

Potencial de *Bacillus* nativos de la Comarca Lagunera como biofertilizante en la producción de maíz forrajero

Nery Cecilia García-de la Paz¹
Miguel Ángel Gallegos-Robles^{1§}
Uriel González-Salas¹
Lucio Rodríguez-Sifuentes²
Sarai Shesareli Mendoza-Retana³
Roberto Sánchez-Lucio⁴

¹Facultad de Agricultura y Zootecnia-Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 32, Venecia, Gómez Palacio, Durango. CP. 35000. (nery.53752@ujed.mx; u.gonzalez@ujed.mx). ²Facultad de Ciencias Biológicas-Universidad Autónoma de Coahuila. Carretera Torreón-Matamoros km 7.5, ejido el Águila, Torreón, Coahuila, México. CP. 27275. (lucio.rodriguez@uadec.edu.mx). ³Universidad Politécnica Región Laguna. Domicilio conocido, ejido Santa Teresa, San Pedro, Coahuila. (shesa.2912@hotmail.com). ⁴Campo Experimental Santiago Ixcuintla-INIFAP. Entronque carretera internacional México-Nogales km 6, Santiago Ixcuintla, Nayarit. CP. 63300. (roberto.sanchez.lucio@yahoo.com.mx).

§Autor para correspondencia: garoma64@hotmail.com.

Resumen

La agricultura convencional se fundamenta en un sistema de producción dependiente de alto uso de insumos sintéticos y hoy enfrenta dificultades para mantener niveles aceptables en la producción agrícola debido al aumento de los costos y contaminación ambiental. Una alternativa sustentable es el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, siendo una alternativa potencial al usarlas como biofertilizantes. El objetivo del trabajo fue evaluar cepas de *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloquefaciens* nativas de la región lagunera, probando su potencial como biofertilizante en el cultivo de maíz forrajero y evaluando rendimiento de materia seca. En los tratamientos se aplicaron bacterias de manera individual, en combinación entre ellas y con 50% de la dosis de fertilizante químico recomendado, las variables evaluadas fueron: área foliar, peso de hojas, peso del elote, peso de la caña, diámetro del elote, largo del elote, rendimiento de materia seca, desplazamiento de volumen de raíz, peso fresco de raíz y peso seco de raíz. El rendimiento de materia seca en los tratamientos con *Bacillus* no resultaron con diferencia estadística significativa comparado con el testigo químico, pero los tratamientos con bacterias resultaron mejores numéricamente. De la misma manera, se observó un aumento en la masa radicular en estos tratamientos, por lo que se considera su uso como una alternativa viable para sustituir el fertilizante químico.

Palabras clave: BPCV, masa radicular, materia seca.

Recibido: mayo de 2022

Aceptado: julio de 2022

Introducción

El modelo de agricultura convencional se fundamenta en un sistema de producción dependiente de un alto uso de insumos sintéticos, donde predomina el monocultivo, que se justifica como herramienta fundamental para lograr mayor eficiencia en el proceso productivo; sin embargo, este sistema de producción ha mostrado serios problemas de sostenibilidad y ha ocasionado el deterioro de los suelos y el agua (Gómez *et al.*, 2018). Debido a la limitada disponibilidad de elementos nutritivos para la producción de cultivos se ha llegado a exceso en la aplicación de fertilizantes sintéticos, lo que a su vez ha generado deterioro de los suelos agrícolas (Pimentel *et al.*, 2005).

Una alternativa sustentable para esta problemática es el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) (Vejan *et al.*, 2016). Las interacciones de las BPCV con las plantas y microorganismos son muy complejas y utilizan diferentes mecanismos de acción para promover el crecimiento de las plantas, los cuales se agrupan en: 1) biofertilización; 2) fito-estimulación; y 3) biocontrol (Moreno *et al.*, 2018).

Las BPCV tienen efectos benéficos en las plantas por medio de mecanismos directos e indirectos o una combinación de ambos. Entre los mecanismos directos destacan: la fijación de nitrógeno (N), la síntesis de fitohormonas, vitaminas y enzimas, la solubilización de fósforo (P) inorgánico y la mineralización de fosfato orgánico, la oxidación de sulfuros, el incremento en la permeabilidad de la raíz, la producción de nitritos, la acumulación de nitratos, la reducción de la toxicidad por metales pesados y de la actividad de la enzima ACC desaminasa, la secreción de sideróforos, la reducción de los niveles de etileno en los suelos y el incremento de la permeabilidad de las raíces (Moreno *et al.*, 2018).

