

Efecto de bacterias PGPB, composta y digestato en el rendimiento de materia seca de pasto ovilla

Gisela Aguilar-Benítez¹
María Myrna Solís-Oba²
Rigoberto Castro-Rivera^{2§}
Valentín López-Gayou²
José Pablo Lara-Ávila³
Marco Antonio Esteves-Luna⁴

¹Instituto de Investigación de Zonas Desérticas-Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altair 200, Colonia del Llano, San Luis Potosí. CP. 78377. (gisela.aguilar@uaslp.mx). ²Instituto Politécnico Nacional-Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex Hacienda de San Juan Molino, Carretera Tecuexcomac-Tepetitla km 1.5, Tlaxcala. CP. 90700 (mirobotlx@hotmail.com; valgayou@gmail.com). ³Facultad de Agronomía y Veterinaria-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, carretera San Luis Potosí-Matehuala km 14.5, Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, SLP. CP. 78439. (pablo.lara@uaslp.mx). ⁴Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. Carretera federal San Martín Texmelucan-Tlaxcala km 7.5, San Diego Xocoyucan, Tlaxcala. CP. 90122. (mael071260@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: rcastror@ipn.mx.

Resumen

El objetivo fue determinar el efecto de composta, digestato y bacterias plant growth-promoting bacteria (PGPB) en la curva de crecimiento, acumulación de biomasa, tasa de crecimiento, altura de planta y unidades soil plant analysis development (SPAD) en pasto ovilla recién establecido, bajo condiciones de invernadero. Los tratamientos fueron: digestato (60%), composta (10% en base seca del suelo), bacterias: *Brevibacterium frigoritolerans*, *Bacillus simplex*, *Pseudomonas putida*, control positivo (fertilización con triple 17) y el control negativo (suelo sin fertilización). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, la unidad experimental fue una maceta con diez tallos de pasto ovilla, con cuatro repeticiones por tratamiento. Los valores más altos ($p < 0.05$) de materia seca (6.4 g MS maceta), tasa de crecimiento (0.15 g MS maceta d⁻¹) y altura de forraje (18.3 cm) se registraron en el tratamiento con composta; donde el rendimiento final de materia seca superó 200% al testigo negativo. El tratamiento con digestato evidenció valores inferiores a los obtenidos con composta, pero superó al resto de los tratamientos. Las mejores bacterias PGPB fueron *Pseudomonas putida* y *Bacillus simplex* que superaron el rendimiento de materia seca 25 y 37% con respecto a *Brevibacterium frigoritolerans* y al control negativo, respectivamente. Las bacterias PGPB pueden ser una alternativa de fertilización ya que el rendimiento de materia seca fue mayor que con el control negativo y se igualó al rendimiento obtenido con fertilización química; sin embargo, los dos fertilizantes orgánicos (composta y digestato) favorecieron el mayor rendimiento de materia seca.

Palabras clave: *Bacillus simplex*, *Brevibacterium frigoritolerans*, *Dactylis glomerata*, *Pseudomonas putida*, producción de forraje.

Recibido: diciembre de 2019

Aceptado: marzo de 2020

Introducción

El rendimiento de los forrajes está determinado por diversos factores como la temperatura, humedad y fertilización (Ahmad *et al.*, 2016). La fertilización mineral de gramíneas forrajeras es una actividad necesaria para incrementar rendimientos y para afrontar la baja fertilidad natural o inducida de los suelos, esta práctica es costosa y de implicaciones ambientales adversas si se realiza de forma inadecuada. Una alternativa a la aplicación de fertilizantes minerales en cultivos forrajeros son los abonos orgánicos, que aportan N en formas orgánicas como proteínas y aminoácidos, más o menos estables, que paulatinamente van mineralizándose en formas asimilables por las plantas (Ramos y Terry, 2014).

El uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal por sus siglas en inglés (PGPB) promueve una mejor absorción de nutrientes en el suelo debido, entre otras, a la capacidad de las bacterias para solubilizar fósforo, fijar nitrógeno y sintetizar sideróforos, además producen sustancias fitoestimulantes (auxinas, giberelinas, citoquininas) o pueden actuar como controladores del estrés (control biológico por medio de la actividad antagónica contra microorganismos fitopatógenos) en la planta (De-Bashan *et al.*, 2007; Pérez-Montaña *et al.*, 2014; Menna *et al.*, 2017; Singh *et al.*, 2017).

Lopes *et al.* (2018) evaluaron el efecto de la inoculación de bacterias PGPB en el rendimiento de forraje en *Brachiaria brizanta*, sometido a diferentes intensidades de radiación, los resultados fueron mayor rendimiento, contenido de clorofila, índice de área foliar y peso de raíz ($p < 0.05$) con los tratamientos de bacterias puras y asociadas en comparación con los testigos.

