACIÓN DE *Azospirillum brasilense* EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE LA YUCA (*Manihot esculenta* Crantz)

Leandris Argente-Martínez¹, Ofelda Peñuelas-Rubio¹, Jorge González-Aguilera³, Bruna Izabel Krewer², Jessica Ferreira-Diniz², Pedro Paulo Vilela-Barros², Jose Aristeu Alfonso-Junior², Rafael Felipe Ratke², Alan Mario Zuffo⁴, Jaime Garatuzza-Payán^{5*}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Valle del Yaqui, Bácum, Sonora, México, 85265.

²University of Mato Grosso do Sul, Highway MS-306, km 105, 79560-000, Chapadão do Sul, MS, Brazil.

³Pantanal Editora, Nova Xavantina, MT, Brazil.

⁴State University of Maranhão, Campus de Balsas, Praça Gonçalves Dias, Centro, 65800-000, Balsas, MA, Brazil.

⁵Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero, 818 sur, Col. Centro, Ciudad Obregón, Sonora, México, 85000.

*Autor de correspondencia: garatuzza1@gmail.com

RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la posición del propágulo de yuca y la aplicación de *Azospirillum brasilense* en el desarrollo inicial de la plántula. El experimento se realizó siguiendo un diseño completamente aleatorizado, con arreglo factorial (posición del propágulo [horizontal (PH) y vertical (PV)] y *A. Brasilense* [con (+Azos) y sin (-Azos)]. El porcentaje de brotación (PB) se evaluó de 11 a 35 días después de la siembra (DAP). Luego de 30 DAP, se evaluaron las siguientes variables: número de brotes (NB), altura de brotes (AB), número de folíolos (NF), longitud de folíolos (LF) y vigor vegetal (VV). La posición de las plantas de yuca influyó significativamente en el crecimiento inicial. La PV promueve una mayor brotación, 63% en 17 DAP, sobre la PH que fue del orden de 3% de los brotes visibles en el mismo período. En el trabajo se muestra que la PV promovió los valores más altos combinados con -Azos en las variables AB (aumento de 17%) y VV (aumento de 61%). La PH, en combinación con +Azos, estimuló el NF en 20%. La subdivisión en tres grupos de VV permitió identificar de forma visual diferencias entre tratamientos, que no se observaron en un ANOVA independiente. La VV es una variable importante para la evaluación del desarrollo inicial de la yuca.

Palabras clave: desarrollo inicial, tecnología de producción, vigor vegetal.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es de gran importancia a nivel mundial, ya que constituye un alimento de subsistencia (FAO, 2019). Los mayores productores de yuca en el mundo son Nigeria, Congo, Ghana, Tailandia, Indonesia y Brasil, con una producción que supera los 292 millones de toneladas producidas en 2017 (FAO, 2019). En Brasil, la yuca se produce en casi todas las regiones, con énfasis en Bahía, Mato Grosso do Sul y Pará. Según la última actualización del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), la estimación de la producción brasileña de raíz de yuca en 2020 es de 18.92 millones de toneladas, cosechadas en un área de 1.26 millones de hectáreas (CONAB, 2020). Brasil constituye el mayor centro de diversidad del género *Manihot* (Allem, 2002) y es considerado el probable centro de origen de las especies cultivadas en todo el mundo (Olsen, 2004). En Brasil, aunque los cultivos de yuca han mostrado adaptación a distintos agroecosistemas, y la adaptación específica a las condiciones edafoclimáticas en algunas regiones (Otsubo *et al.*, 2009), se considera que este cultivo no

Citation: Argente-Martínez L, Peñuelas-Rubio O, González Aguilera J, Krewer BI, Diniz-Ferreira J, Barros-Vilela PP, Alfonso Junior JA, Ratke RF, Zuffo AM, Garatuzza-Payán J, 2023. Efectos de la posición de plantación y la aplicación de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento inicial de la yuca (*Manihot esculenta* crantz). Agricultura, Sociedad y Desarrollo <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i2.1415>

Editor in Chief:
Dr. Benito Ramírez Valverde

Received: March 25, 2021.
Approved: January 27, 2022.

Estimated publication date:
April 17, 2023.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



responde al manejo de la fertilización (Vieira *et al.*, 2007), lo que alienta a los agricultores a plantarlo sin fertilizantes.

El manejo nutricional es uno de los principales aspectos a considerar para un mejor desempeño del cultivo de yuca. Un suministro adecuado de macronutrientes [nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)] ha sido fundamental para obtener mayores rendimientos en el cultivo (Soares *et al.*, 2016). Entre ellos, el manejo del nitrógeno influye en el ácido cianhídrico (dos Santos *et al.*, 2005) y el desempeño productivo (Santos *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2017). Junto a este desempeño asociado al N, se probó el uso de bacterias y su aporte al cultivo (Balota *et al.*, 1999; Ferreira *et al.*, 2018). Balota *et al.* (1999), Nascimento *et al.* (2014) y Lopes *et al.* (2019) confirmaron un desempeño exitoso en el empleo de bacterias del género *Azospirillum* en yuca, pues las investigaciones demostraron la capacidad de la bacteria para fijar nitrógeno y estimular el desarrollo de la planta. Sin embargo, el momento de la siembra también es fundamental para obtener buenos rendimientos.

