



## AGRONOMIC RESPONSE OF BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.) TO THE APPLICATION OF BIOFERTILIZERS FROM LIVESTOCK EXCRETE IN CHIAPAS, MEXICO †

### [RESPUESTA AGRONÓMICA DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) A LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES PROVENIENTES DE RESIDUOS PECUARIOS EN CHIAPAS, MÉXICO]

Cecilia Guadalupe Pereyra-Tamayo<sup>1</sup>, Mariela Beatriz Reyes-Sosa<sup>2\*</sup>, José Apolonio Venegas-Venegas<sup>2</sup>, Deb Raj Aryal<sup>2</sup>, Rene Pinto-Ruiz<sup>1</sup>, Roselia Ramírez-Díaz<sup>1</sup>, Francisco Guevara-Hernández<sup>1</sup>, and Carmen Ponce-Caballero<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km 84.5. Apartado postal #78, C.P. 30470 Villaflores, Chiapas, México. [cecilia.pereyra17@unach.mx](mailto:cecilia.pereyra17@unach.mx); [rene.pinto@unach.mx](mailto:rene.pinto@unach.mx); [roselia.ramirez99@unach.mx](mailto:roselia.ramirez99@unach.mx); [francisco.guevara@unach.mx](mailto:francisco.guevara@unach.mx)

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT)- Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km 84.5. Apartado postal #78, C.P. 30470 Villaflores, Chiapas, México. [mreyes@conahcyt.mx](mailto:mreyes@conahcyt.mx); [javenegasve@conahcyt.mx](mailto:javenegasve@conahcyt.mx); [drajar@conahcyt.mx](mailto:drajar@conahcyt.mx)

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Avenida Industrias no contaminantes por anillo periférico Norte s/n, C.P. 97203, Mérida, Yucatán, México. [cponce@correo.uady.mx](mailto:cponce@correo.uady.mx)

\*Corresponding author

#### SUMMARY

**Background:** Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are an integral part of the basic diet in Mexico and are one of the most important crops. Mexico is the seventh producer worldwide and one of the main consumers of it. Within Mexico, the state of Chiapas is the sixth-largest producer with 68,515 t per year, with a yield of 0.59 t ha<sup>-1</sup>. However, the excessive use of chemical fertilizer has degraded soil quality and increased production costs. **Objective:** To study the agronomic response of the bean crop treated with biofertilizers originated from livestock excreta through anaerobic digestion (effluents). **Methodology:** Variables plant growth variables seed germination, flowering, photosynthesis, and the presence of pathogens were compared. The treatment evaluated were soils treated with bovine manure (treatment 1) and swine manure (treatment 2) after anaerobic digestion, urea (treatment 3) as chemical fertilizer, and control without fertilizers (treatment 4). **Results:** In general, the use of biofertilizers improved the yield per plant, as well as accelerated the development of the plants compared to the control, which was attractive for the producers. In addition, the use of biofertilizers in the soil decreased the presence of pathogens and increased the microbial population, which can be beneficial in soil recovery. **Implications:** The cost of biofertilizer production was 13.5 USD for m<sup>3</sup>, which was cheaper than chemical fertilizers. However, a detailed analysis of the application costs of biofertilizers is recommended. **Conclusion:** The practice of using livestock effluents (biofertilizer) is proposed as a complement to agroecological practices to improve agricultural production and recover soil fertility in southern Mexico.

**Keywords:** Total coliforms in soil; livestock effluents; Creole bean.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) forma parte integral de la dieta básica en México y es uno de los cultivos más importantes. México es el séptimo productor a nivel mundial y uno de los principales consumidores del mismo. En México, el estado de Chiapas es el sexto productor con 68,515 t por año, con un rendimiento de 0.59 t ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes químicos ha degradado la calidad del suelo y ha aumentado los costos

† Submitted October 3, 2023 – Accepted April 8, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5192>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = M.B. Reyes Sosa <http://orcid.org/0000-0002-9977-4246>; C.G. Pereyra Tamayo <http://orcid.org/0000-0003-1038-328X>; J.A. Venegas Venegas <http://orcid.org/0000-0002-3855-8355>; D. Raj Aryal <http://orcid.org/0000-0003-4188-3084>; R. Pinto Ruiz <http://orcid.org/0000-0003-1962-6874>; R. Ramírez Díaz <http://orcid.org/0000-0002-6902-8955>; F. Guevara Hernández <http://orcid.org/0000-0002-1444-6324>; C. Ponce Caballero <http://orcid.org/0000-0002-4410-0770>

de producción. **Objetivo:** Estudiar la respuesta agronómica del cultivo de frijol en macetas con suelos tratados con biofertilizantes originados a partir de excretas pecuarias por medio de la digestión anaerobia (efluentes). **Metodología:** Se compararon variables de crecimiento de plantas, germinación de semilla, floración, fotosíntesis y la presencia de patógenos. Los tratamientos evaluados fueron suelos tratados con estiércol bovino (tratamiento 1) y porcino (tratamiento 2) después de la digestión anaerobia, urea (tratamiento 3) como fertilizante químico y un testigo sin fertilizante (tratamiento 4). **Resultados:** En general, el uso de biofertilizantes mejoró el rendimiento por planta, aceleró el desarrollo de las plantas en comparación con el testigo, lo que fue atractivo para los productores. Además, el uso de los biofertilizantes en el suelo, disminuyó la presencia de patógenos y aumentó la población microbiana, lo que puede ser beneficioso en la recuperación del suelo. **Implicaciones:** El costo de producción de los biofertilizantes fue de 13.5 USD por m<sup>3</sup>, que es más económico que los fertilizantes químicos. Sin embargo, se recomienda un análisis detallado de los costos de aplicación de los biofertilizantes. **Conclusión:** Se proponen la práctica del uso de los efluentes pecuarios (biofertilizantes) como complemento de las prácticas agroecológicas para mejorar la producción agrícola y recuperar fertilidad del suelo en el sur de México.