Los digestatos son el subproducto líquido de la digestión anaeróbica para la producción de biogás, a partir de residuos sólidos orgánicos. Este subproducto se usa como abono ya que contienen fitohormonas (giberelinas y ácido indolacético) disueltas en la materia orgánica una cantidad de microorganismos, así como otros compuestos bioactivos que tienen el potencial de promover el crecimiento de plantas e incrementar la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Yu *et al.*, 2010).

Los beneficios de la composta en los cultivos han sido reportados en diferentes trabajos. Beltrán *et al.* (2017) estimaron el rendimiento de forraje de Triticale fertilizado con composta obtenida de heces de ganado lechero y observaron que la combinación de este abono con fertilizante inorgánico promueve un mayor rendimiento de materia seca, altura de forraje y mayor densidad de tallos, en comparación con plantas sin fertilizar y fertilizadas solo con fertilizante inorgánico. Por lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de los diferentes tipos de fertilización orgánica sobre el patrón de rebrote de pasto Ovillo, bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

Descripción del área experimental

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de plástico tipo túnel con ventanas laterales del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, ubicado en Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala (19° 16' 50.3" latitud norte, 98° 21' 58.1" longitud oeste, 2 221 msnm). La temperatura promedio a la intemperie se muestra en la Figura 1.

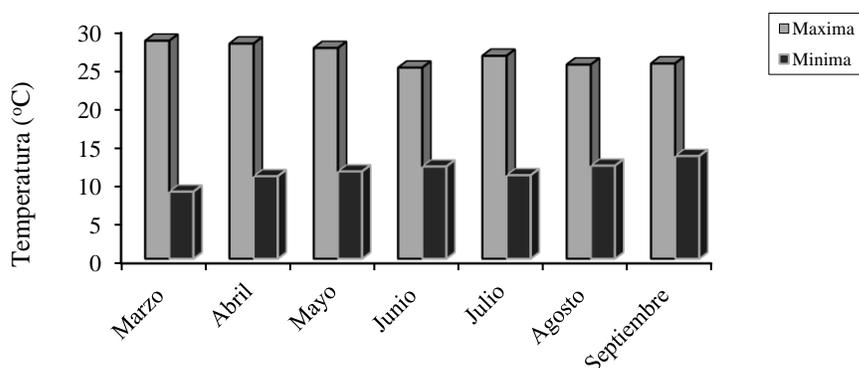


Figura 1. Temperatura promedio máxima y mínimo ambiental, en Tepetitla de Lardizabál, Tlaxcala.
[https://www.accuweather.com/es/mx/tepetitla/240244/weather-forecast/240244.](https://www.accuweather.com/es/mx/tepetitla/240244/weather-forecast/240244)

Las semillas de pasto ovido (*Dactylis glomerata* L.) fueron donadas por el Laboratorio de Forrajes del Programa en Ganadería del Colegio de Postgraduados. El digestato se obtuvo de la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). La composta fue donada por la unidad de composteo unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional. El suelo utilizado como sustrato se obtuvo de la parcela experimental del CIBA IPN Unidad Tlaxcala, el cual se identificó como fluvisol de textura arenosa.

Desarrollo del experimento

La siembra de pasto ovido se realizó colocando 15 semillas en macetas de plástico que contenían 1.5 kg de suelo (unidad experimental). Una vez emergidas las plántulas se realizó un aclareo manual para dejar sólo 10 tallos por maceta y se dejó un periodo de establecimiento de 45 días después de la siembra. Posteriormente se realizó un corte de uniformidad a cinco cm de altura, para reducir el efecto de covariable y se inocularon las bacterias PGPB y se aplicaron los fertilizantes orgánicos al inicio de la primavera de 2018.

Selección e inoculación de bacterias PGPB

Se realizaron diluciones seriadas de las muestras de suelo, composta y digestato. Se cultivó 1 ml en cajas Petri a tres diluciones 10^{-2} , 10^{-4} y 10^{-6} , con un periodo de incubación de 24 h a 30 °C. Se obtuvieron cultivos puros para describir las características particulares y con los morfotipos seleccionados se inocularon en los medios selectivos y específicos, Paenibacillus, Variovorax, Lysobacter, Azospirillum, Streptomyces, Streptomyces, Pikovskaya, Ashby, NFb y NBRIP (Bashan y Holguín, 1997; Noumavo *et al.*, 2013; Beghalem *et al.*, 2017).

