

# Influence of *Rhizophagus intraradices* in interaction with dose of fertilization in the growth of *Brachiaria decumbens* Stapf

## Influencia de *Rhizophagus intraradices* en el crecimiento de *Brachiaria decumbens* Stapf en interacción con dosis de fertilización

Aguirre-Medina, Juan F.<sup>1</sup>, Hidalgo-Bartolón Elmar Y.<sup>1</sup>; Martínez-Tinajero, Jaime J.<sup>1</sup>; Velasco-Zebadúa, María E.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas Campus IV. Carretera Costera Entronque Estación Huehuetán, Huehuetán, Chiapas, México. CP 30660. <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Campus II, Rancho San Francisco, Km 8.0 carretera Terán a Ejido Emiliano Zapata. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

\*Autor de correspondencia: mvelascoz@yahoo.com.mx

### ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the growth of *Brachiaria decumbens* Stapf by allocation dry matter in its different yield components and the N and P content in the plant tissue by biofertilizing the seed with *Rhizophagus intraradices* and applying inorganic fertilization doses.

**Design/methodology/approximation:** The interaction between *R. intraradices* and different doses of fertilization on the growth of *B. decumbens* Stapf was evaluated, in a regosol soil. Six treatments were evaluated in four replicates in randomized blocks design. Four destructive samplings were carried out every 28 d and physiological performance variables were evaluated, in addition to the content of N and P in the plant tissue at the end of the study.

**Results:** It was found that the initial growth of the *B. decumbens* Stapf grass assigns more photosynthates for root and leaf blade and this effect is increased with the biofertilization of *R. intraradices*. In the last two samples, the biofertilized treatments plus the application of the chemical fertilization doses increased their biomass on average 20% more in relation to the control and similar to the highest fertilization dose.

The content of N increases with the biofertilization of *R. intraradices* in combination with the fertilization doses and the P decreases when the endomycorrhizal fungus is combined with the fertilization doses.

**Limitation of the study/implications:** The endomycorrhizal fungus must contain at least 40 spores.g of soil and be applied to the sowing.

**Findings/conclusions:** The allocation of biomass to the different components of the yield increased with the interaction between *R. intraradices* and the low and intermediate dose of chemical fertilization. The content of N was higher with *R. intraradices* with and without the application of fertilization doses, but was lower when applying the high dose of chemical fertilizer. The P increased with the biofertilization of *R. intraradices* and decreased in interaction with the different doses of chemical fertilization.

**Key words:** Endomycorrhiza, chontalpo grass, biomass, Nitrogen and Phosphorus

## RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar el crecimiento de *Brachiaria decumbens* Stapf mediante la asignación de biomasa en sus componentes del rendimiento y el contenido de N y P en tejido vegetal al biofertilizar la semilla con *Rhizophagus intraradices* y aplicar dosis de fertilización inorgánica.

**Diseño/metodología/aproximación:** Se evaluó la interacción entre *R. intraradices* y dosis de fertilización en el crecimiento de *B. decumbens* Stapf en un suelo regosol, con seis tratamientos y cuatro repeticiones en diseño bloques al azar. Se realizaron cuatro muestreos destructivos cada 28 d para determinar biomasa, y al final contenido de N y P.

**Resultados.** El crecimiento inicial de *B. decumbens* Stapf asignó más fotosintatos para raíz y lámina foliar, y su efecto aumenta con *R. intraradices*. En los dos últimos muestreos, *R. intraradices* más la aplicación de la fertilización incrementaron 20% su biomasa en promedio con relación al testigo y fue semejante a la fertilización más alta. *R. intraradices* incrementa el N en combinación con la fertilización y el P disminuye.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** El hongo endomicorrízico debe contener al menos 40 esporas  $g^{-1}$  de suelo y ser aplicado a la siembra.

**Hallazgos/conclusiones:** La biomasa en los componentes del rendimiento incrementó con la interacción entre *R. intraradices* y la dosis baja e intermedia de fertilización. El N fue superior con *R. intraradices* con y sin la aplicación de la fertilización, pero fue menor con la dosis alta de fertilizante. El P incrementó con *R. intraradices* y disminuyó en interacción con las dosis de fertilización.