**Palabras clave:** Coliformes totales en suelo; Efluentes pecuarios; Frijol Criollo.

## INTRODUCCIÓN

El frijol es el segundo grano de importancia agrícola después del maíz en México (Prieto-Cornejo *et al.*, 2019). En los últimos años se ha incrementado la producción de este grano; sin embargo, es insuficiente para cubrir las necesidades del país cuyo consumo per cápita a nivel nacional es de 11 kg (SIAP, 2022a). De acuerdo a los datos publicados de proyecciones para el 2030, se considera que la producción apenas alcance a cubrir el 93% de la demanda nacional, sin embargo, la situación para otros granos es alarmante, como en el caso del maíz que se estima que solo se cubra el 60% del consumo o del arroz un 40% (Torres y Rojas, 2019).

De los estados productores de frijol, Chiapas ocupa el sexto lugar en volumen de producción, con una aportación nacional de 68,515 t (SIAP, 2022a) y un rendimiento de 0.59 t ha<sup>-1</sup>, además representa un cultivo básico para la alimentación en el estado. Factores bióticos y abióticos interactúan con la semilla del frijol (*Phaseolus vulgaris*) para su crecimiento y producción (CIAT, 2021). Entre los factores abióticos se encuentran los agronómicos, tal como la fertilidad del suelo. Por ello, para garantizar la fertilidad del suelo se tiene que hacer el uso eficiente del agua, energía y demás recursos disponibles, así como conservar el balance de nutrientes (FAO, 2009).

Torres y Rojas (2019) hacen mención que la degradación del suelo es una problemática ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos. Una de las características en la producción agrícola que apoye a garantizar la seguridad alimentaria, es contar con abonos y suelos fértiles (Burbano-Orjuela, 2016 y FAO, 2015 citados por Torres y Rojas, 2019). En este sentido, en Chiapas un 79% de los suelos se les considera degradados (Ortiz, 2019) y parte del suelo dedicado a la agricultura, con deficiencias nutricionales en potasio y calcio (López *et al.*, 2019).

Actualmente con los conflictos internacionales que violentan la paz de algunos países dejó en evidencia

que los sistemas agroalimentarios siguen siendo vulnerables a las crisis y perturbaciones de conflictos, pero también de la contracción económica, la variabilidad climática y de fenómenos extremos climáticos. Estos factores junto con la creciente desigualdad y el sobre poblamiento, ponen a prueba constantemente la capacidad de los sistemas agroalimentarios actuales (FAO *et al.*, 2023). Con el incremento que se tiene de los insumos para el campo, como en el caso de los fertilizantes químicos, y la degradación de los suelos, es necesario establecer alternativas que mejoren los rendimientos de los cultivos y que apoyen en la recuperación de los suelos.

El uso de efluentes de los sistemas de tratamientos de aguas y residuos orgánicos son una alternativa viable para su uso agrícola como biofertilizantes. En este sentido los residuos pecuarios representan una importante fuente de sustrato para los digestores anaerobios. En Chiapas encontramos la cría y engorda de ganado bovino y porcino. En el estado se producen cerca de 2,628,000 cabezas de ganado bovino y 792,000 cabezas de porcino (SIAP, 2022b). Según datos publicados por Pérez-Bravo *et al.* (2017) un bovino adulto defeca entre 20 a 30 kg día<sup>-1</sup>, mientras que el porcino se estima un promedio de 2.3 kg día<sup>-1</sup> (SAGARPA, 2004). La acumulación de estos desechos sin un manejo adecuado, contribuye a la problemática ambiental de los gases de efecto invernadero. Además, las excretas pecuarias contienen gran cantidad de microorganismos patógenos que pueden ocasionar problemas de salud pública al tener contacto con alimentos de origen agrícola. Por ello, su utilización después de tratamiento no solo contribuye a la mitigación de los gases de efecto invernadero al ambiente, también nos brinda seguridad sanitaria para su uso y aprovechamiento en el sistema agroalimentario.

Por esta razón, este trabajo se enfocó a conocer el potencial uso agronómico de los biofertilizantes originados a partir de excretas pecuarias mediante digestión anaerobia (DA) en el cultivo de frijol en macetas.