Las bacterias que presentaron crecimiento en estos medios se volvieron a inocular en medios específicos Pikovskaya, Ashby, NFb y NBRIP para evaluar su potencial como solubilizadoras de potasio, fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo, respectivamente. Las cepas seleccionadas para este experimento se identificaron como *Pseudomonas putida*, *Bacillus simplex* y *Brevibacterium frigoritolerans*, las cuales fueron previamente identificadas mediante secuenciación del ARNr 16S.

La inoculación de las bacterias se realizó directamente en el suelo, en la rizosfera de los macollos, al inicio de la temporada, con una jeringa estéril de 1 ml de caldo nutritivo a una concentración de 1×10^8 UFC mL⁻¹ por unidad experimental.

Tratamiento y diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar y cuatro repeticiones por tratamiento, los cuales fueron: concentración de digestato (60%), composta (10% en base seca del suelo), bacterias: *Brevibacterium frigoritolerans*, *Bacillus simplex*, *Pseudomonas putida*, control positivo (fertilización con triple 17) y el control negativo (suelo sin fertilización).

Variables evaluadas

El rendimiento de materia seca se obtuvo de cortes a las semanas una, dos, tres, cuatro, cinco, seis y siete. La altura de cosecha fue a cinco centímetros, colocando todo el forraje cortado en bolsas de papel previamente etiquetadas. El material vegetal cosechado se lavó y se pesó en fresco, para posteriormente secarlo en una estufa de aire forzado a 70 °C, por 48 h hasta un peso constante y se determinó la proporción de materia seca.

Antes de cada corte, en plantas elegidas al azar se registró la altura del forraje hasta la hoja superior recientemente expuesta, con una regla graduada de 30 cm y una precisión de 0.1 cm (Castillo *et al.*, 2009).

La tasa de crecimiento (TC) se calculó con los datos de rendimiento de materia seca por corte mediante la siguiente fórmula.

$$TC = \frac{FC}{t}$$

Donde: FC= forraje cosechado (g MV maceta) y t= días transcurridos entre un corte y el siguiente. El contenido de clorofila (unidades SPAD) se registraron antes de cada corte, tomando 3 muestras por unidad experimental, colocando el sensor del instrumento Apogee instruments MC-100 en las hojas superiores expuestas con la lígula bien diferenciada.

Análisis estadístico

Los valores agrupados por semana de crecimiento se graficaron mediante el software estadístico SigmaPlot V.10 y se analizó con el procedimiento GLM y PROC MIXED del Software estadístico SAS® versión 9.0 para Windows®. La comparación de medias de tratamientos se efectuó utilizando Tukey a un nivel de significancia de 5%.

Resultados y discusión

La mayor altura promedio del pasto ovrillo se obtuvo con el tratamiento con composta (10.5 cm); sin embargo, estadísticamente no hubo diferencia ($p > 0.05$) con el tratamiento con digestato y *Pseudomonas putida*, además estos dos últimos tratamientos no presentaron diferencias ($p > 0.05$)

con el resto de los tratamientos. La altura promedio fue superior ($p < 0.05$) en las plantas cosechadas a las siete semanas y esta variable no mostró diferencias ($p > 0.05$) en los cortes a las cinco y seis semanas, a pesar de que a las seis semanas se registró el mayor rendimiento de forraje (Cuadro 1).

Cuadro 1. Altura de planta de pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) a diferentes semanas de crecimiento después de un corte de homogeneización.

Tratamientos	Semanas de crecimiento							Prom.	EEM	Sig.
	1	2	3	4	5	6	7			
Composta	6.13Ad	6.9Ad	8.6Ac	9.6Ac	11.3Ab	12.6Ab	18.3Aa	10.5A	0.42	**
Digestato	5.1Bd	5.6Bd	6.9BCd	9.1Ac	9.6Bbc	11.4Ab	16.2Aa	9.13AB	0.55	**
<i>P. putida</i>	5.2Be	5.3Be	7.7ABd	8.7Acd	10.4ABcb	12.4Ab	15ABa	9.25AB	0.59	**
<i>B. simplex</i>	5.2Bc	5.6Bc	7.1BCbc	7.1Bbc	7.8Cb	8.3Bb	10.3Ca	7.36B	0.54	**
<i>B. frigorigerans</i>	5.3Bc	5.4Bc	5.3Dc	5.9Bbc	6.3Cbc	7.7Bb	13.8ABa	7.12B	0.56	**
Químico	5.1Bd	5.2Bd	5.5Dd	6.3Bcd	7.6Cbc	9.3Bb	12.2Ca	7.31B	0.56	**
Suelo	5.3Bd	5.9ABcd	6.3CDcd	6.4Bcd	7.3Cbc	8.6Bab	9.5Da	7.06B	0.42	**
Promedio	5.35e	5.73 e	6.76ed	7.58cd	8.64 bc	10.03b	13.63a			**
EEM	0.15	0.32	0.35	0.39	0.43	0.61	0.86			
Sig.	**	**	**	**	**	**	**	**		

Diferentes literales minúsculas en hilera son estadísticamente diferentes Tukey ($p < 0.05$). Diferentes literales mayúsculas en columnas son estadísticamente diferentes Tukey ($p < 0.05$). Promedio (Prom.); significancia (Sig.); * = 0.05; ** = 0.01.