La calidad de las plántulas está determinada por el tamaño, el diámetro, el período de conservación después de la recolección y la posición de plantación de los propágulos. Los agricultores generalmente siembran la yuca horizontalmente en el suelo, a menudo con poca o sin pendiente, lo que facilita en parte la siembra (Normanha y Pereira, 1950; Gabriel Filho *et al.*, 2003). Fisiológicamente, la posición puede estimular el equilibrio hormonal (auxinas y giberelinas) y por otro lado desencadenar el proceso de germinación de los propágulos. Como respuesta, también puede contribuir a un cierre rápido del campo, evitando la emergencia de malezas y las pérdidas de agua por evaporación. Los estudios han demostrado que la siembra vertical puede contribuir a un mejor desempeño agronómico de la yuca, especialmente en suelos arenosos (Viana *et al.*, 2000; Ospina *et al.*, 2002; Cerqueira *et al.*, 2016). En este caso, cuando la yuca se siembra verticalmente, hay una mayor profundización de las raíces. Sin embargo, no hay reportes que muestren que el crecimiento de brotes de yuca depende de la posición de siembra y de la asociación con *A. braziliense*.

Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar los efectos de la posición de plantación del propágulo y la aplicación de *A. braziliense* en el crecimiento inicial de la yuca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones experimentales

El experimento se llevó a cabo en condiciones de campo. Según la clasificación de Koppen, el clima de la región es de tipo tropical lluvioso (Aw), con invierno seco y verano lluvioso, con precipitación, temperatura media y humedad relativa anual de 1.261 mm, 23.97 °C y 64.23%, respectivamente (Alvares *et al.*, 2014).

El suelo se clasificó previamente como Distric Ferralsol (WRB 2015) y Latossol amarillo distrófico típico según la metodología de Brazilian Soil Survey (Santos *et al.*, 2018), con una textura arcillosa. Se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0.0-0.20 m y 0.20 – 0.40 m antes de establecer el experimento, y se recolectaron 30 muestras simples para formar una muestra compuesta, que posteriormente fue analizada fisicoquímicamente. Las muestras

de suelo se secaron al aire, se trituraron y se tamizaron a través de una malla de 2.0 mm para el análisis fisicoquímico.

Se determinaron los siguientes parámetros: pH en CaCl_2 (0.01 mol L^{-1}); acidez potencial (H+Al), extraída en acetato de calcio tamponado a pH 7.0, cuantificada por titulación con NaOH; fósforo (P) y potasio (K^+), extraídos con Mehlich⁻¹ y determinados por colorimetría y fotometría de llama, respectivamente; calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y aluminio (Al^{3+}), extraídos con KCl 1 mol L^{-1} y determinados por espectrofotometría de absorción atómica. Estos resultados permitieron el cálculo de los siguientes parámetros: saturación de bases (SB) = $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$; capacidad de intercambio catiónico (CIC) = $\text{SB} + \text{H} + \text{Al}$; y saturación de bases (SB) = $\text{CIC}/\text{SB} \times 100$). Las propiedades químicas del suelo se muestran en el Cuadro 1. La acidez del suelo fue corregida con la aplicación superficial de 513 kg ha^{-1} de cal (CaO : 29%; MgO : 20%; valor neutralizante relativo total: 90.1%, en comparación con el carbonato de calcio). El encalado se realizó 60 días antes del inicio del experimento.

El riego se realizó mediante un sistema de riego por goteo con mangueras Streamline Modelo Netafim, con espaciamiento entre emisores de 0.30 m. El riego proporcionó 1.3 L h^{-1} a intervalos de 24 h en las dos primeras semanas, y luego se aplicó cada 48 h para garantizar el buen desarrollo del cultivo.

Material vegetal

Los propágulos de yuca utilizadas en el experimento se obtuvieron de un productor de la región. Se realizó una selección utilizando aquellas plantas con aproximadamente 0.02 m de diámetro. Los propágulos se cortaron a una longitud de 0.20 m para estandarizar el material vegetal. La verificación de la homogeneidad del material se comprobó a partir de la evaluación inicial de los descriptores sugeridos por Fukuda y Guevara (1998), medidos en todas las plantas brotadas. Esta evaluación se realizó de acuerdo con: evaluación del color de la hoja apical (notas de 3 - verde claro, 5 - verde oscuro, 7 - verde violáceo y 9 - púrpura), pubescencia de la yema apical (notas de 0 - ausente y 1 - presente), y color del pecíolo (notas de 1 - verde amarillento, 2 - verde, 3 - verde rojizo, 5 - rojo verdoso, 7 - rojo, 9 - púrpura).

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental utilizado fue completamente aleatorizado, con 20 repeticiones por tratamiento, en parcelas subdivididas. Los tratamientos consistieron en dos posiciones

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo usado en el experimento.