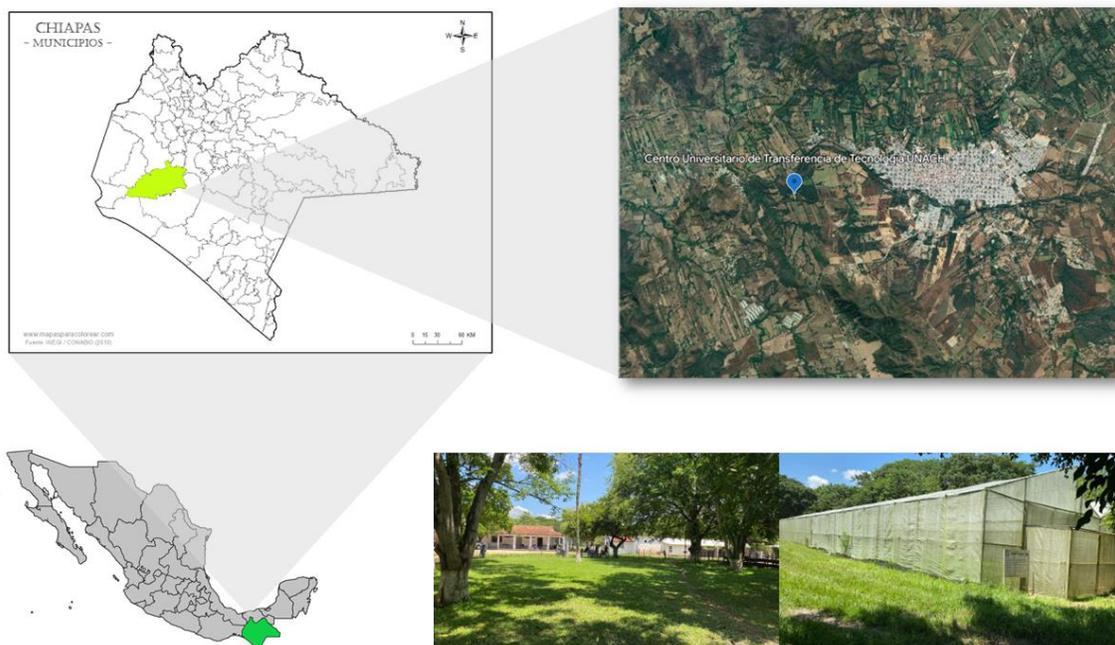
## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro Universitario de Transferencia de Tecnología (CUTT) San Ramón perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas en el municipio de Villaflores, Chiapas, México (Figura 1). El lugar presenta una precipitación promedio anual de 1,200 mm y una temperatura promedio anual de 23.8 °C según datos del INEGI (2017).

El suelo utilizado para este experimento se recolectó de una parcela ubicada en el municipio de Villaflores, en el cual se realizan prácticas agroecológicas (movimiento mínimo de tierra, cobertura del suelo con rastrojo). Para la obtención del suelo se consideró 20 puntos aleatorios de muestreo en la parcela (0-30 cm de profundidad), tomando un aproximado de 10 kg por punto, obtenido el suelo se procedió a homogenizar mediante paleo seguido del método de cuarteo. Se utilizaron 100 kg de suelo fresco para el llenado de las macetas a utilizar y se usaron cinco macetas por cada tratamiento. Los tratamientos aplicados fueron: T1: biofertilizante bovino, T2: biofertilizante porcino, T3: fertilización convencional (urea) y T4: testigo. La aplicación de los tratamientos se realizó al momento de la siembra, para los biofertilizantes se usaron 250 mL por maceta (Santin, 2017), para el caso del fertilizante químico se aplicaron al suelo 10 g de urea por maceta; esto de acuerdo con la dosis que los productores de la zona usan en el cultivo de frijol. Al tratamiento testigo no se realizó ningún tipo de fertilización, solo se le dio

el mismo manejo al igual que los otros tratamientos. La siembra se realizó en época de lluvia por lo cual el riego fue natural. Las características de los biofertilizantes aplicados se detallan en la Tabla 1.

Se realizó la evaluación agronómica del cultivo de frijol de los cuatro tratamientos. Para ello la semilla de frijol utilizada fue adquirida de un agricultor del municipio de Villa Corzo, Chiapas. La variedad corresponde a un frijol criollo de grano rojo (*Phaseolus vulgaris L.*) y de ciclo de cultivo de 40 días (conocido como cuarentano) y el tipo de planta que corresponde es del tipo II arbustiva indeterminada. El experimento se realizó mediante pruebas en macetas con una distribución en vivero aleatoria. Cada unidad experimental consistió en una maceta con cuatro kg de suelo. En cada maceta se colocaron tres semillas de frijol (3 cm de profundidad aproximadamente) y se cubrieron con suelo. Una vez emergidas se seleccionaron las más vigorosas y las restantes fueron retiradas, quedando dos plantas por maceta. Las variables analizadas durante el estudio fueron: Días a emergencia, longitud promedio de guía principal de planta (desde la base del tallo hasta el último brote de hojas en el ápice del tallo, con la ayuda de una cinta métrica), diámetro promedio del tallo (se utilizó un vernier), guías desarrolladas, floración, vainas por planta, clorofila total, fotosíntesis, pH de suelo y temperatura de suelo. Para la medición de las variables de respiración celular se utilizó el equipo MC-100 de la marca Apogee Instruments, fluorímetro OS30p+ y para resto de las variables edáficas un medidor multifuncional de suelo.



**Figura 1.** Ubicación de las instalaciones del Centro de Transferencia Tecnológica de la Universidad Autónoma de Chiapas, México.

**Tabla 1. Composición química y microbiológica de los Biofertilizantes recién producidos mediante Digestión Anaerobia y utilizados en el estudio.**

	Efluente Bovino	Efluente porcino
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	8.00	5.00
Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	1.30	0.85
Calcio (mg L <sup>-1</sup> )	185	245
Magnesio (mg L <sup>-1</sup> )	102	105
Amonio (mg L <sup>-1</sup> )	270	1500
Fosfato (mg L <sup>-1</sup> )	114	103
Hierro (mg L <sup>-1</sup> )	1.20	1.75
pH	6.79	7.68
Conductividad eléctrica (ms)	3.06	16.07
Sólidos Suspendidos Totales (ppt)	1.53	8.03
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	< 5	6.17
<i>Escherichia coli</i> (UFC ml <sup>-1</sup> )	644	4293
Otros Coliformes (UFC ml <sup>-1</sup> )	169	320
Bacterias Aerófilas (UFC ml <sup>-1</sup> )	2.24E+04	4.44E+04