Asimismo, el tratamiento con composta promovió las mayores alturas ($p < 0.05$) en todas las semanas de corte, mientras que, *P. putida* y el digestato evidenciaron las mayores alturas a partir de la semana cuatro, pero sus valores fueron inferiores a los obtenidos con composta, aunque superiores al resto de los tratamientos.

Las unidades SPAD en los tratamientos de composta y digestato fueron superiores ($p < 0.05$), durante todas las semanas de crecimiento evaluadas; en tanto que con *B. simplex*, *B. frigorigerans* y en los controles positivo y negativo los valores no fueron diferentes ($p > 0.05$). A excepción de los tratamientos con fertilizante inorgánico y *B. frigorigerans*, en el resto de los tratamientos se observaron diferencias ($p < 0.05$) en los valores SPAD registrados en las diferentes semanas de crecimiento (Cuadro 2). Con *S. putida* en la semana uno y dos no hubo diferencias con respecto al resto de los tratamientos, pero a partir de la tercera semana las unidades SPAD incrementaron igualando a los valores obtenidos con composta y digestato.

Cuadro 2. Contenido de clorofila (unidades SPAD cm²) de pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) en las diferentes semanas de crecimiento después de un corte de uniformidad.

Tratamientos	Semanas de crecimiento							Prom.	EEM	Sig.
	1	2	3	4	5	6	7			
Composta	3.2 A	3.1	3.2A	3.2A	3.3A	3.5A	3.4A	3.28A	0.15	**
Digestato	3.1A	2.9	3.2A	3AB	3.1AB	3.5A	3.2A	3.16A	0.32	**
<i>P. putida</i>	3.3A	3	2.1B	2.9AB	2.2C	2.6B	3.1A	2.75B	0.42	**

Tratamientos	Semanas de crecimiento							Prom.	EEM	Sig.
	1	2	3	4	5	6	7			
<i>B. simplex</i>	2.1Bb	2.1b	2.2b	2.2 ABb	2.4BCab	2.3Bb	2.9ABa	2.3C	0.17	**
<i>B. frigoritolerans</i>	2.2B	2.3	2.1B	2.3AB	2.1C	2.4B	2.1C	2.24C	0.15	**
Químico	2.1B	2.4	2.2B	2.2AB	2.2C	2.2B	2.3BC	2.25C	0.19	**
Suelo	1.2Cc	2.1b	1.9Bb	2.1Bb	2.2Cb	2.3Bb	2.9ABa	2.08C	0.14	**
Prom.	2.46	2.57	2.42	2.56	2.49	2.69	2.87			NS
EEM	0.11	0.37	0.14	0.28	0.24	0.23	0.17			
Sig.	**	**	**	**	**	**	**	**		

Diferentes literales minúsculas en hilera son estadísticamente diferentes Tukey ($p < 0.05$). Diferentes literales mayúsculas en columnas son estadísticamente diferentes Tukey ($p < 0.05$). Promedio (Prom.); Significancia (Sig.); * = 0.05; ** = 0.01.

Con respecto a la tasa de crecimiento, los valores más altos se obtuvieron en los tratamientos de composta y digestato. Para esta variable *P. putida* superó ($p < 0.05$) a las otras bacterias PGPB y a ambos testigos y se observa que el tratamiento con composta, durante todo el periodo de evaluación, fue el que mayor tasa de crecimiento mostró, de otra forma, con digestato esta variable sólo incrementó en la semana seis (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tasa de crecimiento (g MS maceta d⁻¹) de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) en las diferentes semanas de crecimiento después de un corte de uniformidad.