Profundidad (m)	pH CaCl_2	MO ¹ (g dm^{-3})	P (mg dm^{-3})	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CIC ²	SB ³ %
					cmol dm^{-3}					
0.00 – 0.20	5.2	27.5	6.0	3.8	0.12	3.20	1.10	0.25	8.4	54.5
0.20 – 0.40	4.8	30.1	5.5	4.8	0.07	2.70	0.80	0.20	8.5	43.5

¹MO: Materia orgánica; ²CIC: Capacidad de intercambio catiónico a pH 7.0; ³SB: Saturación de bases.

[posición de plantación: horizontal (PH) y vertical (PV)] en las parcelas y aplicación de *Azospirillum brasilense* [con (+Azos) y sin (-Azos)] en las subparcelas. Cada parcela consistió en dos hileras separadas 0.6 m y 0.5 m entre plantas.

Los tratamientos asociados a la posición de plantación se realizaron al momento de la siembra, al colocar la cama de siembra de aproximadamente 0.20m de largo en los hoyos hechos con azadón y dejando las plántulas en la PV con aproximadamente la mitad de su longitud enterrada en el suelo. La PH se hizo al enterrar completamente, manteniendo el mismo espaciamiento para ambos tratamientos (Figura 1). *A. brasilense* se aplicó 15 días después de la siembra con ayuda de una bomba costal de 20 L utilizando dosis de 500 ml ha⁻¹. El producto comercial utilizado fue AZOS que contenía el inoculante líquido *A. brasilense* Ab-V5 en una concentración de 1 x 10⁸ UFC ml⁻¹. La maleza se controló manualmente cuando fue necesario.

Variables evaluadas

El porcentaje de brotación (PB) se evaluó inicialmente a los 11 días después de la plantación (DDP) y en intervalos de 2 días hasta los 35 DDP. El PB se obtuvo por el número promedio de rebrotes encontrado durante el período evaluado.

A los 30 DDP se evaluaron las siguientes variables: el número de rebrotes (NB), al contar rebrotes mayores de 0.01m de largo en cada plántula; la altura del brote (AB), al medir la longitud de la base de la planta hasta el ápice de todos los brotes con una longitud superior a 0.01 m, utilizando una regla milimétrica; el número de folíolos (NF), al contar el número de folíolos en el brote más largo de la planta; y el largo de los folíolos (LF), al medir por mano en la hoja más desarrollada en el brote más largo. El vigor vegetativo (VV) se obtuvo por el producto de las cuatro variables medidas (NB, AB, NF y LF) como indicador del desarrollo más significativo de la planta evaluada. Los valores de VV se agruparon en tres grupos [VV bajo (66-312), VV moderado (313-482) y VV superior (483-2145)].

Análisis estadísticos

Luego de recolectar los datos de las variables medidas, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de doble clasificación basados en un modelo lineal de efectos fijos. Además,

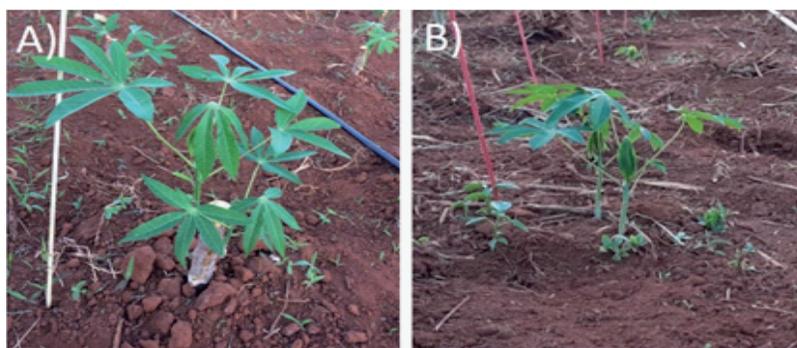


Figura 1. Detalle del crecimiento inicial de la yuca en diferentes posiciones de plantación de propágulos en hileras [A) posición vertical y B) posición horizontal].

se determinó el análisis de correlación de Pearson entre variables. Para la variable VV se establecieron tres grupos de plantas (agrupando los tratamientos con plantas que presentaron diferente comportamiento), después de la selección se realizó la comparación de tratamientos entre los tres grupos establecidos, y así se obtuvo el comportamiento de la yuca entre esos grupos de VV evaluado. Todos los análisis se realizaron con el programa RBio (Bhering, 2017) y se utilizó el programa Sigma Plot versión 11.0 para la construcción de los gráficos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cambios en el patrón de brotación considerando la posición de plantación de los propágulos

Como práctica de manejo, pero común en el cultivo de la yuca, la plantación generalmente se realiza en forma horizontal (Gabriel Filho *et al.*, 2003). Sin embargo, la PV aceleró la brotación en los primeros 35 DDP en el presente estudio (Figura 2). La PV promovió el mayor tiempo de brotación si consideramos que a los 17 DDP para este tratamiento 63% de las plántulas había brotado (al menos una yema visible). En el tratamiento de PH, 66% de las plantas brotó a los 29 DDP (Figura 3). Al evaluar los efectos del tamaño de las plantas y la posición de siembra en la cosecha de yuca, Viana *et al.* (2000) encontraron que la brotación de las plantas sembradas verticalmente se dio a los 15 días y resultó en 50% de las plantas brotadas; además, este proceso ocurrió más rápido que la plantación inclinada respecto a los propágulos plantados horizontalmente (26 días). Este estudio corrobora el resultado obtenido anteriormente, donde bastaron 14 días para tener 50% de las plantas brotadas en la PV (Figura 2).