**Palabras clave:** Endomicorriza, pasto chontalpo, biomasa, Nitrógeno y fósforo.

2000). La simbiosis micorrízica es considerada una de las más antiguas (Wang y Qiu, 2006) y la más común en la tierra; está presente en casi todos los ecosistemas (Strack *et al.*, 2003). Viven en la porción de suelo influenciado por las raíces y estimulan el crecimiento de las plantas e inducen efectos positivos en su desarrollo y supervivencia (Artursson *et al.*, 2006).

En las regiones tropicales, la mayoría de los pastos poseen alta dependencia micorrízica (Howeler *et al.*, 1987) y en simbiosis con la planta hospedante, estimulan su crecimiento, especialmente en suelos de baja y moderada fertilidad (Medina y Azcón, 2010).

*B. decumbens* presentó alto porcentaje de colonización radical e incremento de biomasa al asociarse con hongos endomicorrízicos provenientes de sistemas agroforestales (Prieto-Benavides *et al.*, 2011). En *B. brizantha* (Hochst. ex A. Rich) cv insurgente se demostraron los beneficios del mutualismo facultativo para el crecimiento de esta especie forrajera con diferentes hongos endomicorrízicos y *Pseudomonas* spp. (Lozano-Contreras *et al.*, 2013). Autores como González *et al.* (2007) resaltan la importancia de las micorrizas nativas, para mejorar su efectividad de las asociaciones micorrízicas en los agroecosistemas de pastizales.

La simbiosis permite que el crecimiento del micelio del hongo endomicorrízico se conforme como una extensión de la raíz que explora más volumen del suelo y transporta especialmente P y agua a la planta hospedante. Así, se han disminuido dosis de fertilización inorgánica en diversos cultivos anuales

## INTRODUCCIÓN

**El pasto** *Brachiaria decumbens* Stapf (Poaceae) se adapta a las condiciones de la región sureste de México (Pérez y Meléndez, 1980), y en Chiapas, México, existen grandes extensiones con características ambientales aptas para su establecimiento.

Tradicionalmente, el establecimiento y mantenimiento nutrimental de los pastos ha sido mediante la fertilización inorgánica. Sin embargo, en la actualidad se ha incrementado el interés por algunos mecanismos de acción que realizan los microorganismos de la rizosfera en favor de la nutrición de la planta hospedante.

Los microorganismos de la rizosfera constituyen un componente vital de los sistemas sostenibles. Crean un ambiente ecológicamente aceptable, además de favorecer la posibilidad de disminuir las cantidades de fertilizantes químicos, y a la vez, mejorar y hacer más eficientes, los nutrimentos disponibles en cada hábitat.

En este contexto, los hongos endomicorrízicos han sido un importante soporte en el sistema radical para la evolución de las plantas (Redecker *et al.*,

sin detrimento del rendimiento (Aguirre-Medina, 2006). Con estos antecedentes se evaluó el crecimiento de *Brachiaria decumbens* Stapf mediante la asignación de materia seca en sus diferentes componentes del rendimiento y el contenido de N y P en el tejido vegetal, comparando la inoculación con *Rhizophagus intraradices* y fertilización inorgánica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el invernadero de La Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chiapas (15° 00" y 15° 30" de N y 94° 30" y 94° O a una altitud de 35 m). El clima es cálido-húmedo con lluvias en verano y temperatura mínima de 20.9 °C, medias de 27.5 °C y máxima de 35.9 °C, con precipitaciones de 2,000 a 3,000 mm anuales (García, 1973).

El suelo se obtuvo a una profundidad de 0 a 25 cm en la comunidad El Triunfo, de Escuintla Chiapas (92° 33' O y 15° 19' N). Pertenece al grupo de los Regosoles (INEGI, 2005), y del mismo lugar se obtuvieron los esquejes de *B. decumbens* Stapf.