Tratamientos	Semanas de crecimiento							Prom.	EEM	Sig.
	1	2	3	4	5	6	7			
Composta	0.13A b	0.1Ac	0.11Ac	0.11Ac	0.11Ac	0.15Aa	0.11Ab	0.11	0.003	**
Digestato	0.09B a	0.06BCb	0.058Bb	0.049BC b	0.055BCb	0.099Ba	0.06BCb	0.06C	0.006	**
<i>P. putida</i>	0.08B Ca	0.07Bab	0.059Bbc	0.051Bc d	0.059Bc	0.073Ca	0.05BCd	0.07B	0.003	**
<i>B. simplex</i>	0.08C a	0.06BCb	0.053BCb c	0.048CD c	0.056BCDb c	0.085BCa	0.057Bb c	0.05	0.004	**
<i>B. frigoritolerans</i>	0.08B Ca	0.064BCa b	0.047CDb c	0.041Ec	0.04Ec	0.066CDa	0.031Cc	0.054	0.005	**
Químico	0.077 BCa	0.051CDb	0.046CDb	0.043ED b	0.043EDb	0.075Ca	0.047BC b	0.054	0.005	**
Suelo	0.064 Ca	0.046Dab	0.037Db	0.036Fb	0.046CDEb	0.05Dab	0.042BC b	0.051	0.005	**
Prom.	0.085a	0.065b	0.058c	0.054c	0.058 c	0.083a	0.064b		0.0011	**
EEM	0.006	0.004	0.003	0.001	0.003	0.006	0.006			
Sig.	**	**	**	**	**	**	**	**		

Diferentes literales minúsculas en hilera son estadísticamente diferentes Tukey ($p < 0.05$). Diferentes literales mayúsculas en columnas son estadísticamente diferentes Tukey ($p < 0.05$). Promedio (Prom.); Significancia (Sig.); * = 0.05; ** = 0.01.

El mayor rendimiento de materia seca y la mayor acumulación de forraje ($p < 0.05$) se lograron en la semana seis, independientemente del tratamiento evaluado. Sin embargo, el valor promedio más alto ($p < 0.05$) por tratamiento fue obtenido con composta (3.4 g MS maceta), seguido por digestato (1.9 g MS maceta). Los valores más bajos ($p < 0.05$) de materia seca se obtuvieron con el testigo negativo y *Brevibacterium frigoritolerans* y los tratamientos de *Pseudomonas putida*, *Bacillus simplex* y el fertilizante químico no mostraron diferencias (Cuadro 4). El mayor rendimiento a partir de la semana uno hasta la siete se logró con la composta, con el digestato no se distinguieron diferencias de la semana uno a la cinco y fue hasta la semana seis que fue diferente ($p < 0.05$) al resto de los tratamientos (Figura 2).

Cuadro 4. Rendimiento de forraje (g MS maceta), de pasto ovido (*Dactylis glomerata* L.) en las diferentes semanas de crecimiento después de un corte de uniformidad.

Tratamientos	Semanas de crecimiento							Prom.	EEM	Sig.
	1	2	3	4	5	6	7			
Composta	0.92Ag	1.46Af	2.3Ae	3.14Ad	4.03Ac	6.4Aa	5.37Ab	3.4A	0.13	**
Digestato	0.67Bd	0.86BCDd	1.23BCcd	1.39BCcd	1.95BCc	4.18Ba	2.96BCb	1.9B	0.23	**
<i>P. putida</i>	0.53BCe	0.99Bd	1.25Bcd	1.45Bc	2.1Bb	3.1Ca	2.3BCb	1.7C	0.091	**
<i>B. simplex</i>	0.55BCg	0.87BCde	1.3BCde	1.35BCcd	1.99Bc	3.6BCa	2.8Bb	1.6C	0.22	**
<i>B. frigoritolerans</i>	0.54BCc	0.9BCbc	0.98CDbc	1.15CDbc	1.45Cb	2.8CDa	1.5Cb	1.3D	0.21	
Químico	0.54BCd	0.71CDd	0.96BCDc	1.2BCDcd	1.5BCc	3.2Ca	2.3BCb	1.6C	0.2	**
Suelo	0.44Ce	0.65Dde	0.8Dcd	1Dc	1.6BCb	2.1Da	2.06BCa	1.2D	0.09	**
Promedio	0.59g	0.91f	1.22e	1.52d	2.05c	3.68a	2.69 b		0.044	**
EEM	0.053	0.067	0.088	0.064	0.16	0.26	0.3	0.06		
Sig.	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Diferentes literales minúsculas en hilera son estadísticamente diferentes Tukey ($p < 0.05$). Diferentes literales mayúsculas en columnas son estadísticamente diferentes Tukey ($p < 0.05$). Promedio (Prom.); Significancia (Sig.); * = 0.05; ** = 0.01.