Los análisis microbiológicos en el suelo consistieron en conteo de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por mL. Para ello se preparó diluciones seriadas de un gramo de suelo. Se utilizó el método almohadilla nutriente (MC-Pad Merck Millipore), cada muestra se realizó por triplicado. Las pruebas consistieron en conocer la población total de aerófilos y coliformes totales (*E. coli* y otros coliformes) a los 50 días después de siembra (DDS). Todos los resultados se sometieron a un análisis de varianza mediante el Modelo Lineal Generalizado (GLM) (SAS, 2004). Las medias se compararon a través de la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Se realizó un análisis general de suelo antes y después del crecimiento de cultivo. Las muestras de suelo se mandaron como servicio técnico a Fertilab®, siguiendo en todo momento las indicaciones para ello. Los resultados se sometieron a un análisis no métrico de escalamiento multidimensional (nMDS) y el análisis de perfil de similaridad SIMPROF-test mediante el paquete ecológico estadístico PRIMER-e V7 (Clarke *et al.*, 2014).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar la longitud de la guía principal de las plantas se identificó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las plantas crecidas con suelo tratado con biofertilizante porcino durante el desarrollo de la planta (26 DDS), sin embargo, al final del desarrollo de la planta no se encontró diferencia significativa entre las plantas crecidas con urea, biofertilizante porcino y testigo. Sin embargo, las plantas tratadas con

el efluente porcino a partir de los 19 DDS siempre tendió a una mayor longitud. Se registró diferencias significativas en el diámetro de tallo, además todos los tratamientos superaron a las plantas de suelo testigo (Tabla 2). La aplicación de los efluentes como biofertilizantes tendieron a ser más grueso el tallo durante el desarrollo de la planta, esta tendencia se ha observado igual con el uso de estimulantes vegetales en el frijol (Vuelta-Lorenzo *et al.*, 2017) y a la bioinoculación con rizobacterias y micorrizas (Lara-Capistrán *et al.*, 2019). Sin embargo, los resultados obtenidos no son comparables dado que se trata de genotipos diferentes.

En la Tabla 3 se puede observar que las plantas crecidas en suelo con biofertilizante emergieron más rápido. Incluso se observó que estas plantas se mantuvieron con mayor follaje que las tratadas con urea y las de tratamiento testigo, es de resaltar que esta variable no fue medida y no se tenía considerada en el estudio. También se observó del mismo modo que las hojas de las plantas tratadas con biofertilizante porcino tenían mayor tamaño. Respecto a la floración, las plantas del tratamiento 1 (biofertilizante bovino) fueron las primeras en florecer. En cuanto el número de vainas, las plantas fertilizadas presentaron mayor número que el tratamiento testigo. En cuanto al número de granos, las plantas testigo presentaron resultados iguales que las tratadas con biofertilizante; sin embargo los tamaños de grano eran pequeños a comparación de las demás plantas. Villar-Sánchez *et al.* (2017) mencionan que el tipo de genotipo criollo que coincide con las características de color y de ser ciclo corto tienen bajo potencial de rendimiento y es susceptible a enfermedades, además en la entidad hay un importante interés por parte de los productores en la siembra de este color de grano sumado a su característica de ser de ciclo corto.

No se encontró mucha información sobre frijoles criollos con las características de la semilla de este estudio (Figura 2); sin embargo, en el catálogo de frijoles criollos de Nicaragua se reporta en genotipos similares (designados como cuarentano) un promedio de ocho a nueve días de germinación, treinta días de floración, un número de seis a nueve vainas por planta y entre cinco y seis semillas por vaina (IICA, 2011). En este sentido, Yu *et al.* (2010) afirman que los efluentes de la DA contienen sustancias como fitohormonas, ácidos nucleicos, vitaminas, etc., con el potencial de promover el crecimiento de las plantas y aumentar la tolerancia al estrés biótico y abiótico. A pesar que este estudio se realizó en un número reducido de macetas y en un espacio donde productores, alumnos y docentes acuden de forma constante, las diferencias obtenidas fueron de interés para los productores locales de frijol, lo que despertó la curiosidad del uso de los biofertilizantes en algunos productores.

**Tabla 2. Respuesta de crecimiento del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación edáfica de biofertilizantes (excretas pecuarias después de la digestión anaerobia), fertilización química y suelo testigo (media ± e.e.).**

Variable	DDS	Efluente Bovino	Efluente Porcino	Urea	Testigo
Longitud de guía principal de planta (cm)	12	20.6±2.5 <sup>a</sup>	19.5±3.0 <sup>a</sup>	18.7±2.3 <sup>a</sup>	20.2±5.1 <sup>a</sup>
	19	36.3±8.5 <sup>b</sup>	48.5±8.6 <sup>a</sup>	34.4±7.9 <sup>b</sup>	31.3±6.7 <sup>b</sup>
	26	51.0±11.8 <sup>b</sup>	73.9±17.9 <sup>a</sup>	57.1±15.5 <sup>b</sup>	47.2±16.0 <sup>b</sup>
	34	82.1±16.0 <sup>b</sup>	103.3±19.7 <sup>a</sup>	91.5±13.1 <sup>ab</sup>	87.3±22.6 <sup>ab</sup>
Diámetro de tallo (mm)	12	2.9±0.6 <sup>a</sup>	3.1±0.6 <sup>a</sup>	2.9±0.3 <sup>a</sup>	2.5±0.5 <sup>a</sup>
	19	3.5±0.3 <sup>a</sup>	3.4±0.2 <sup>a</sup>	3.4±0.2 <sup>a</sup>	3.2±0.4 <sup>a</sup>
	26	3.6±0.4 <sup>a</sup>	3.7±0.3 <sup>a</sup>	3.5±0.2 <sup>ab</sup>	3.3±0.3 <sup>ab</sup>
	34	3.8±0.5 <sup>a</sup>	4.0±0.2 <sup>a</sup>	3.7±0.2 <sup>ab</sup>	3.4±0.3 <sup>b</sup>

DDS: Días Después de Siembra; Letras diferentes entre filas indica diferencia significativa según prueba de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ )

**Tabla 3. Respuesta del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación edáfica de biofertilizantes (excretas pecuarias después de la digestión anaerobia), fertilización química y suelo testigo.**

Variables	Efluente Bovino	Efluente Porcino	Urea	Testigo
Germinación de semilla (DDS)	05	06	08	08
Floración (DDS)	27	30	30	30
Guías desarrolladas(DDS)	27	23	27	27
Número de vainas por planta	11	12	11	08
Número de granos por vaina	06	06	05	06

DDS: Días Después de Siembra.