El sustrato de evaluación se conformó con una mezcla de suelo tamizado y arena de río lavada 1:1 (v/v) y el análisis físico-químico del sustrato indica: Arena: 80.76%, Limo: 13.35%, Arcilla: 5.88%, Textura: arena migajonosa (Hidrómetro de Bouyucos), 2.63% de materia orgánica (Walkley-Black), 0.13% de N (Micro-Kjeldhal), 14.12 mg kg<sup>-1</sup> de P (Colorimetría) 64.20 mg kg<sup>-1</sup> de K<sup>++</sup> (Espectrofotometría atómica), 102.50 mg kg<sup>-1</sup> de Na<sup>++</sup>, 58 mg kg<sup>-1</sup> de Mg<sup>++</sup>, 474 mg kg<sup>-1</sup> de Ca<sup>++</sup>, CIC Meq/100g: 3.47, pH: 5.78, 0.05 ds/m CE (Conductímetro).

Con el sustrato se llenaron bolsas de plástico (25×35) con capacidad de 6.0 kg, previamente perforadas en la parte inferior para favorecer el drenaje. Las bolsas se colocaron en bancales de madera para evitar contacto con el suelo. El inóculo fue a partir de micorriza elaborado con *Rhizophagus intraradices* por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y contiene 40 esporas por gramo de suelo más micelio y raicillas como fuente de inóculo (Datos incluidos en el producto).

Los esquejes se sembraron en cada maceta de acuerdo a su tratamiento. En el caso de los tratamientos que incluían *R. intraradices*, se agregaron 4.8 g del producto en el fondo del hoyo de siembra, momentos antes del trasplante del esqueje. Los fertilizantes químicos, N y P,

en las dosis correspondientes, se aplicaron una semana después de haber realizado el trasplante de los esquejes. Los tratamientos que se evaluaron fueron seis: Testigo, *R. intraradices*, *R. intraradices*+30<sub>N</sub>-15<sub>P</sub>, *R. intraradices*+60<sub>N</sub>-30<sub>P</sub>, *R. intraradices*+100<sub>N</sub>-50<sub>P</sub> y Testigo fertilizado 100<sub>N</sub>-50<sub>P</sub>. Los tratamientos fueron distribuidos en diseño bloques al azar con cuatro macetas como repeticiones. Además, se realizaron muestreos destructivos a los 28, 56, 84 y 112 días después de la siembra (dds) y en el muestreo final, se determinó el contenido de N y P en el tejido vegetal.

La biomasa seca de las estructuras, raíz, tallo, lámina foliar y vaina de la hoja, se obtuvo mediante la separación manual de las estructuras, y las mismas, se deshidrataron en estufa de aire forzado por 72 h a 75 °C. El peso de la estructura deshidratada se registró (g) en balanza semianalítica (Ohaus). En el caso de la biomasa radical fue separada de la parte aérea y después de remover la mayor cantidad de suelo, fue lavada con agua corriente. Para determinar el área foliar, una vez separada del tallo y la vaina de la hoja, se midió en cm<sup>2</sup> con un integrador (LI-COR, LI 3100) el mismo día de cada muestreo. El contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P) se realizó en el laboratorio de suelos, agua y planta de la Facultad de Ciencias Agrícolas C-IV. El nitrógeno (N) por el método Microkjeldahl y el fósforo (P) por el método de Olsen/Espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific Modelo 400 1/4). Los resultados de la investigación se analizaron con el programa (SAS) versión 9.1 y las diferencias entre medias de tratamientos mediante Tukey (P≤0.05).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La biomasa seca de la raíz del pasto insurgente presenta variaciones entre los tratamientos durante los cuatro muestreos (Cuadro 1). A los 28 dds se incrementó el sistema radical conforme se aumentó la dosis de fertilización. El menor crecimiento radical se presentó con el testigo. La disminución de la biomasa radical parece que es sustituida por la hifa del hongo (Azcón-G de Aguilar y Barea, 1980).