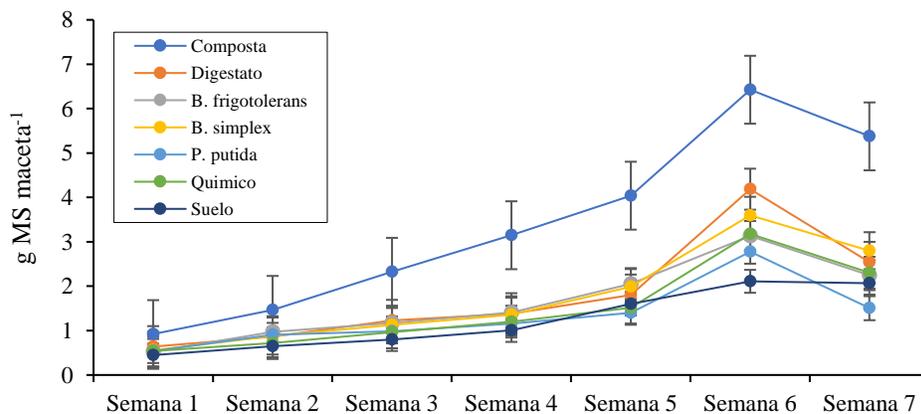


Figura 2. Rendimiento de materia seca de pasto ovido bajo diferentes esquemas de fertilización, durante la época de primavera de 2018.

En la literatura se ha reportado que los factores que determinan la velocidad y magnitud de crecimiento de una planta forrajera son: clima (radiación, fotoperiodo, temperatura, humedad y precipitación) (McKenzie *et al.*, 1999), suelo (características físicas, químicas, topográficas y fertilización); especie (ruta fotosintética, potencial genético de las diferentes especies y variedades); y manejo de la pradera (intensidad y frecuencia de defoliación) (Mendoza-Pedroza *et al.*, 2018). Todos los factores no actúan por separado y el crecimiento de la planta responde a una interacción entre ellos (Jiménez y Martínez, 1984; Hernández-Garay *et al.*, 1997; Moliterno, 2002; Ganderats *et al.*, 2003). Sin embargo, en este experimento la especie forrajera evaluada se sometió a las mismas condiciones de temperatura, humedad y radiación, modificando la fuente de fertilización; es evidente que la fuente de fertilización afecta al rendimiento de la especie.

Se ha reportado que la adición de composta modifica las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, generando condiciones más favorables para la planta, lo que se refleja en un mayor rendimiento (Ramos y Terry 2014; Liu *et al.*, 2016). Además, los beneficios de la composta han sido evidenciados en diversos estudios con hortalizas y son escasos los trabajos publicados en pastos de clima templado, por lo que los resultados presentados en este documento aportan una primicia de estudio en gramíneas forrajeras de clima templado.

Con respecto a los resultados obtenidos con el digestato, estos coinciden con lo expuesto por Rancane *et al.* (2015); Walsh *et al.* (2012), quienes observaron un incremento en el rendimiento del forraje con la adición de digestato. Por su parte Tilvikiené *et al.* (2018) evaluaron el rendimiento de biomasa en pasto Ovillo fertilizado con diferentes concentraciones de digestatos durante cinco años consecutivos y notaron que la fertilización con este abono causa grandes concentraciones de componentes estructurales (celulosas y hemicelulosa) en la biomasa, lo que repercute en un mayor rendimiento del forraje.

Montalvo-Aguilar *et al.* (2018), advirtieron que el riego con digestato (60%) después de cada corte favorece el incremento del rendimiento de forraje de *Lolium perenne*, obteniendo más de 150% de rendimiento en comparación del testigo (suelo solo). Asimismo, con las mayores concentraciones de digestato se apreciaron los niveles de proteína más altos (28% en la frecuencia de corte de cuatro semanas), y dicha variable esta correlacionada con los valores obtenidos en este experimento con las unidades SPAD (González-Torres *et al.*, 2009).

Los resultados obtenidos con las diferentes bacterias PGPB coinciden con lo reportado por Lopes *et al.* (2018), ya que mostraron mayores rendimientos en comparación con el testigo que fue suelo sin fertilizar y sin inocular. Sin embargo, en los resultados obtenidos en este trabajo solo con *Pseudomonas putida* se obtuvieron valores altos en las variables evaluadas. Rangel *et al.* (2014) refieren que al evaluar bacterias PGPB en el rendimiento de maíz, trigo y sorgo, solo *Azospirillum brasilense* registró efectos benéficos superando 55 y 49% al suelo solo y al fertilizante inorgánico, respectivamente.

Criollo *et al.* (2012) evaluaron el efecto de bacterias PGPB asociadas a *Penissetum clandestinum*, a diferentes tiempos de rebrote (70, 100 y 130 días después de la siembra), reportando que bacterias del género *Pseudomonas* mostraron efecto en el rendimiento hasta los 130 días después del rebrote, superando 150% el peso de raíz con respecto al testigo. En pastos C4, se alude que para el género *Brachiaria*, inocular con bacterias PGPB equivale a una dosis de 40 kg de nitrógeno por hectárea (Hungria *et al.*, 2016).