**Figura 2.** Frijol Criollo Cuarentano utilizado en el estudio. Fotografía propia.

La relación FV/Fm (fluorescencia variable y máxima) es utilizada como indicador de la eficiencia fotoquímica del fotosistema II (PS II) de plantas

expuestas a diferentes tipos de estrés (Brestic y Zivcak, 2013); en plantas sanas, los valores son cercanos a 0.750-0.850 (valores óptimos) una disminución en este valor indica pérdida de función fotosintética (Salazar *et al.*, 2016). En este estudio, el índice Fv/Fm estuvo entre 0.796-0.836, que se encuentran dentro del intervalo típico de las plantas desarrolladas en condiciones naturales o sanas (Tabla 4). Se puede observar que no hubo diferencia en la tasa fotosintética a los 19 y 29 DDS entre los tratamientos; sin embargo, se observa que a los 41 DDS el T1 (efluente bovino) presentó diferencia significativa con los tratamientos de urea y el testigo. Este mismo comportamiento se puede observar en el contenido total de clorofila. La variación en la tasa fotosintética y el contenido de clorofila total a los 41 DDS entre los tratamientos puede deberse a que las plantas con el T1 se encontraban en la última etapa de su ciclo vegetativo por haber emergido antes (Tabla 3) que las demás plantas sometidas a los otros tratamientos

**Tabla 4. Comportamiento de la respiración celular del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación edáfica de biofertilizantes (excretas pecuarias después de la digestión anaerobia), fertilización química y suelo testigo (media ± e.e.).**

Variable	DDS	Efluente Bovino	Efluente Porcino	Urea	Testigo
Clorofila Total µmol/m <sup>2</sup>	19	216.09±13.93 <sup>a</sup>	227.93±45.84 <sup>a</sup>	247.31±36.49 <sup>a</sup>	237.77±25.32 <sup>a</sup>
	29	266.06±29.79 <sup>a</sup>	286.33±21.20 <sup>a</sup>	267.46±38.05 <sup>a</sup>	274.07±31.02 <sup>a</sup>
	41	206.44±46.77 <sup>b</sup>	225.08±36.85 <sup>ab</sup>	271.22±74.53 <sup>a</sup>	280.09±51.94 <sup>a</sup>
Fotosíntesis Fv/Fm	19	0.80±0.00 <sup>a</sup>	0.80±0.02 <sup>a</sup>	0.81±0.01 <sup>a</sup>	0.80±0.01 <sup>a</sup>
	29	0.82±0.01 <sup>a</sup>	0.82±0.01 <sup>a</sup>	0.82±0.01 <sup>a</sup>	0.82±0.01 <sup>a</sup>
	41	0.79±0.04 <sup>b</sup>	0.81±0.03 <sup>ab</sup>	0.83±0.02 <sup>a</sup>	0.84±0.01 <sup>a</sup>

DDS: Días Después de Siembra; Letras diferentes entre filas indica diferencia significativa según prueba de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ )

En relación a las pruebas microbiológicas, todos los tratamientos dieron resultados menores al testigo en presencia de coliformes (*E. coli* y otros coliformes). Estos resultados difieren a los reportados en diversos trabajos en cuanto al uso de los efluentes (Hernández-Acosta *et al.*, 2012; Fasciolo *et al.*, 2005), esto debido que en este estudio los efluentes fueron utilizados como fertilizante y no como agua de riego como normalmente se usa. También es de considerarse que el muestreo se realizó a los 50 DDS, es decir 50 días después de la aplicación del efluente en la tierra por lo que se espera que la presencia de patógenos propios de los efluentes disminuyan. En un estudio de suelos con riego con agua de efluentes se observó una disminución considerable de los patógenos a los 36 días después del último riego (Fasciolo *et al.*, 2005). Los efluentes son ricos en contener grupos microbianos diversos (Reyes *et al.*, 2015), mismos que pueden ser de utilidad en la restauración de los suelos como en el caso de las bacterias acidolácticas (Cruz-Hernández *et al.*, 2017). En los resultados obtenidos en este estudio se observa que la aplicación de los efluentes aumentó las bacterias aerófilas en el suelo lo que contribuye al aumento de la microdiversidad del suelo. Sin embargo, el uso de efluentes en la recuperación de suelos no debe ser prolongado, su uso constante puede aumentar la población patógena en el suelo, también se debe considerar el tipo de cultivo.