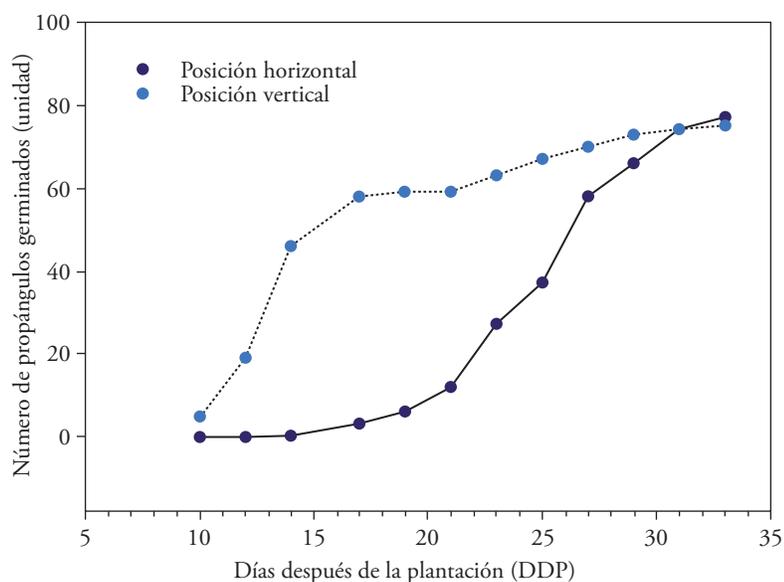


Figura 2. Número de propágulos de yuca germinados a diferentes días después de la siembra (n=92).

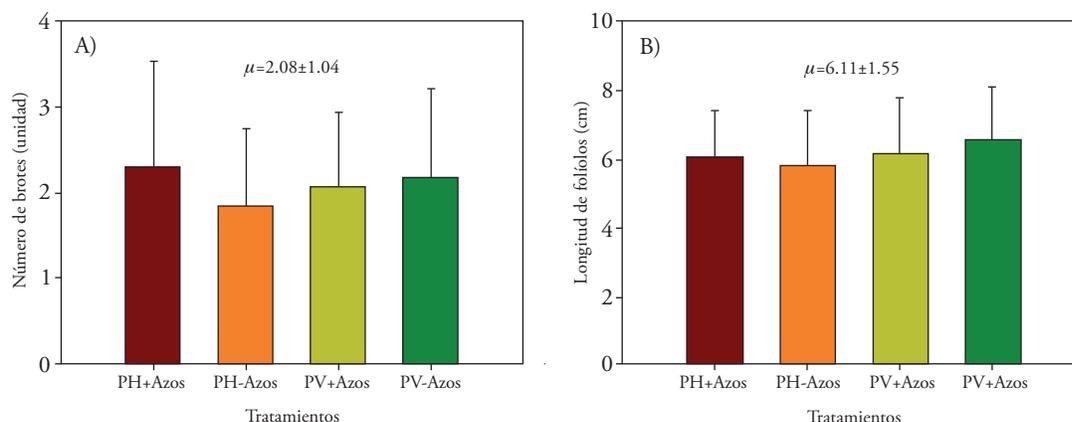


Figura 3. Número de brotes (A) y longitud de folíolos (B) obtenidos al medir los efectos de la posición de los propágulos de yuca [horizontal (PH) y vertical (PV)] y la aplicación de *Azospirillum brasilense* [con (+Azos) y sin (-Azos)] en experimentos realizados en Chapadão de Sul, MS. (n = 46).

La emergencia más rápida ocurrió en los tratamientos posicionados verticalmente, lo que garantiza un rápido desarrollo de los brotes, lo cual es una de las ventajas de este sistema de plantación. En esta fase inicial, las reservas de carbohidratos determinan el desarrollo inicial (primeros 30 DDP), según Alves, (2006). Para la yuca, la PV estimula la inducción de brotación, posiblemente por la mejor distribución de asimilados asociados a la posición de la plantación. La rápida brotación y crecimiento de las plantas también es importante para prevenir la aparición de malas hierbas, lo que reduce la aplicación de herbicidas o el uso de maquinaria para el control de malas hierbas durante las primeras etapas de crecimiento. Simultáneamente, promueve un cierre rápido del campo, reduciendo la superficie expuesta a la radiación solar y contribuyendo al mantenimiento de la humedad del suelo. Ospina *et al.* (2002) recomiendan la PV bajo las condiciones de Colombia. Sin embargo, comentan que la disposición de las raíces de yuca al sembrarlas en forma horizontal son espaciosas y con ello se facilita la cosecha de la PV o inclinada.