Las bacterias evaluadas en este experimento han sido reportadas como bacterias PGPB, por diferentes autores, y sus beneficios como solubilizadoras de fosfatos, fijadoras de nitrógeno y sintetizadoras de sideróforos se han evaluado principalmente en medios de cultivo y condiciones in vitro (Rashid *et al.* (2012). Otros autores las han evaluado en campo como Terry *et al.* (2005) quienes reportaron los efectos benéficos de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* en tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). Sin embargo, las especies evaluadas en este trabajo no han sido evaluadas en gramíneas de interés zootécnico y no han sido reportadas en artículos científicos.

Conclusiones

Las bacterias PGPR pueden ser una alternativa de fertilización ya que las variables evaluadas incrementaron sus valores con respecto al suelo sin fertilización y se igualaron a la fertilización química; sin embargo, los dos fertilizantes orgánicos (composta) y el digestato fueron superiores a todos los tratamientos evaluados. Desde el punto de vista económico, las bacterias pueden ser la mejor opción de fertilización, ya que éstas sólo fueron inoculadas al inicio del experimento, mientras que los digestatos se aplicaron en cada corte de uniformidad y el porcentaje de composta en el suelo equivale a una dosis aproximada de 60 t ha⁻¹.

Agradecimientos

A la MC Laura Jeannette García Barrera, por todo el apoyo en el aislamiento e identificación de las bacterias evaluadas en este trabajo. Al Instituto Politécnico Nacional, Secretaría de Investigación y Posgrado por el financiamiento del proyecto multidisciplinario SIP 20180320.

Literatura citada

- Ahmad, J.; Iqbal, A.; Ayub, M. and Akhtar, J. 2016. Forage yield potential and quality attributes of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under various agro-management techniques. Pakistan. The J. Animal Plant Sci. 26(2):465-474.
- Beghalem, H.; Aliliche, K.; Chriki, A. and Landoulsi, A. 2017. Molecular and phenotypic characterization of endophytic bacteria isolated from sulla nodules. Netherlands. Microbial Pathogenesis. 111:225-231. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.08.049>.
- Beltrán, S. M.A.; Álvarez, F. G.; Pinos, R. J. M.; García, L. J. C. y Castro, R. R. 2017. Abonos obtenidos del composteado de heces de ganado de leche vs. fertilizante en la producción de triticale (X *Triticum secale* Wittmack). Argentina. Rev. Facultad UNCUYO. 49(1):95-104.
- Castillo, E. G; Valles M. B. y Jarillo, R. J. 2009. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. México. Téc. Pec. Méx. 47(1):79-92.
- Criollo, P. J.; Obando, M.; Sánchez, M. L. y Bonilla R. 2012. Efecto de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) asociadas a *Penissetum clandestinum* en el altiplano cundiboyacense. Colombia. Rev. CORPOICA-Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 13(2):189-195.
- De-Bashan, L. E.; Holguin, G.; Glick, B. R. y Bashan, Y. 2007. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. In: microbiología agrícola: hongos, bacterias y microfauna, control biológico, planta-microorganismo. (Eds.). Ferrara-Cerrato, R. and Alarcon, A. Chapter 8. Published by Ed. Trillas, México city. 170. 224 p.