En este sentido cabe destacar que la norma mexicana NMX-AA-149/1-SCFI-2008 7/67 menciona que los efluentes pueden reutilizarse para fortalecer el suelo o con el objetivo de fertilizar, sin mencionar especificaciones o límites máximos de presencia de patógenos para su uso. En la normativa 40 CFR parte 503 de los Estados Unidos de América, sí se menciona al respecto, incluso hacen dos clasificaciones de los

biosólidos (efluentes deshidratados): la primera clasificación menciona que deben contener menos de 1000 NMP (medida que corresponde a Número Más Probable) de coliformes totales por gramo de sólidos totales, la segunda clasificación se refiere cuando se rebasa la cifra anterior pero menos de 2E+06 NMP de coliformes totales por gramo de sólidos totales o 2E+06 UFC de coliformes totales por gramo de sólidos totales, los cuales menciona que para poder ser utilizados deben someterse a otros tratamientos. Considerando las características microbianas de los efluentes aquí utilizados y mencionados en la Tabla 1, se observa que el efluente bovino cumple con la primera clasificación, mientras que el efluente porcino según la segunda clasificación debería ser sometido a un segundo tratamiento. Argentina en su ley N° 24.051 y Resolución 97, 2001 se especifica aún con más detalle el uso de estos efluentes, en el caso de pasturas implantadas y pastizales empleados para pastoreo de ganado, menciona que no deben ser utilizados estos hasta pasado 60 días después de la aplicación de los efluentes, este mismo tiempo de espera se recomienda para cosechar los cultivos extensivos destinados a la alimentación e incluso menciona que en cultivos hortícolas o frutícolas no debe ser aplicado durante el período vegetativo excepto en árboles frutales. La aplicación de los efluentes en este estudio coincidió con estas últimas recomendaciones.

En la Tabla 6 se observa las variables de temperatura ambiental y pH del suelo durante el ciclo de cultivo. Es de resaltar que no se presentaron diferencias significativas entre los resultados, junto con las condiciones de luz (ligeramente bajo a normal) y humedad (normal a muy húmedo) mismos que fueron medidos, se indica que las plantas crecieron en condiciones ambientales homogéneas.

**Tabla 5. Comparación de la carga microbiana en suelo tratado con biofertilizantes (excretas pecuarias después de la digestión anaerobia), fertilización química y suelo testigo (media  $\pm$  e.e.).**

Muestra	Variable Microbiana (UFC)	Efluente Bovino	Efluente Porcino	Urea	Testigo
Edáfico	<i>Escherichia coli</i>	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	24.0 $\pm$ 10.4 <sup>ab</sup>	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	32.3 $\pm$ 11.7 <sup>a</sup>
	Otros Coliformes	266.0 $\pm$ 102.8 <sup>bc</sup>	540.7 $\pm$ 124.2 <sup>b</sup>	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	877.3 $\pm$ 113.4 <sup>a</sup>
	Bacterias Aerófilas	1.7E+07 $\pm$ 1.6E+06 <sup>a</sup>	1.0E+07 $\pm$ 1.5E+06 <sup>b</sup>	5.0E+06 $\pm$ 3.7E+05 <sup>c</sup>	9.2E+06 $\pm$ 8.1E+05 <sup>b</sup>

UFC: Unidades formadoras de colonias en un ml de muestra; Letras diferentes entre filas indica diferencia significativa según prueba de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ )

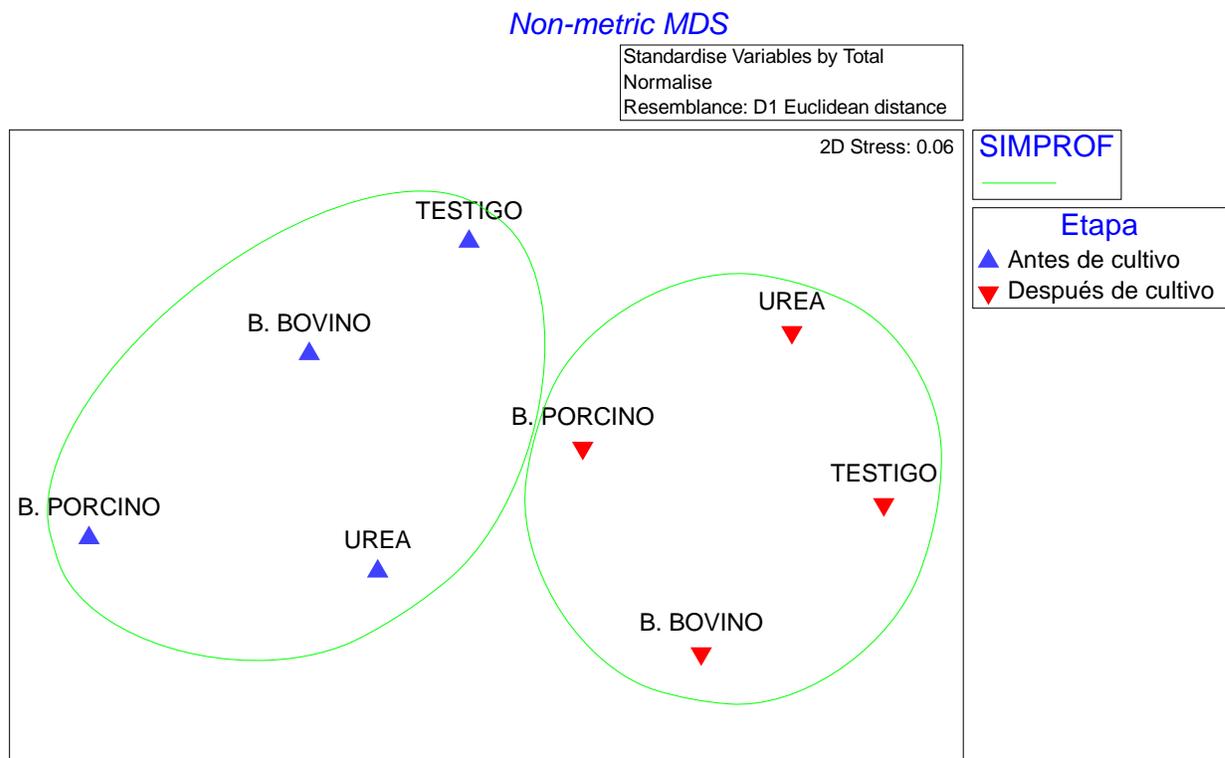
**Tabla 6. Condiciones ambientales durante el ciclo de cultivo del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en macetas con suelo tratados con biofertilizantes (excretas pecuarias después de la digestión anaerobia), fertilización química y suelo testigo (media  $\pm$  e.e.).**