Los fertilizantes, como el fósforo incrementan el crecimiento de la raíz, así mismo el nitrógeno induce mayor crecimiento en el pasto. El segundo muestreo a los 56 dds, mostró la producción más alta de biomasa radical con el tratamiento únicamente fertilizado. Los muestreos realizados a los 84 y 112 dds presentaron valores estadísticamente más alto con *R. intraradices* más la dosis 100<sub>N</sub>-50<sub>P</sub>. En cambio, en frijol (*Phaseolus vulgaris*

**Cuadro 1.** Comparaciones de medias de biomasa seca de *B. decumbens* Stapf biofertilizado con *R. intraradices* y diferentes dosis de fertilizante inorgánico.

Tiempo (días)	Tratamientos	Biomasa (g planta <sup>-1</sup> )				
		Raíz	Tallo	Lámina foliar	Vaina de la hoja	Área foliar (cm <sup>2</sup> )
28	Testigo	0,20 c*	0,05 d	0,21 c	0,12 c	119 d
	<i>R. intraradices</i>	0,34 a	0,13 a	0,43 a	0,24 a	239 a
	<i>R. intraradices</i> +30 <sub>N</sub> -15 <sub>P</sub>	0,27 b	0,08 bc	0,32 b	0,16 b	158 b
	<i>R. intraradices</i> +60 <sub>N</sub> -30 <sub>P</sub>	0,26 b	0,06 cd	0,25 bc	0,13 c	130 c
	<i>R. intraradices</i> +100 <sub>N</sub> -50 <sub>P</sub>	0,35 a	0,08 bc	0,29 bc	0,16 b	160 bc
	100 <sub>N</sub> -50 <sub>P</sub>	0,36 a	0,09 b	0,33 b	0,13 c	126 bc
	% de CV**	4,9	11,0	11,1	7,1	
56	Testigo	2,39 cd	4,03 de	4,47 c	2,57 cd	1500 d
	<i>R. intraradices</i>	4,36 b	5,40 c	6,06 b	3,22 c	1803 c
	<i>R. intraradices</i> +30 <sub>N</sub> -15 <sub>P</sub>	1,66 d	3,69 e	4,71 c	2,43 d	1674 cd
	<i>R. intraradices</i> +60 <sub>N</sub> -30 <sub>P</sub>	3,17 c	6,49 b	7,92 a	4,07 b	2342 b
	<i>R. intraradices</i> +100 <sub>N</sub> -50 <sub>P</sub>	1,63 d	4,68 cd	4,87 c	2,36 d	1685 cd
	100 <sub>N</sub> -50 <sub>P</sub>	9,08 a	9,31 a	8,73 a	4,85 a	2876 a
	% de CV	12,9	8,4	7,3	9,7	
84	Testigo	10,78 e	28,5 b	15,2 b	8,55 bc	3420 cd
	<i>R. intraradices</i>	17,23 b	24,3 c	16,3 b	8,30 c	3170 d
	<i>R. intraradices</i> +30 <sub>N</sub> -15 <sub>P</sub>	13,93 cd	31,6 a	26,1 a	10,90 a	4405 a
	<i>R. intraradices</i> +60 <sub>N</sub> -30 <sub>P</sub>	15,45 c	33,8 a	26,9 a	9,93 ab	3910 b
	<i>R. intraradices</i> +100 <sub>N</sub> -50 <sub>P</sub>	21,05 a	27,3 b	16,1 b	9,49 abc	3636 bc
	100 <sub>N</sub> -50 <sub>P</sub>	21,75 d	23,4 c	15,7 b	8,30 c	3241 d
	% de CV	5,0	4,2	7,3	7,3	
112	Testigo	16,68 c	24,5 c	13,8 e	10,4 ab	3011 c
	<i>R. intraradices</i>	16,88 c	28,2 bc	18,7 c	9,8 b	3267 c
	<i>R. intraradices</i> +30 <sub>N</sub> -15 <sub>P</sub>	14,90 cd	33,8 a	23,7 a	11,1 ab	4622 a
	<i>R. intraradices</i> +60 <sub>N</sub> -30 <sub>P</sub>	18,93 b	30,3 ab	21,0 b	9,9 b	3060 c
	<i>R. intraradices</i> +100 <sub>N</sub> -50 <sub>P</sub>	22,50 a	25,1 c	16,5 d	11,6 a	4562 a
	100 <sub>N</sub> -50 <sub>P</sub>	14,40 cd	30,6 ab	23,1 a	12,0 a	3621 b
	% de CV	5,2	3,8	4,0	6,7	