- Ganderats, F. S. y Hepp, K. C. 2003. Mecanismos de crecimiento de *Lulium perenne*, *Festuca arundinacea* y *Dactylis glomerata* en la zona intermedia de Aysén. Chile. Agric. Téc. 63(3):259-265.
- González-Torres, A.; Figueroa-Viramontes, U.; Delgado, J. A.; Nuñez-Hernández, G.; Cueto-Wong, J. A.; Preciado-Rangel, P. y Palomo-Gil A. 2009. Calibración del SPAD-502 para evaluar requerimientos de nitrógeno en maíz forrajero. México. Terra Latinoam. 27(4):303-309.
- Hernández-Garay, A.; Matthew, C. and Hodgson, J. 1997. Effect of spring grazing management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures. 1. Tissue turnover and herbage accumulation. New Zealand. New Zealand J. Agric. Res. 40(1):25-35.
- Hungria, M.; Nogueira, M. A. and Silva, A. R. 2016. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. Netherlands. Agriculture, Ecosystems and Environment. 221:125-131.
- Jiménez, M. A. y Martínez, H. P. A. 1984. Utilización de praderas. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México, México. 85 p.
- Liu, T.; Chen, X.; Hu, F.; Ran, W.; Shen, Q.; Li, H. and Whalen, J. K. 2016. Carbon-rich organic fertilizers to increase soil biodiversity: Evidence from a meta-analysis of nematode communities. Netherlands Agric. Ecosyst. Environ 232:199-207.
- Lopes, M. J. S.; Dias-Filho, M. B.; Castro, T. H. R. and Silva, G. B. 2018. Light and plant growth-promoting rhizobacteria effects on *Brachiaria brizanta* growth and phenotypic plasticity to shade. United Kingdom Grass and Forage Science. 73(2):493-499.
- McKenzie, B. A.; Kemp, P. D.; Moot, D. J.; Matthew, C. and Lucas, R. J. 1999. Environmental effects on plant growth and development. In: White James and Hodgson John editors. New Zealand Pasture and Crop Science. Auckland, New Zealand: Oxford University Press. 29-44 pp.
- Mendoza-Pedroza, S. I.; Cadena-Villegas, S.; Hernández-Garay, A.; Vaquera-Huerta, H.; Villareal-González, J. A. y Flores-Santiago, E. J. 2018. Cambios en la frecuencia de defoliación para recuperar la densidad de plantas en una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.). México. Agroproductividad. 11(5):51-55.
- Menna, V. S.; Menna, S. K.; Verna, J. P.; Kumar, A.; Aeron, A.; Mishra, P. K.; Bisht, J. K.; Pattanayak, A.; Navved, M. and Dotaniya, M. L. 2017. Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. Netherlands. Ecol. Eng. J. Ecotechnol. 107:8-32.
- Molitero, E. A. 2002. Variables básicas que definen el comportamiento productivo de mezclas forrajeras en su primer año. México. Agrociencia. 6(1):40-52.
- Montalvo-Aguilar, K. J.; Castro-Rivera, R.; Solís-Oba, M. M.; Aguilar-Benítez, G.; García-Barrera L. J. y Hernández-Garay, A. 2018. Efecto de la frecuencia de defoliación y la fertilización con digestato en los componentes del rendimiento de Ballico perenne (*Lolium perenne* L.). México. Agroproductividad. 11(5):3-9.
- Noumavo, P. A.; Kochoni, E.; Didagbé, Y. O.; Adjanohoun, A.; Allagbé, M.; Sikirou, R. and Baba-Moussa, L. 2013. Effect of different plant growth promoting rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. USA. Am. J. Plant Sci. 04(05):1013-1021.
- Pérez-Montaña, F.; Alías-Villegas, C.; Bellogín, R. A.; Del Cerro, P.; Espuny, M. R.; Jiménez-Guerrero, I. and Cubo, T. 2014. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: From microorganism capacities to crop production. Germany. Microbiol. Res. 169(5-6):325-336.

- Ramos, D. and Terry, E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cuba. Cultivos Tropicales. 35(4):52-59.
- Rancane, S.; Karklins, A.; Lazdina, D. and Berzins, P. 2015. Biomass yield and chemical composition of perennial grasses for energy production. Latvia. Eng. Rural Development. 20:546-551.
- Rangel, L. J. A.; Ramírez, G. R. M.; Cervantes, O. F.; Mendoza, E. M.; García, M. E. y Rivera, R. J. G. 2014. Biofertilización de *Azospirillum* spp. y rendimiento de grano de maíz, sorgo y trigo. Argentina. Rev. Facultad de Ciencias UNCUYO. 46(2):231-238.
- Rashid, S.; Charles, T. C. and Glick, B. R. 2012. Isolation and characterization of new plant growth-promoting bacterial endophytes. Netherlands. Appl. Soil Ecol. 61:217-224.
- Singh, M. V.; Kumari, M. S.; Prakash, V. J.; Kumar, A.; Aeron, A.; Kumar, M P.; Kumar, B. J.; Pattanayak, A.; Neveed, M. and Dotoniya, M. L. 2017. Plan beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: a review. Netherlands. Ecol. Eng. J. Ecotechnol. 107:8-12.
- Terry, A E.; Leyva, Á. y Hernández, A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* L.). Colombia. Rev. Colomb. Biotecnol. 7(2):47-54.
- Tilvikienė, V.; Slepėtienė, A. and Kadziulienė. 2018. Effects of 5 years of digestate application on biomass production and quality of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). United Kingdom. Grass Forage Sci. 73(1):206-207.
- Walsh, J. J.; Jones, D. L.; Edwards-Jones, G. and Williams, A. P. 2012. Replacing inorganic fertilizer with anaerobic digestate may maintain agricultural productivity at less environmental cost. United Kingdom. J. Plant Nutr. Soil Sci. 175(6): 840-845.
- Yu, F. B.; Luo, X. P.; Song, C. F. and Shan, S. D. 2010. Concentrated biogas slurry enhanced soil fertility and tomato quality. United Kingdom. Acta Agriculturae Scandinavica Section B. Soil Plant Sci. 60(3):262-268.