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) es muy utilizado en la alimentación del ganado vacuno destinado a la producción de carne y leche en países de América y Europa. Se considera el ‘rey de los ensilados’ debido al aporte en contenido de materia seca, azúcares solubles, almidón y capacidad buffer (Sánchez e Hidalgo, 2018). En la Comarca Lagunera de México, la producción de leche de bovino es la principal actividad agropecuaria y demanda una gran cantidad de forraje de calidad (García *et al.*, 2019). En el año 2020 se establecieron alrededor de 68 000 ha de maíz forrajero (*Zea mays* L.) y otra superficie semejante para producción de grano (SIAP, 2020). El objetivo del trabajo fue evaluar cepas de *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloquefaciens* nativas de la región lagunera, probando su potencial como biofertilizante en el cultivo de maíz forrajero, evaluando el rendimiento en seco y la masa radical.

Materiales y métodos

Durante los ciclos agrícolas de primavera de los años 2020 y 2021, se estableció el experimento en el campo agrícola experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED, el cual se localiza en el paralelo 25° 46' 50" de latitud norte y en el meridiano 103° 21 '02" de longitud oeste y a una altura de 1 110 msnm. Se utilizaron dos genotipos de maíz (G1: Híbrido Galáctico y G2: Variedad San Lorenzo), cuyas semillas fueron embebidas (Martínez *et al.*, 2020) en medio líquido que contenía cepas de *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloquefaciens*, las cuales fueron aisladas de maíz y sorgo en terrenos de la Comarca Lagunera e identificadas en el GenBank del National Center for Biotechnology Information (NCBI) por medio de la herramienta BLAST. Los tratamientos evaluados se detallan en el (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados.

Tratamiento	Fertilización
1	<i>B. subtilis</i> (BS)
2	<i>B. subtilis</i> + 50% fertilización química (BS50)
3	<i>B. amylocuefaciens</i> (BA)
4	<i>B. amylocuefaciens</i> + 50% fertilización química (BA50)
5	<i>B. subtilis</i> + <i>B. amylocuefaciens</i> (BS +BA)
6	Fertilización química 100% (220-180-00) (Q100)
7	Fertilización química 50% (110-90-00) (Q50)
8	Blanco (sin fertilizante) (B)

En el experimento se usaron cepas nativas de *Bacillus* aisladas en la región lagunera y en los tratamientos inoculados se usó una concentración de 1×10^7 (Bashan, 1998; Canto *et al.*, 2004; Lara *et al.*, 2013). Para los tratamientos que requirieron fertilización química, se utilizaron los fertilizantes comerciales map (11-52-00) y urea (46-00-00). La aplicación del fertilizante químico se realizó en dos partes, una al momento de la siembra y otra al inicio de la floración, en banda. Las semillas fueron depositadas a una distancia de 15 cm entre semillas y distancia de 75 cm entre surcos, para obtener una densidad de población de 88 888 plantas ha⁻¹.

Los ocho tratamientos fueron establecidos en parcelas experimentales de 2.7 m por 2.5 m de largo, en cuatro surcos y teniendo un promedio de 64 plantas por unidad experimental. Cada tratamiento se estableció con tres repeticiones y se tomó un metro lineal (siete plantas) para la toma de las variables. Se utilizó riego rodado, aplicando un riego de presiembra y tres más de auxilio para una lámina de riego de 60 cm (INIFAP, 2014).

El experimento se mantuvo en campo hasta los 115 días después de la siembra. Las variables vegetativas que se evaluaron fueron: área foliar (AF), peso de hojas (PH), peso del elote (PE), peso de la caña (PC), diámetro del elote (DE), largo del elote (LE), rendimiento de materia seca (RMS), desplazamiento de volumen de raíz (DVR), peso fresco de raíz (PFR) y peso seco de raíz (PSR). El análisis estadístico de los datos recolectados se llevó a cabo en el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.2), Los análisis realizados fueron análisis de varianza, comparación de medias por Tukey ($\alpha= 0.05$) y coeficientes de correlación de Pearson. Para el análisis se utilizaron las medias de los dos ciclos de cultivo.