\* Valores con la misma letra dentro de cada factor y columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P≤0.05. \*\*CV: Coeficiente de Variación.

L.) biofertilizado con *R. intraradices* se promovió mayor crecimiento de la planta y rendimiento de grano en interacción con las dosis bajas de fósforo (Aguirre-Medina *et al.*, 2017).

La biomasa del tallo a los 28 dds fue mayor con *R. intraradices* y estadísticamente diferente al resto de los tratamientos; sin embargo, a los 56 dds, el crecimiento aumentó con la dosis 100<sub>N</sub>-50<sub>P</sub>.

De los 84 a los 112 dds los tratamientos combinados con *R. intraradices* más las dosis 30<sub>N</sub>-15<sub>P</sub> expresó mayor incremento en la biomasa del tallo y el mismo fue

estadísticamente superior al resto de los tratamientos. En otros cultivos perennes como *Coffea arabica* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose, se registraron resultados semejantes, es decir, mayor crecimiento del tallo con la biofertilización de *A. brasilense* y *R. intraradices*, solos y combinados (Aguirre-Medina *et al.*, 2011; Aguirre-Medina *et al.*, 2014). La expresión anterior puede deberse a diversos beneficios que se han asociado a la simbiosis de los hongos endomicorrízicos, tanto en la absorción de agua como el transporte de nutrientes, que permite destinar menor cantidad de carbohidratos, producto de la fotosíntesis a la elaboración y mantenimiento del sistema radical, con el consiguiente

beneficio para el crecimiento aéreo de las plantas (Pereira et al., 2001).

La asignación de materia seca a la lámina foliar entre tratamientos presenta dinámica de crecimiento semejante al tallo, es decir, al inicio, se incrementó con la biofertilización sola de *R. intraradices* y en el segundo muestreo lo fue con la aplicación sola de la dosis 100<sub>N</sub>-50<sub>P</sub>. En cambio, en los muestreos a los 84 y 112 dds la mayor biomasa del tallo se obtuvo cuando se combinó la biofertilización de *R. intraradices* con la dosis 30<sub>N</sub>-15<sub>P</sub> y 60<sub>N</sub>-30<sub>P</sub>. En *Annona cherimola* Mill. con la aplicación de hongos micorrizicos y fertilizante foliar orgánico, se incrementó la producción de follaje en 56% 112 d después del trasplante, en comparación con el testigo (Manjarrez-Martínez et al., 2005).

La lámina de la hoja presenta el mismo comportamiento que el tallo y la lámina foliar durante los primeros tres muestreos. En el último a los 112 dds, la lámina de la hoja registró mayor peso con los tratamientos más altos y bajos de fertilización química con y sin *R. intraradices*.