Efecto la posición de plantación y la aplicación de *A. brasilense* en el crecimiento inicial

Al evaluar la posición de los propágulos y la combinación con la ausencia y presencia de *A. brasilense* aplicado en el suelo, los resultados mostraron efectos significativos de la interacción de ambos factores para las variables AB ($p < 0,05$), NF y VV ($p < 0,01$) en plantas de yuca (Cuadro 2). Para las variables NB y LF no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los dos factores evaluados, mostrando que para estas dos variables, independientemente de la posición de los propágulos y de la presencia o ausencia de *A. brasilense*, la respuesta se mantiene igual (Figura 3). Los CV en la mayoría de las variables fueron de magnitud media a moderada, excepto las variables NB (CV=49,92) y VV (CV=70,7), que manifestaron una amplia variación en los datos, lo que influyó en los valores de CV y en la precisión de los datos recopilados en el campo.

Cuadro 2. Resumen del ANOVA al evaluar los efectos de la posición de los propágulos en diferentes épocas de plantación y la aplicación de *Azospirillum brasilense*.

FV ¹	GL	Cuadrados medios				
		NB	AB	NF	LF	VV
Posición (P)	1	0.16	7.70	2.86*	6.61	198,718
<i>Azospirillum</i> (A)	1	1.24	0.03	0.02	0.11	273
P x A	1	2.16	20.61*	5.70**	3.23	816,692**
CV (%)		49.92	26.78	16.00	25.17	70.07
Promedio general		2.08	7.93	4.61	6.11	482.00

FV: Fuente de variación, GL: grados de libertad. NB: número de brotes, AB: altura de los brotes, NF: número de folíolos, LF: Longitud de folíolos, y VV: vigor vegetativo. ³CV: coeficiente de variación. *p <0.05, **p <0.01 significancia para la prueba de Tukey.

La Figura 3 muestra las medias de las variables NB y LF, con promedios generales de 2.8 y 6.11 cm, respectivamente. El PH asociado a +*Azos* promovió el mayor número de brotes (2.29) con respecto a los demás tratamientos. La NB formada depende de las condiciones de humedad del suelo después de la plantación, produciéndose primero las raíces y luego los brotes emergentes. La primera yema generalmente se desarrolla mejor debido a la dominancia apical del tallo, aunque esto no impide que las demás muestren un desarrollo específico, como se muestra en la Figura 3.

La LF mostró los valores más altos en el tratamiento con PV y -*Azos* con 6.58 cm, valores por encima del promedio general del experimento (6.11 cm); sin embargo, sin diferenciarse de PH y +*Azos* (Figura 3b). La mayor área fotosintética en las plantas se puede relacionar con la variable LF, que influye directamente en el índice foliar (IF). Así, las plantas con mayor LF e IF tienen un mejor rendimiento del producto, de gran interés práctico para los productores de yuca.

Comparando las interacciones de los factores evaluados (Cuadro 3), para las variables AB, NF y VV, la AB mostró diferencias significativas sólo al comparar las dos posiciones en -*Azos*, donde se destaca la PV (8.66 cm) que incrementó la altura de la yema en un 17% con el PH (Cuadro 3). Los resultados están de acuerdo con los obtenidos por Cerqueira

Cuadro 3. Resultado de los efectos de la posición de los propágulos al momento de la plantación y la aplicación de *Azospirillum brasilense* al medir la altura del brote (AB), el número de folíolos (NF) y el vigor vegetativo (VV).

Posición	<i>Azospirillum brasilense</i>					
	AB (cm)		NF		VV	
	+ <i>Azos</i>	- <i>Azos</i>	+ <i>Azos</i>	- <i>Azos</i>	+ <i>Azos</i>	- <i>Azos</i>
Horizontal (PH)	8.08 Aa	7.39 Ab	4.94 Aa	4.58 Aa	524.96 Aa	379.14 Ab
Vertical (PV)	7.62 Aa	8.66 Aa	4.10 Bb	4.66 Aa	413.37 Ba	611.11 Aa

+*Azos*: con aplicación de *A. brasilense*, -*Azos*: sin aplicación de *A. brasilense*. Las letras minúsculas en la columna y las letras mayúsculas en la fila representan diferencias significativas para la prueba de comparación de Tukey p<0.01.

et al. (2016) al comparar el desarrollo inicial de la yuca 'cacao' bajo diferentes posiciones del propágulo. Los mismos autores observaron una mayor altura de planta con la PV con diferencia de 32% respecto al PH ($p < 0.01$), además de promover mayor diámetro del cuello, número de hojas, masa seca de hojas y masa seca del tallo.