Resultados y discusión

En el análisis de varianza, se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos para las variables desplazamiento de volumen de raíz (DVR), peso fresco de raíz (PFR) y peso seco de raíz (PSR). No se observaron diferencias significativas para el resto de las variables. En cuanto a los genotipos que se utilizaron, se observan diferencias altamente significativas en todas las variables evaluadas. Así mismo, las comparaciones de medias muestran que los tratamientos donde se aplicaron bacterias tuvieron resultados superiores numéricamente en todas las demás variables (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tabla de comparación de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$) para los distintos tratamientos.

Tratamientos	AF (cm ²)	PH	PE	PC	DE	LE
		(kg)			(cm)	
T1 BS	3 266.9 a	0.13 a	0.259 a	0.274 a	4.89 a	16.86 a
T2 BS50	3 393.7 a	0.128 a	0.272 a	0.28 a	4.87 a	17.13 a
T3 BA	3 104 a	0.129 a	0.322 a	0.27 a	4.88 a	16.62 a
T4 BA50	3 154.4 a	0.151 a	0.258 a	0.265 a	4.9 a	16.48 a
T5 BS + BA	3 388.1 a	0.152 a	0.247 a	0.248 a	4.79 a	16.52 a
T6 Q100	3 197.5 a	0.125 a	0.269 a	0.359 a	4.9 a	17.15 a
T7 Q50	3 108.8 a	0.123 a	0.249 a	0.312 a	4.86 a	16.49 a
T8 B	3 003.3 a	0.12 a	0.234 a	0.239 a	4.77 a	16.4 a
DMS	670.3	0.0532	0.0654	0.1374	0.3632	1.8171

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes. AF= área foliar; PH= peso de hojas; PE= peso del elote; PC= peso de caña; DE= diámetro del elote; LE= largo del elote; DMS= diferencia mínima significativa.

Cuadro 2. Tabla de comparación de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$) para los distintos tratamientos (continuación).

Tratamientos	RMS (kg)	DVR (ml)	PFR	PSR
			(g)	
T1 BS	22 994 a	158.33 a	133.67 a	73.33 a
T2 BS50	23 190 a	124.83 ab	128 ab	63 a
T3 BA	22 138 a	77.17 ab	68.33 ab	31.67 ab
T4 BA50	21 844 a	98.67 ab	86.33 ab	40.33 ab
T5 BS + BA	21 938 a	118.17 ab	102 ab	47.83 ab
T6 Q100	22 873 a	91 ab	102 ab	46.67 ab
T7 Q50	22 024 a	89.67 ab	93.67 ab	44.33 ab
T8 B	20 406 a	40.5 b	40.67 b	16.33 b
DMS	5 604.3	87.097	89.36	46.337

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes. RMS= rendimiento de materia seca; DVR= desplazamiento de volumen de raíz; PFR= peso fresco de raíz; PSR= peso seco de raíz; DMS= diferencia mínima significativa.

En el maíz, cuando las bacterias promotoras del crecimiento vegetal se asocian a raíces de plantas, ayudan en la producción y productividad del cultivo, actuando en el aumento de la parte aérea y sistema radicular (Domínguez *et al.*, 2020). Esta aseveración concuerda con los resultados mostrados en la investigación, ya que las variables vegetativas mostraron similitudes con aquellas correspondientes a los tratamientos químicos, lo cual confirma que la inoculación con PGPRs puede reducir la aplicación de fertilizante nitrogenado (Cheng *et al.*, 2011). El utilizar *Bacillus* como biofertilizante en combinación con la mitad de fertilizante nitrogenado permite el ahorro del último sin afectar el rendimiento del cultivo (Fangying *et al.*, 2021).

Rendimiento seco

La inoculación con PGPRs en gramíneas favorece la producción de materia seca en las raíces y parte aérea (Reis *et al.*, 2000). Inoculaciones de bacterias en el pasto Marandú han demostrado aumento en la producción de materia seca, señalando esta práctica como una alternativa sostenible para aumentar la producción de forraje (Oliveira *et al.*, 2007). Aun cuando los valores de rendimiento no resultaron con diferencia estadística, en la presente investigación se observa que el rendimiento seco de los tratamientos que incluyen *B. amyloquefaciens* es similar al del tratamiento químico, e incluso los de *B. subtilis* son superiores a este último.