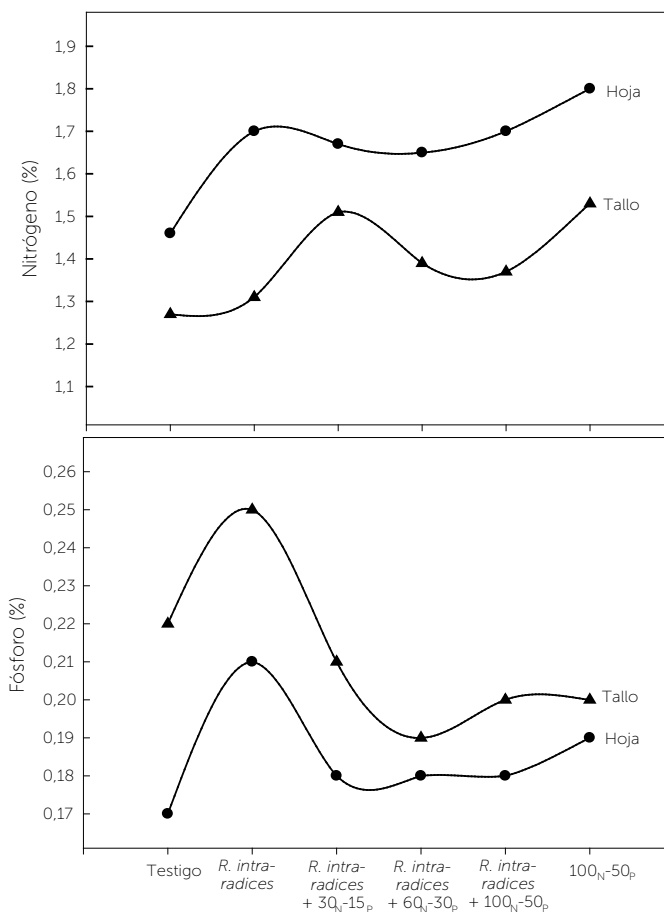
En *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich) y *Clitoria ternatea* L la asignación de materia seca a tallo y lámina de la hoja tuvo respuesta diferente con los microorganismos *R. intraradices* y *A. brasilense* aplicados a la semilla (Zamora-Olivo et al., 2011), y en el presente caso, el área foliar se incrementó con *R. intraradices* y fue estadísticamente superior al resto de los tratamientos a los 28 dds. En los muestreos siguientes, a los 56, 84 y 112 dds, los tratamientos con mayor área foliar fueron los biofertilizados con *R. intraradices* y en combinación con la dosis baja 30<sub>N</sub>-15<sub>P</sub> y alta de 100<sub>N</sub>-50<sub>P</sub>.

Los beneficios de la simbiosis micorrizica en inducir mayor área foliar en la planta hospedante se han encontrado en especies forestales, tales como *Tabebuia donnell-smithii* Rose (Aguirre-Medina et al., 2014), *Eucalyptus camaldulensis* Dehnn (Pereira et al., 2001) y *Cedrela odorata* L. (Aguirre-Medina et al., 2014).

El Contenido de Nitrógeno en la hoja y el tallo de *B. decumbens* incrementó cuando el pasto fue biofertilizado con *R. intraradices* en comparación con el testigo (Figura 1). El mayor incremento se presentó con la dosis más alta de fertilizante químico. Muchos estudios han demostrado que las plantas micorrizadas absorben nitrógeno del suelo más eficientemente que las no colonizadas (Ngwene et al., 2010). En *Coffea arabica* L el con-

tenido de nitrógeno en el vástago se incrementó con *R. intraradices*+*A. brasilense* (Aguirre-Medina et al., 2011).

El contenido de fósforo presenta los valores más altos cuando se aplica solo el hongo endomicorrizico a *B. decumbens*. Diversos estudios demuestran que las plantas micorrizadas absorben P del suelo de manera más eficiente que las plantas no colonizadas (Andrade et al., 2009) mediante las hifas fúngicas que tienen mayor afinidad por el ion fosfato cuando su concentración es baja en la solución (Tajini y Drevon, 2012). En sistemas de producción de bajos insumos la actividad de la micorriza es más efectiva (Grant et al., 2005), con énfasis en suelos de baja fertilidad (Mudge, 2003). También se han documentado evidencias de mayor contenido de fósforo en la planta hospedante en diversos cultivos, como *Cedrela odorata* L. (Aguirre-Medina et al., 2014), *Theobroma cacao* L. (Aguirre-Medina et al., 2007), *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner (Ibarra-Puón et al., 2014).



**Figura 1.** Variación en el contenido de nitrógeno y fósforo en hoja y tallo del *B. decumbens* Stapf. biofertilizado con *R. intraradices* y diferentes dosis de fertilización. Los valores son promedios de cuatro repeticiones.