El número de folíolos (NF), entre las variables medidas, mostró diferencias significativas al 1% de probabilidad (Cuadro 2) a favor de la combinación de +Azos con PH (4.94 con un 20% de incremento) sobre +Azos con PV (Cuadro 3). Al observar la misma variable y las comparaciones entre las posiciones, la PV mostró diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) con el mejor desempeño en -Azos (4.66), lo que representa un incremento del 14% respecto a +Azos con 4.10 (Cuadro 3). El NF está asociado con el desarrollo de la planta y directamente relacionado con una mayor área foliar, característica deseada para el cultivo y correlacionada positivamente con el rendimiento de las raíces de reserva. Cerqueira *et al.* (2016) encontraron que la PV estimuló la mayor cantidad de hojas en yuca 'cacao', con valores muy cercanos a la posición inclinada, siendo ambos superiores a la PH. Las bacterias del género *Azospirillum* pueden promover el crecimiento de las plantas y aumentar la productividad principalmente mediante la producción de sustancias estimulantes, que contribuyen al desarrollo de las raíces y aumentan la tasa de absorción de agua y minerales (El Zemrany *et al.*, 2007; Díaz-Zorita y Fernández-Canigia, 2009). Los resultados mostraron que al usar +Azos y combinarse con los propágulos de PH (completamente enterrados en el suelo), el efecto bajo la variable NF fue mayor en comparación con la PV, mostrando el efecto positivo de esta bacteria sobre la yuca para esta característica (Cuadro 3). Otros estudios han mostrado buenos resultados en cultivo de yuca con la aplicación de bacterias del género *Azospirillum* (Nascimento *et al.*, 2014; Lopes *et al.*, 2019). Sin embargo, no se ha reportado sobre el efecto de la posición del propágulo y la combinación de la aplicación de estas bacterias.

Para la variable VV (Cuadro 3) las posiciones de los propágulos difieren sólo en -Azos, proporcionando la PV el incremento más masivo de 61% en el VV de las plantas sobre la PH. Simultáneamente, al observar la comparación en el otro sentido (entre las posiciones), solamente se obtuvieron diferencias en la PV con mejor desempeño en combinación con -Azos y un incremento para la variable del 48%. Los resultados mostraron que, independientemente de la dirección de la comparación para esta variable VV, la combinación de PV y -Azos promovió la mejor calidad de planta, considerando que los valores más altos están asociados con las plantas que mostraron la magnitud más significativa para las cuatro características evaluadas.

Al analizar la red de correlaciones entre las variables evaluadas y la VV evaluada a los 35 días después del inicio de la brotación, la contribución más significativa fue entre NB x VV > LB x VV > LF x VV > NF x VV en el mismo orden (Figura 4). El vigor vegetativo, como variable que indica la ganancia de biomasa en las etapas iniciales del desarrollo de la planta, puede ser un indicador de la calidad de la plántula (asociada al poder de brotación de la energía de brotación) y la disponibilidad de agua, aunque algunas especies de plantas no necesitan altos porcentajes de humedad en el suelo para germinar, como la yuca (Pacheco *et al.*, 2020). Un VV alto representa una condición de planta satisfactoria para tener un mejor desarrollo y productividad (Santos *et al.*, 2014).

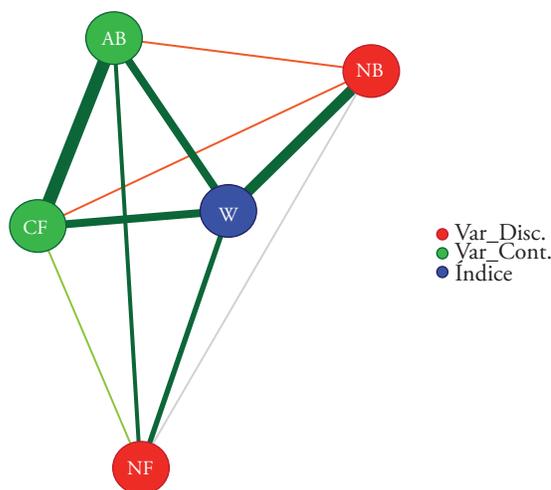


Figura 4. Red de correlaciones entre variables discretas [número de brotes (NB) y número de folíolos (NF)], variables continuas [altura de brotes (AB) y longitud de folíolos (LF)] y el índice de vigor vegetativo (VV) obtenido al medir los efectos de la posición de plantas de yuca y la aplicación de *Azospirillum brasilense*. (n = 92).

Contribución del VV a la variabilidad total de forma integrada

Para ello se realizó la clasificación de los valores originales de VV obteniendo los tres grupos [bajo (66-312), moderado (313-482) y superior (483-2145)] y se comprobó a partir de un nuevo ANOVA la hipótesis propuesta para todas las variables medidas (Cuadro 4). Los resultados del ANOVA confirmaron que el efecto de los factores evaluados fue variable entre los tres grupos formados a partir de los valores de VV (Cuadro 4). Se observó que en el grupo de VV bajo (66-312), los tratamientos no influyeron en las respuestas de las plantas, mientras que para el VV medio (313-482) y el VV superior (483-2145), solamente hubo efecto de la posición para las variables NF ($P < 0.01$) y LF ($P < 0.05$), respectivamente (Figura 5).

Los resultados muestran que sólo el factor de posición del propágulo influyó en la respuesta general. Sin embargo, no siempre el mismo tratamiento fue superior entre las variables que mostraron diferencias significativas. La respuesta varió entre las dos variables, siendo la PH más favorable para NF y la PV más favorable para LF.