Los biofertilizantes mezclados con fertilizantes químicos pueden ser una alternativa viable para mantener o incrementar el rendimiento, al mismo tiempo que se reduce el uso de fertilizantes químicos en los sistemas productivos agrícolas (González *et al.*, 2021), esto debido a que la inoculación con biofertilizante mejora las condiciones de crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz, principalmente en la raíz (Rentería *et al.*, 2018; Cantaro *et al.*, 2019).

Desplazamiento de volumen, peso fresco y seco de raíz

Los tratamientos T1 *B. subtilis* y T2 *B. subtilis* + 50 demostraron superioridad en las variables de raíz, al producir mayor masa. Sánchez *et al.* (2012) reportaron que en un experimento donde inocularon plantas de tomate con diversas bacterias, *Bacillus* mostró respuesta positiva en cuanto a la elongación de la raíz y al aumento del peso seco de la planta, siendo muy similar en relación con el testigo. Abraham *et al.* (2018), menciona que los pesos fresco y seco de la raíz tuvieron tendencia constante en los valores mayores y diferencias estadísticamente significativas al inocular el cultivo con cepas de *B. subtilis* en el cultivo de melón. La aplicación de biofertilizantes que incluyen *B. subtilis* mejoran el crecimiento de las raíces (Bo *et al.*, 2020; Fangying *et al.*, 2021). Lo anterior posiblemente debido a que un mayor crecimiento radicular representa una mayor superficie para la absorción de nutrientes en el suelo (Pilatuña, 2018), dándole a la planta la oportunidad de obtener más nutrientes.

Genotipos

En el Cuadro 3 se muestra la comparación de medias para los genotipos utilizados, en la cual destaca la variedad San Lorenzo en la mayoría de las variables.

Cuadro 3. Comparación de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$) para los genotipos utilizados.

Genotipo	AF	PH	PE	PC	DE	LE
San Lorenzo	3580.8 a	0.136 a	0.291 a	0.333 a	4.7 a	17.12 a
Galáctico	2823.4 b	0.129 a	0.225 a	0.229 b	4.6 a	16.29 b
DMS	213.59	0.017	0.025	0.043	0.115	0.579

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes. AF= área foliar; PH= peso de hojas; PE= peso del elote; PC= peso de caña, DE= diámetro del elote; LE= largo del elote; DMS= diferencia mínima significativa.

Cuadro 3. Comparación de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$) para los genotipos utilizados (continuación).

Genotipo	RMS	DVR	PFR	PSR
San Lorenzo	24 050.8 a	131.089 a	132.5 a	61.25 a
Galáctico	20 301.1 b	68.5 b	56.17 b	29.62 b
DMS	1 780	27.33	28.04	14.54

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes. RMS= rendimiento de materia seca; DVR= desplazamiento de volumen de raíz; PFR= peso fresco de raíz; PSR= peso seco de raíz; DMS= diferencia mínima significativa.

Puente *et al.* (2016) mencionan que cuando se utilizan distintos genotipos con biofertilizantes, alguno de ellos responde de manera más favorable. Esto concuerda con el presente trabajo, en donde la variedad San Lorenzo mostró valores mayores en la mayoría de las variables. De igual manera, Aguilar *et al.* (2015) en un experimento usando biofertilizantes en combinación de menores dosis de fertilizante químico nitrogenado, destacan que tuvieron incrementos significativos en rendimiento y materia seca, lo cual se atribuye al genotipo utilizado. En las gramíneas, los microorganismos presentes en la rizosfera varían entre especies e incluso entre genotipos de la misma especie, lo cual se atribuye principalmente a las variaciones propias de cada planta, por las características cualitativas y cuantitativas de los exudados radicales (Loredo *et al.*, 2004). En las correlaciones de Pearson (Cuadro 4) se muestran los coeficientes de correlación entre las variables, destacando las variables de raíz.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación de Pearson.