## CONCLUSIONES

La asignación de biomasa seca a los diferentes componentes del rendimiento se incrementó con la interacción entre *R. intraradices* y la dosis más baja e intermedia de fertilización química. El contenido de N fue superior con *R. intraradices* con y sin la aplicación de las dosis de fertilización, pero fue menor cuando se aplicó la dosis más alta de fertilizante inorgánico. El P en el tejido vegetal del pasto se incrementó con la biofertilización de *R. intraradices* y disminuyó en interacción con las diferentes dosis de fertilización química.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre-Medina, J. F. (2006). Biofertilizantes microbianos: Experiencias agronómicas del programa nacional del INIFAP en México. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3633>
- Aguirre-Medina, J. F., Mendoza-López, A., Cadena-Iñiguez, J. & Avendaño-Arrazate, C. H. (2007). La biofertilización del cacao (*Theobroma cacao* L) en vivero con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia*, 32(8), 1-6. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932808>
- Aguirre-Medina, J. F., Moroyoqui-Ovilla, D. M., Mendoza López, A., Cadena-Iñiguez, J., Avendaño-Arrazate, C. H., & Aguirre-Cadena, J. F. (2011). Aplicación de A. brasilense y G. intraradices a *Coffea arabica* en vivero. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 1-10. Retrieved from [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v22n01\\_071.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v22n01_071.pdf)
- Aguirre Medina, J.F., Culebro Cifuentes, F., Cadena Iñiguez J. & Aguirre Cadena, J. F. (2014). Crecimiento de *Tabebuia donnell-smithii* (Rose) inoculada con hongos micorrizicos y *Azospirillum brasilense*. *Agrociencia*. 48 (3),331-345. <http://www.colpos.mx/agrocien/agrociencia.htm>
- Aguirre-Medina, J. F., Mina-Briones, F., Cadena-Iñiguez, O. J., Dardón-Zunun, J. D., & Hernández-Sedas, D. A. (2014). Crecimiento de *Cedrela odorata* L. biofertilizada con *Rhizophagus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(3), 177-186. doi: 10.5154/r.rchscfa.2014.01.001
- Aguirre-Medina, J. F., Aguirre-Cadena, J.F., Cadena-Iñiguez, J., Arévalo-Galarza, M. de L., Rosas-Quijano, R. & Galvez-Lopez, D. (2017). Influence of *Rhizophagus intraradices* and phosphorus fertilization on growth, yield and N P content in grain of *Phaseolus vulgaris*. *Legume research*, 40(4):735-740. doi: 10.18805/lr.v0i0.8413.
- Aguirre-Medina, J.F., Gálvez-López, A.L., & Ibarra-Puón, J.C. (2018). Growth of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit biofertilized with arbuscular mycorrhizal fungi in the nursery. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(1): 49-58. doi: 10.5154/r.rchscfa.2017.07.043
- Andrade, S. A. L., Mazzafera, P., Schiavinato, M. A. & Silveira, A. P. D. (2009). Arbuscular mycorrhizal association in coffee. *Journal of Agricultural Science*, 147(2): 105-115.
- Artursson, V., Finlay, R. D. & Jansson, J. K. (2006). Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. *Environmental Microbiology*, 8(1), 1-10.
- Azcón-G. de Aguilar, C. & Barea, J.M. (1980). Micorrizas. *Investigación y Ciencia*, 47, 8-16.
- García, A. E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlas a las condiciones de la república mexicana (3a ed.). México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- González, P. J., Fernández, D., Plana R. & Crespo G. (2007). Efectos del antecedente cultural en las micorrizas nativas y la productividad del pasto brachiaria (*Brachiaria decumbens* cv. Señal). *Pastos y Forrajes*, 30 (1): 143-151.
- Grant, C., Bittman, S. M., Montreal, C. Plenchette y C. Morel. (2005). Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. *Canadian Journal of Plant Science*, 85(1), 3-14.
- Howeler, R.H., Sieverding, E. & Saif, S.R. (1987). Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. *Plant and Soil*. 100 (1-3), 249-283. doi.org/10.1007/BF02370945
- Ibarra-Puón, J. C., Aguirre-Medina, J. F., Ley-De Coss, A., Cadena-Iñiguez, J., & Zavala-Mata, A. (2014). Inoculación de *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner con *Rhizophagus intraradices* (Schenck et Sm.) Walker et Schuessler y *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner en vivero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(2), 201-213. doi: 10.5154/r.rchsh.2013.09.027.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2005). Marco geoestadístico municipal, versión 3.1. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Retrieved from <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21158.pdf>
- Lozano-Contreras, M.G., Rivas-Pantoja, F. & Castillo-Huchim, J. E. (2013). Crecimiento de plántulas de *Brachiaria brizantha* en respuesta a la aplicación de hongos micorrizógenos y bacterias diazotróficas. *Pastos y Forrajes*, 36 (2): 227-232
- Medina, A. & Azcón R. (2010). Effectiveness of the application of arbuscular mycorrhizal fungi and organic amendments to improve soil quality and plant performance under stress conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3),354-372.
- Manjarrez-Martínez, M. J., Alarcón, A. & Ferrera-Cerrato, R. (2005). Fertilización foliar en plantas de *Annona cherimola* Mill. inoculadas con hongos micorrizicos arbusculares. *Terra*, 23(4), 553-562.
- Mudge, S. R., Smith, F. W. & Richardson, A. E. (2003). Root-specific and phosphate-regulated expression of phytase under the control of a phosphate transporter promoter enables Arabidopsis to grow on phytate as a sole P source. *Plant Science*, 165 (4):871-878.
- Ngwene B., George E., Claussen W. & Neumann E. (2010). Phosphorus uptake by cowpea plants from sparingly available or soluble sources as affected by N-form and arbuscular-mycorrhizal fungal inoculation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173, 353-359
- Pereira, G., Sánchez, M., Ríos, D. & Miguel, A.H. (2001). Micorrizas vesículo arbusculares y su incidencia en el crecimiento de plántulas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnn. *Bosque*, 22(2), 39-44.