Aquí mostramos que la posición vertical de los propágulos tiene un efecto beneficioso sobre la germinación inicial de las plantas de yuca. Mostramos la combinación de la posición como la aplicación de *A. brasilense* en el suelo influye en el desarrollo de las plantas.

CONCLUSIONES

La posición vertical de los propágulos de yuca promueve la brotación en 63% de las plántulas 17 días después de la siembra, mientras que la posición horizontal alrededor de 3%.

Cuadro 4. Resumen del ANOVA al evaluar los efectos de la posición de los propágulos al momento de la plantación y la aplicación de *Azospirillum brasilense* para subgrupos formados entre la variable vigor vegetativo.

FV	GL	Cuadrados medios				
		NB	AB	NF	LF	VV
Grupo de VV bajo (66-312)						
Posición (P)	1	0.68	1.13	0.59	0.42	177
<i>Azospirillum</i> (A)	1	2.21	0.03	0.08	0.62	11,634
P x A	1	0.08	0.69	1.22	1.13	363
CV (%)		49.26	30.87	15.52	24.39	34.78
Promedio general		1.63	6.44	4.09	4.95	188.14
Grupo de VV moderado (313-482)						
Posición (P)	1	0.02	1.43	4.07**	0.12	2,467
<i>Azospirillum</i> (A)	1	0.19	4.54	0.14	0.11	24
P x A	1	0.01	1.16	0.16	1.22	495
CV (%)		39.27	19.87	14.56	19.00	13.57
Promedio general		1.71	8.35	4.77	6.50	395.83
Grupo de VV superior (483-2145)						
Posición (P)	1	0.54	5.76	1.15	8.14*	169,262
<i>Azospirillum</i> (A)	1	0.31	0.04	0.02	0.02	22,978
P x A	1	0.54	0.00	0.47	0.29	50,122
CV (%)		39.62	20.03	11.79	19.10	37.19
Promedio general		2.81	9.15	5.02	7.03	846.47

FV: Fuente de variación, GL: grados de libertad. NB: número de brotes, AB: altura de los brotes, NF: número de folíolos, LF: longitud de folíolos, y VV: vigor vegetativo. CV: coeficiente de variación. *p <0.05 y **p <0.01 significación para la prueba Tukey.

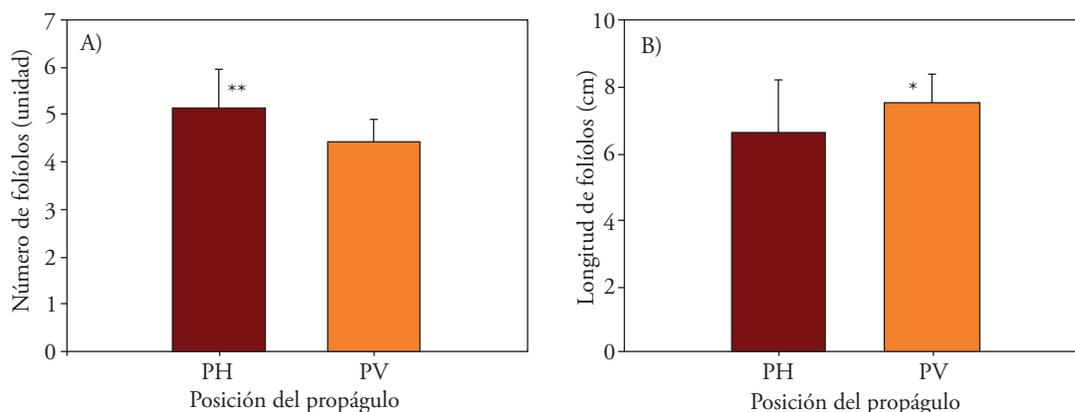


Figura 5. Número de folíolos (A) y longitud de folíolos (B) obtenidos al medir los efectos del posicionamiento de la yuca [posiciones: horizontal (PH) y vertical (PV)] por subgrupos formados entre la variable vigor vegetativo [moderado VV (313-482) (A) y superior VV (483-2145) (B)] en experimentos realizados en Chapadão de Sul, MS. *P<0,05 y **P<0,01 significativos por la prueba de comparación múltiple de Tukey. (n = 20).

La posición vertical en ausencia de *A. brasilense* promueve los valores más altos en las variables altura de los brotes (un aumento de 17%) y vigor vegetativo (un aumento de 61%). Sin embargo, la posición horizontal en presencia de *A. brasilense* estimula el número de folíolos (un aumento de 20%).

La evaluación del vigor vegetativo fue la variable más precisa para establecer las diferencias entre los tratamientos que no se observaron de manera aislada mediante los análisis ANOVA. Dado que la yuca es un cultivo que alimenta a muchas personas diariamente, los resultados obtenidos muestran una mejor eficiencia de crecimiento promovida por la posición vertical de la planta, representando así una excelente opción de manejo para la agricultura.