Variable	DDS	Efluente Bovino	Efluente Porcino	Urea	Testigo
Temperatura (°C) ambiente	12	29.0 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	29.6 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	28.8 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	29.0 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>
	19	28.2 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	27.6 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	27.6 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	28.4 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>
	26	31.2 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	30.6 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	31.6 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	31.6 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>
	34	27.6 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	28.0 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	27.8 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	27.0 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>
pH suelo	12	5.3 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	4.9 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	5.5 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	4.8 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>
	19	4.9 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	5.0 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	4.9 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	4.9 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>
	26	4.6 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	4.7 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	5.0 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	5.2 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>
	34	5.1 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	6.2 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	5.3 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	4.8 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>

DDS: Días Después de Siembra; Letras diferentes entre filas indica diferencia significativa según prueba de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ )

Mediante el análisis nMDS de los resultados químicos del suelo antes y después del cultivo por cada tratamiento evaluado, se observa dos grupos estadísticamente formados (resultados del SIMPROF, Figura 3), uno de los suelos antes de cultivo y otro después de cultivo. Sin embargo, no se observó diferencia entre los tratamientos. Lo anterior se puede deber que el uso de estos biofertilizantes fue puntual, por lo cual se podría marcar diferencias después de su uso repetitivo en el tiempo, sea este en cada ciclo de

cultivo y a un determinado tiempo. Lo que valdría la pena evaluar en un futuro. Considerando los resultados obtenidos en este estudio y comparando los costos de producción de los biofertilizantes de 13.5 USD por m<sup>3</sup> (datos aún no publicados) y los costos de comercialización de la urea en Chiapas según datos del mercado mexicano 713 USD t<sup>-1</sup> (SNIIM, 2023), hace atractivo para los productores el uso de los fertilizantes a partir de excretas pecuarias mediante la digestión anaerobia.



**Figura 3.** Análisis no Métrico de Escalamiento Multidimensional de los suelos tratados antes y después de cultivo. Los círculos verdes representan los grupos de similitud estadística de acuerdo al análisis SIMPROF. Los datos fueron estandarizados, normalizados y se basó en la matriz por distancia Euclidean.

## CONCLUSIONES

El uso de los efluentes de la digestión anaerobia de los residuos pecuarios es una alternativa viable y adecuada para su uso como fertilizante de suelo en el cultivo de frijol, siempre y cuando se consideren sus características microbianas como en el caso de la presencia de coliformes totales. Esta alternativa vendría a complementar las estrategias agroecológicas para la recuperación de los suelos agrícolas.

### Agradecimientos

Se agradece a CONAHACYT por el apoyo de la beca nacional para posgrado (CV 971520) y por el proyecto No. 381 del programa Investigadores por México. Se le agradece al personal del CUTT de San Ramón de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la UNACH por su apoyo brindado y uso de las instalaciones.

**Funding.** The research was funded by CONAHACYT through a Master scholarship granted to conduct the Master studies of first author,

**Conflict of interest statement.** The authors have no competing interest to declare.

**Compliance with ethical standards.** Not applicable

### Author contribution statement (CRediT).

**C.G. Pereyra-Tamayo** Investigation and writing - original draft. **M.B. Reyes-Sosa** Conceptualization, supervision, writing-review and editing. **J.A. Venegas-Venegas** Validation, writing -review and editing. **D. Aryal** writing-review and editing. **R. Ramírez-Díaz** writing-review and editing. **R. Pinto-Ruiz** Formal analysis, writing – review and editing. **F. Guevara-Hernández** writing-review and editing. **C. Ponce-Caballero** Supervision, methodology, writing-review and editing.