- Pérez, P. J. & Meléndez N. F. (1980). Efecto de carga animal en la producción de pastos estrella africana fertilizado bajo condiciones de la Sierra de Tabasco. *Agricultura Tropical*, 2 (2), 152-159
- Prieto Benavides, O., Belezaca Pinargote, C., Mora Silva, W., Vallejo Zambrano, E., Gutiérrez Lara, V. y Pinargote Mendoza, E. (2011). Inoculación de *Brachiaria decumbens* con hongos formadores de micorriza arbuscular nativos del trópico húmedo Ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología*, 4(2): 9-18
- Redecker, D., Kodner, R. & Graham, L.E. (2000). Glomalean fungi from the Ordovician. *Science*, 289,1920-1921,
- Strack, D., Fester, T., Hause, B., Schliemann, W., & Walter, M. H. (2003). Arbuscular mycorrhiza: biological, chemical and molecular aspects. *Journal of Chemical Ecology*, 29(9), 1955–1979.
- SAS (Statistical Analysis System). (1999-2000). SAS/STAT user's Guide: version 8.1. Cary NC, USA. SAS Institute Inc.
- Tajini, F. & Drevon, J. J. (2012). Phosphorus use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as related to compatibility of association among arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia. *African Journal of Biotechnology*, 11(58):12173-12182.
- Wang B. & Qiu Y.-L. (2006) Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16, 299–363. doi. 10.1007/s00572-005-0033-6.
- Zamora Olivo, M. A., Aguirre Medina, J.F., Cano García. M. A. & Martínez-Tinajero, J.J. (2013). Productividad de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich) y *Clitoria ternatea* L. con biofertilizantes. *AGROproductividad*, 6 (6), 23-29. <http://www.colpos.mx/wb/index.php/agroproductividad#.VB9GcpR5N8E>