	AF	PC	PE	DE	LE	RMS	DVR	PFR	PSR
PH	0.01163	0.04875	0.12354	0.03002	-0.02568	-0.15652	-0.01467	-0.12634	-0.10572
AF		0.35795*	0.33838*	0.26216	0.60134**	0.64013**	0.44916**	0.47007**	0.4239**
PC			0.10066	0.10204*	0.43311	0.59546**	0.29556*	0.31477*	0.30483*
PE				0.28251	0.2227	0.20886	0.03372	-0.00051	-0.05064
DE					0.18599	0.47093**	-0.08864	-0.03319	-0.0146
LE						0.55977**	0.28395	0.33218*	0.28932*
RMS							0.35669**	0.43108**	0.38727**
DVR								0.90981**	0.92053**
PFR									0.95954**

Nivel de significación de Pearson: * = $0.05 > p > 0.01$; ** = $p > 0.01$; PH= peso de hojas; AF= área foliar; PE= peso del elote; DE= diámetro del elote; LE= largo del elote; RMS= rendimiento de materia seca; DVR= desplazamiento de volumen de raíz; PFR= peso fresco de raíz; PSR= peso seco de raíz.

Rendimiento seco

Se puede observar que existe una correlación altamente significativa del rendimiento seco con las variables de hoja (AF), peso de la caña (PC) y elote (DE y LE). Montemayor *et al.* (2006), indicaron que el incremento en la producción de materia seca se debe principalmente a la mayor altura de planta y peso de elote, lo cual muestra una correlación positiva entre las variables.

Área foliar

En cuanto al área foliar (AF), Li *et al.* (2020) mencionan que cuando se aumenta la intercepción de la radiación fotosintética activa por el dosel, se promueve la acumulación de materia seca de manera general, lo cual podría explicar las correlaciones positivas y altamente significativas de esta variable con todas las demás evaluadas. Desde el punto de vista del factor de estudio que son las BPCV, el crecimiento radical estimulado por los tratamientos donde se aplicaron las bacterias pudo haber propiciado mayor absorción de nutrientes y agua. De acuerdo con Campillo *et al.* (2012) la productividad de un cultivo depende de la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación incidente, que es función del área foliar disponible, la arquitectura de la cubierta vegetal y la eficiencia de conversión de la energía capturada por la planta en biomasa, empero, las deficiencias en los aportes de agua y nutrientes pueden reducir la tasa de crecimiento de las hojas, reduciendo el rendimiento por debajo de los niveles óptimos debido a la captura insuficiente de energía.

Desplazamiento de volumen, peso fresco y seco de raíz

Las variables de raíz (DVR, PFR y PSR) muestran una correlación altamente significativa para la mayoría de las variables. Esto se puede explicar debido a que *Bacillus* tiene la capacidad de producir fitohormonas (como el ácido indol-3- acético (AIA), auxinas, citoquininas y giberelinas) además de participar en la fijación asimbiótica de nitrógeno (N_2), sideróforos, solubilizar el fosfato mineral y otros nutrientes, lo cual incrementa el número de raíces laterales y pelos radicales, traduciéndose esto en un aumento de la superficie disponible para la absorción de agua y nutrientes (González y Fuentes, 2017; Fernandes *et al.*, 2020). En estas variables podemos destacar la correlación con el rendimiento en seco (RMS), lo cual indica que al haber mayor superficie radicular hay una mayor absorción de nutrientes, y por consiguiente un mayor rendimiento (Syed y Tollamadugu, 2019; Martínez *et al.*, 2020; Bo *et al.*, 2020).

Conclusiones

En el presente trabajo se evaluaron cepas de *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloquefaciens* y su potencial como biofertilizantes aplicados a maíz forrajero. Los tratamientos donde se aplicaron bacterias demostraron ser superiores en las variables agronómicas evaluadas, sobre todo aquellos donde se utilizó *Bacillus subtilis* como fuente de biofertilización. Asimismo, se observó un aumento en la masa radical en todos los tratamientos donde se utilizaron bacterias y la masa radical correlacionó positiva y significativamente con la producción de materia seca, demostrando que son una alternativa viable para su uso como biofertilizante.