## REFERENCES

- Brestic, M. and Zivcak, M., 2013. PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: protocols and applications. In: Rout, G., Das, A., eds. *Molecular Stress Physiology of Plants*. Springer, India. pp. 87-131. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-0807-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-81-322-0807-5_4)
- CIAT (The International Center for Tropical Agriculture), 2021. *Manejo e identificación de enfermedades que causan malformaciones y distorsiones de hojas y vainas en el frijol*. [https://www.fao.org/teca/en/technologies/83\\_87](https://www.fao.org/teca/en/technologies/83_87) (05/09/2023)
- Clarke, K.R., Gorley, R.N., Somerfield, P.J. and Warwick, R.M., 2014. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 3rd edition. United Kingdom. PRIMER-E: Plymouth. <https://learninghub.primer-e.com/books/change-in-marine-communities-an-approach-to-statistical-analysis-and-interpretation-3rd-edition>
- Cruz-Hernández, J., Aguilar-Muñoz, J.C., Rojano-Hernández, R. y Morales-Jiménez J., 2017. Digeridos de fermentación de estiércol: consideraciones para su recomendación en agricultura de traspatio. *Agroproductividad*, 10(7), pp. 3-8. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1048>
- Fasciolo, G., Meca, M.I., Calderon, E. y Rebollo, M., 2005. Contaminación microbiológica en ajos y suelos regados con efluentes domésticos tratados. Mendoza (Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Cuyo*, 1, pp. 31-40. [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/1265/fascioloagrarias1-05..pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/1265/fascioloagrarias1-05..pdf)
- FAO, 2009. *Guía para la descripción de suelos*. Italia, FAO, Roma. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf> (05/09/2023)
- FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, 2023. Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. <https://www.fao.org/3/cc6550es/cc6550es.pdf> (05/09/2023)
- Hernández-Acosta, E., Quiñones-Aguilar, E., Cristobal-Acevedo, D. y Rubiños-Panta, J.E., 2012. Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en Tulancingo Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias forestales y Ambiente*, pp. 89-100. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.03.024>
- IICA, 2011. *Catálogo de frijoles criollos rojos seda de Las Segovias, Nicaragua. Caracterización molecular y morfo agronómica*. IICA, Proyecto Red Innovación Agrícola Red SICTA, Cooperación Suiza en América Central. Managua. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19620/Cdni22028432e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- INEGI, 2017. *Anuario estadístico y geográfico de Chiapas, México*. [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825094836.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094836.pdf) (20/09/2023)
- Lara-Capistrán, L., Hernández-Montiel, L.G., Reyes-Pérez, J.J., Preciado, P., Zulueta-Rodríguez, R., 2019. Respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización en campo. *Revista Mexicana de Ciencia Agrícolas*, 10 (5), pp. 1035-1046. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.936>
- López, B.W., Reynoso, S. R., López, M.J., Villar, S.B., Camas, G.R. y García, S.J.O., 2019. Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10 (4), pp. 897-910. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- Ortiz S.C.A., 2019. *Edafología*. Trillas. Ciudad de México, México.
- Pérez-Bravo, S.G., Bautista-Vargas, M.E., Hernández-Sánchez, A. y Enríquez-Padilla, J.U. 2017. Evaluación del potencial de generación de estiércol como materia prima para la producción de biogás en la zona Altamira, Tamaulipas. *Revista de Sistemas Experimentales*, 4(10), pp. 34-40. [https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas\\_Experimentales/vol4num10/Revista\\_de\\_Sistemas\\_Experimentales\\_V4\\_N10\\_5.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_Experimentales/vol4num10/Revista_de_Sistemas_Experimentales_V4_N10_5.pdf)
- Prieto-Cornejo, M.R., Matus-Gardea, J.A., Gavi-Reyes, F., Omaña-Silvestre, J.M., Brambila-Paz, J.J., Sánchez-Escudero, J. y Martínez-Damián M.A., 2019. Evolución de la superficie cultivada de frijol e impacto económico de la sequía sobre su rendimiento bajo condiciones de temporal en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42, pp. 173-182 <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/36/26>
- Reyes, M., Borrás, L., Seco, A. and Ferrer J., 2015. Identification and quantification of microbial populations in activated sludge and anaerobic digestion processes. *Environmental Technology*, 36 (1), pp. 45-53. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2014.934745>
- SAGARPA, 2004. *Situación actual de la producción de leche de bovino en México 2004*. Coordinación General de Ganadería. [http://www.lactodata.info/docs/lib/sagarpa\\_cgg\\_situacion\\_actual\\_produccion\\_2004.pdf](http://www.lactodata.info/docs/lib/sagarpa_cgg_situacion_actual_produccion_2004.pdf). (05/09/2023)
- Salazar, C., Pino, M.T. and Villagra P., 2016. La emisión de fluorescencia de la clorofila a: una herramienta para la detección del efecto del estrés hídrico en el aparato fotosintético de la papa. Santiago: *Boletín INIA-Instituto de Investigaciones agropecuarias*. No. 331. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6492> (20/09/2023)
- SAS, 2004. SAS/ETS 9.1 user's guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- SIAP, 2022a. *Panorama Agroalimentario 2022*. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2022/Panorama-Agroalimentario-2022](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2022/Panorama-Agroalimentario-2022) (05/09/2023)
- SIAP, 2022b. *Chiapas Infografía Agroalimentaria 2022*. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2022/Chiapas-Infografia-Agroalimentaria-2022](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2022/Chiapas-Infografia-Agroalimentaria-2022) (05/09/2023)
- Santin, E.B., 2017. Efecto de la aplicación de Biol en el cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedades Amadeus 77 y Dehoro, Zamorano Honduras. Proyecto de graduación. Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6191>
- SNIIM, 2023. *Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados*. <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/Home.aspx?opcion=Consultas/MercadosNacionales/PreciosDeMercado/Agriculturas/ConsultaInsumos.aspx?SubOpcion=910> (26/09/2023).
- Torres, T.F. y Rojas, M. A., 2019. Suelo agrícola en México: retrospectiva y prospectiva para la seguridad alimentaria. Realidad, Datos y Espacio *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9 (3), pp. 137-155. <https://rde.inegi.org.mx/index.php/2019/01/25/suelo-agricola-en-mexico-retrospeccion-prospectiva-la-seguridad-alimentaria/>
- Villar-Sánchez, B., Tosquy-Valle, O.H. y López-Salinas, E., 2017. Rendimiento y adaptación de la variedad de Frijol rojo INIFAB (*Phaseolus vulgaris* L.) en Chiapas, México. *Agroproductividad*, 10 (9), pp. 64-70. <https://revista->

[agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/977](http://agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/977)

<https://www.redalyc.org/pdf/1813/181353026001.pdf>

Vuelta-Lorenzo, D.R., Vidal-Cuevas, Y., Rizo-Mustelier, M., Bell-Mesa, T. and Molina-Lores L.B., 2017. Efecto del Brasinoesteroide foliar (BIOBRAS 16) sobre el crecimiento y la producción del cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Ciencia en su PC*, 3, pp. 1-12.

Yu, F.B., Luo, X.P., Song, C.F., Zhang, M-X. and Shan S.D., 2010. Concentrated biogas slurry enhanced soil fertility and tomato quality. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 60 (3), pp. 262-268. <https://doi.org/10.1080/09064710902893385>