REFERENCIAS

- Allem AC. 2002. The Origins and Taxonomy of Cassava. In: Hillocks, R. J. and Tresh, J. C. (eds), Cassava: Biology, Production, and Utilization. CAB International, Wallingford, UK. 1-16. 10.1079/9780851995243.0000
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. 2014. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Balota EL, Lopes ES, Hungria M, Döbereiner J. 1997. Inoculação de bactérias diazotróficas e fungos micorrízico-arbusculares na cultura da mandioca. Pesquisa Agropecuária Brasileira 32(6), 627-639.
- Bhering LL. 2017. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. Crop Breeding and Applied Biotechnology 17(2): 187-190. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>
- Cerqueira FB, Faria AJG, Santos PF, Carneiro JJS, de Freitas JA, Ribeiro FC. 2016. Desenvolvimento inicial da mandioca 'cacau' sob diferentes posições da maniva. Tecnologia & Ciência Agropecuária 10(5): 16-21.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). 2020. Análise mensal, Mandioca, junho de 2020. Companhia Nacional De Abastecimento. Recuperado el 30 de Agosto del 2020, de <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca> (accessed 30 August 2020).
- Díaz-Zorita M, Fernández-Canigia MV. 2009. Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. European Journal of Soil Biology 45(1):3-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.07.001>
- El Zembrany H, Czarnes S, Hallett PD, Alamercury S, Bally R, Jocteur Monrozier L. 2007. Early changes in root characteristics of maize (*Zea mays*) following seed inoculation with the PGPR *Azospirillum lipoferum* CRT1. Plant and Soil 291: 109-118. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-006-9178-0>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2019. Production crops. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado el 20 de enero del 2020, de: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Ferreira RS, Silva NS, Lima CP, Silva NM, Silva JG, Farias LA, Lopes EP. 2018. Diversidade de bactérias endofíticas associadas à Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Revista Craibeiras de Agroecologia 3 (1), e6707.
- Gabriel Filho A, Strohhaecker L, Fey E. 2003. Profundidade e espaçamento da mandioca no plantio direto na palha. Ciência Rural 33(3): 461-467. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000300011>.
- Kolmogorov AT. 1933. Basic Concepts of Probability Theory. Berlin: Julius Springer. 62.
- Lopes EAP, Silva ADA, Mergulhão ACES, Silva EVN, Santiago AD, Figueiredo MVB. 2019. Co-inoculation of growth promoting bacteria and *Glomus clarum* in micropropagated cassava plants. Revista Caatinga 32(1): 152-166. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n116rc>.
- Nascimento JML, Santos MRB, Queiroz MAA, Yano-Melo AM. 2014. Desenvolvimento vegetativo e associação micorrízica em plantas de mandioca adubadas com resíduo agroindustrial. Semina: Ciências Agrárias 35(2): 727-734. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n2p727>
- Oliveira NT, Uchôa SCP, Alves JMA, Albuquerque JAA, Rodrigues GS. 2017. Effect of harvest time and nitrogen doses on cassava root yield and quality. Revista Brasileira de Ciência do Solo 41: e0150204. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20150204>.
- Olsen KM. 2004. SNPs, SSRs, and inferences on cassava's origin. Plant Molecular Biology 56: 517-526. <http://dx.doi.org/10.1007/s11103-004-5043-9>.
- Ospina PB, Garcia GML, Alcalde TCA. 2002. Sistemas mecanizados de siembra y cosecha para el cultivo de

- la yuca. *In*: Ospina PB, Ceballos H. (eds), La yuca del tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca, Proyecto IP-3 Mejoramiento de Yuca. pp: 326-340.
- Otsubo AA, Brito OR, Mercante FM, Otsubo VHN, Gonçalves, MA, Telles TS. 2009. Desempenho de cultivares elites de mandioca industrial em área de cerrado do Mato Grosso do Sul. *Semina: Ciências Agrárias* 30 (suplemento 1), 1155-1162.
- Pacheco RIL, Macias MP, Campos FCF, Izquierdo AJR, Izquierdo GAR. 2020. Agronomic and physiological evaluation of eight cassava clones under water deficit conditions. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 73(1): 9109-9119. <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.75402>.
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho MG, Almeida JA, Araújo-Filho J, Oliveira JB, Cunha T. 2018. Brazilian Soil Classification System, 5th ed. Rio de Janeiro: Embrapa. 303p.
- Santos, N. S., Alves, J. M. A., Uchôa, S. C. P., Oliveira, N. T., and Albuquerque, J. A. A. 2014. Absorption of macronutrients by cassava in different harvest dates and dosages of nitrogen. *Revista Ciência Agronômica* 45(4): 633-640. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902014000400001>.
- Soares MRS, Neto ACA, José ARS, Lima RS, Moreira ES, Prado TR, Silva RA, Moreira GLP. 2016. Effect of weeds on yield loss of cassava plants in response to NPK fertilization. *African Journal of Agricultural Research* 11(5): 356-370. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2015.10551>.
- Viana AES, Sedyama T, Lopes SC, Sedyama CS, Rocha VS. 2000. Effects of length in stem cutting and its planting position on cassava yield. *Acta Scientiarum* 22(4), 1011-1015.
- Vieira EA, Fialho JF, Silva MS. 2007. Desempenho de variedades de mandioca de mesa no Distrito Federal. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 180. 16 p.