Literatura citada

Abraham, J. M.; Espitia, V. I.; Guzmán, M. R.; Olalde, P. V.; Ruiz-Aguilar, G.; García, H. J.; Herrera, I. L. y Núñez, P. H. 2018. Desarrollo, rendimiento y calidad del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) de plantas inoculadas con cepas mexicanas de *Bacillus subtilis* (ehrenberg). *Agrociencia*. 52(1):91-102.

- Aguilar, C. C.; Escalante, E. J. A. S.; Aguilar, M. I.; Mejía, C. J. A.; Conde, M. V. F. y Trinidad, S. A. 2015. Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. México. Trop. Subtrop. Agroecosyst. 2(18):151-163.
- Bashan, Y. 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. Biotechnol. Adv. 4(16):729-770. Doi: 10.1016/S0734-9750(98)00003-2.
- Bo S.; Likun, G.; Lijun, B.; Shiwei, Z.; Yingxue, W.; Zhihui, B.; Guoqiang, Z. and Xuliang, Z. 2020. Application of biofertilizer containing *Bacillus subtilis* reduced the nitrogen loss in agricultural soil. Soil Biol. Biochem. ISSN 0038-0717. Doi 10.1016/j.soilbio.2020.107911.
- Campillo, C.; Fortes, R. and Henar, P. M. 2012. Solar radiation effect on crop production. In: solar radiation. Babatunde, E. B (Ed.). Editorial: IntechOpen Limited. London, UK. 167-194 pp. ISBN: 978-953-51-0384-4.
- Cantaro, S. H.; Huaranga, J. A. y Zúñiga, D. D. 2019. Efectividad simbiótica de dos cepas de *Rhizobium* sp. en cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Perú. Chile. Idesia.4(37):73-81. Doi 10.4067/S0718-34292019000400073.
- Canto, M. J. C.; Medina, P. S. y Morales, A. D. 2004. Efecto de la inoculación con *Azospirillum* sp. en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacquin). México. Trop. Subtrop. Agroecology. 1(4):21-27.
- Cheng, N. C.; Novakowski, J. H.; Sandini, I. and Domingues, L. 2011. Substituição da adubação nitrogenada de base pela inoculação com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. In.: Seminário Nacional de Milho Safrinha, 11. Anais. Lucas do Rio Verde: Fundação Rio Verde. 377-382 pp.
- Fangying, Q.; Wenhuan, L.; Lang, C.; Ya, W.; Yanyan, M.; Qiang, L.; Shilai, Y.; Rangjin, X. and Yongqiang, Z. 2021. *Bacillus subtilis* biofertilizer application reduces chemical fertilization and improves fruit quality in fertigated Tarocco blood orange groves. Sci. Hortic. Doi 10.1016/j.scienta.2021.110004.
- Fernandes, D. D. C.; Cecato, U.; Trento, B. T.; Mamédio, D. and Galbeiro, S. 2020. *Azospirillum* spp. en gramíneas y forrajeras. Rev. Mex. Cienc. Pec. 11(1):223-240. Doi: 10.22319/rmcp.v11i1.4951.
- García, S. J. L.; Cueto, W. J. A.; Figueroa, V. U. y Reta, S. D. G. 2019. Inhibidor de la nitrificación DMPP en la fertilización del maíz forrajero en la Comarca Lagunera. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 10(8):1849-1861. Doi:10.29312/remexca.v10i8.2079.
- Gómez, B. L. M.; Márquez, G. S. M. y Restrepo, B. L. F. 2018. La milpa como alternativa de conversión agroecológica de sistemas agrícolas convencionales de frijol (*Phaseolus vulgaris*), en el municipio El Carmen de Viboral, Colombia. Chile. Idesia, Arica. 1(36):123-131. Doi:10.4067/S071834292018000100123.
- González, H. y Fuentes, N. 2017. Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. Rev. Cienc. Agríc.1(34):17-31. Doi: 10.22267/rcia. 173401.61.
- González, S. U.; Gallegos, R. M. Á.; Preciado, R., P.; García, C. M.; Rodríguez, H. M. G.; García, H. J. L. y Guzmán, S. T. L. 2021. Efecto de fuentes de nutrición orgánicas e inorgánicas mezcladas con biofertilizantes en la producción y calidad de frutos de melón. Terra Latinoam. 39:1-10. Doi:10.28940/terra.v39i0.904.
- INIFAP. 2014. Instituto Nacional de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua. Centro de investigación Regional Norte Centro, sitio experimental La Campana, Aldama, Chihuahua, México.
- Lara, M. C.; Alvarez, A. y Oviedo, L. E. 2013. Impacto de inoculación con la bacteria nativa *Azospirillum* sobre *Oryza sativa* L. en Córdoba-Colombia. Biotecnología en el Sector Agropecuario e Agroindustrial. 11(2):37-45.

- Li, J.; Wu, M.; Wang, K.; Ming, B.; Chang, X.; Wang, X.; Ynag, Z.; Xie, R. and Li, S. 2020. Identifying ways to narrow maize yield gaps based on plant density experiments. *Agronomy*. 10(2):281-293. Doi:10.3390/agronomy10020281.
- Loredo, O. C.; López, R. L. y Espinosa, V. D. 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. México. *Terra Latinoam*. 2(22):225-239.
- Montemayor, T. J. A.; Gómez, M. A. O.; Olague, R. J.; Zermeño, G. A.; Ruiz, C. E.; Fortis, H. M.; Salazar, S. E. y Aldaco, N. R. 2006. Efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo en la eficiencia de uso de agua y el rendimiento de maíz forrajero. México. *Rev. Mex. Cienc. Pec*. 44(3):359-364.
- Moreno, R. A.; Carda, M. V.; Reyes, C. J. L.; Vásquez, A. J. y Cano, R. P. 2018. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Rev. Colomb. Biotecnol*. 1(20):68-83. Doi:10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707.
- Oliveira, P. P.; Oliveira, W. S. and Barioni, W. J. 2007. Produção de forragem e qualidade de *Brachiaria brizantha* cv Marandu com *Azospirillum brasilense* e fertilizada com nitrogênio. Embrapa pecuária sudeste, São Carlos, SP. Circular técnica núm. 54.
- Pilatuña, M. 2018. Aislamiento de bacterias fijadoras de nitrógeno y bioestimuladoras del crecimiento vegetal con potencial en la producción de biofertilizantes. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>.
- Pimentel, D.; Hepperly, P.; Hanson, J.; Douds, D. and Seidel, R. 2005. Environmental, energetic and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience*. 55:573-582. Doi: 10.1641/0006-3568(2005)055[0573:EEAEC O]2.0.CO;2.
- Puente, F. M.; Herrera, S. R.; Barragan, O. G.; Villarreal, R. M. y García, A. O. 2016. Inoculación de bacterias diazotroficas en Genotipos de Maíz Forrajero. *Rev. Iberoam. Cienc*.
- Reis, V. M.; Baldini, J. I.; Baldini, V. L. and Dobereiner, J. 2000. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm trees critical. *Reviews Plant Sciencis*. 3(19):227-247. Doi: 10.1080/07352680091139213.
- Rentería, S. P.; Simental, R. F. y Portillo, B. A. 2018. Evaluación de dosis de biofertilizante y sanialgas en la producción de maíz (*Zea mays* L.) forrajero en la Comarca Lagunera. *Ingeniería y Región*. 1(20):25-31. <https://doi.org/10.25054/22161325.1932>.
- Sánchez, L. W. and Hidalgo, A. C. 2018. Forage production and nutritive value of maize hybrids and local oats in Costa Rica. *Agronomy Mesoamerican*. 29(1):153-164.
- Sánchez, L. D. B.; Gómez, V. R. M.; Garrido, R. M. F. y Bonilla, B. R. R. 2012. Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*. 3(7):1401-1415.
- SIAP. 2020. Servicio de información agroalimentaria. <https://www.gob.mx/siap>.
- Syed, S. and Tollamadugu, P. 2019. Role of plant growth-promoting 53 microorganisms as a tool for environmental sustainability. *Recent developments in applied microbiology and biochemistry*. 209-222 pp. Doi:10.1016/B978-0-12-816328-3.00016-7.
- Vejan, P.; Abdullah, R.; Khadiran, T.; Ismail, S. and Nasrulhaq, B. A. 2016. Role of plant growth promoting Rhizobacteria in agricultural sustainability. *Molecules*. 21(5):573-589. Doi:10.3390/molecules21050573.