

Aguas residuales de industria láctea como alternativa sostenible para aumentar la productividad del maíz en Perú

Dairy industry wastewater as a sustainable alternative to increase the productivity of corn in Peru

Miguel Angel Del Carpio Salas^{1,a}, Midwar Ancco^{1,b}, Antonio Erick Linares Flores Castro^{2,c}, Rodolfo Ancco-Loza^{3,d}, Hugo Guillermo Jimenez Pacheco^{1,e*}

Resumen

El maíz (*Zea mays*) es el cereal más cultivado en el mundo y es un alimento básico para los seres humanos, por eso en los últimos años están buscando alternativas para mejorar su producción. Por otro lado, el suero es un efluente residual de la industria láctea generalmente eliminado en las aguas residuales, sin embargo, debido a su alta carga orgánica puede usarse para producir diferentes biofertilizantes. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto sobre la producción del cultivo de maíz al aplicar un biofertilizante obtenido por fermentación anaeróbica de lactosuero y estiércol bovino. El estudio se realizó entre los meses de octubre 2018-febrero 2019, en el área experimental de la asociación de Calaspam, ubicada en Majes, Arequipa, Perú. Se empleó un diseño experimental de bloque aleatorio completo en un esquema factorial 2×4 compuesto por tres tratamientos de biofertilizantes (6,9 y 12 L_{BF}/L_{agua}) y un tratamiento de control con tres repeticiones aplicadas con un caudal promedio de 1,5 Lha⁻¹. Se determinaron indicadores morfológicos, post cosecha y económicos, así como el contenido de clorofila. Los resultados indican que los tratamientos con biofertilizante mejoraron los indicadores estudiados. El tercer tratamiento muestra valores más altos en todos los indicadores en comparación a los demás tratamientos, siendo los valores de rendimiento (79,29±7,33 10³ kg ha⁻¹) y tasa de retorno marginas (85,73%) los más resaltantes. Se concluye que el biofertilizante obtenido a partir de estiércol bovino y lactosuero tiene un efecto positivo en la producción de maíz y además su aplicación es viable económicamente.

Palabras clave: *Zea mays*, fermentación anaeróbica, economía circular.

Abstract

Corn (*Zea mays*) is the most cultivated cereal in the world and a staple food for human beings. That is why in recent years scientists are looking for alternatives to improve its production. On the other hand, whey is a residual effluent from the dairy industry generally eliminated in sewage, however, due to its high organic load it can be used to produce different biofertilizers. The objective of this study was to evaluate the effect on the production of the corn crop when applying a biofertilizer obtained by anaerobic fermentation of whey and bovine manure. The study was conducted between October 2018 and February 2019, in the experimental area of the Calaspam association, located in Majes, Arequipa, Peru. A complete randomized block experimental design was used in a 2×4 factorial scheme composed by three biofertilizer treatments (6.9 and 12 L_{BF/water}) and a control treatment with three replicates applied with an average flow rate of 1.5 Lha⁻¹. Morphological, post-harvest and economic indicators were determined, as well as the chlorophyll content. Results indicate that biofertilizer treatments improved the indicators studied. The third treatment shows higher values in all the indicators compared to the other treatments, being the values of yield (79,29±7,33 10³ kg ha⁻¹) and marginal return rate (85,73%) the most outstanding. It is concluded that the biofertilizer obtained from bovine manure and whey has a positive effect on corn production and its application is economically viable.

Key words: *Zea mays*, anaerobic fermentation, circular economy.

Recibido: 06/10/2020

Aceptado: 31/12/2020

Publicado: 15/01/2021

Sección: Artículo Original

*Autor para correspondencia: hjimenez@ucsm.edu.pe

Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, el maíz (*Zea mays*) es el cereal más cultivado en el mundo. Este cereal tiene alto valor nutricional y en países con zonas altoandinas como Perú el cultivo de maíz tiene gran importancia económica y es considerado un cultivo de alta trascendencia y repercusión por el impacto socio económico que representa para el poblador (Lima-Medina *et al.*, 2018). El maíz es empleado para la alimentación directa del poblador altoandino y de sus animales, así mismo, es procesado en alimentos balanceados destinados para el hombre o animales (García Mendoza, 2017). Como se puede observar el maíz es un recurso muy importante

para los pobladores altoandinos, sin embargo, gran parte de agricultores nativos continúan empleando las técnicas

¹ Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables y Medio Ambiente, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.

² Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.

³ Facultad de Ciencias Contables y Administrativas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

^a [0000-0002-3273-8494](https://orcid.org/0000-0002-3273-8494)

^b [0000-0002-2748-4119](https://orcid.org/0000-0002-2748-4119)

^c [0000-0003-0506-2297](https://orcid.org/0000-0003-0506-2297)

^d [0000-0003-4905-8548](https://orcid.org/0000-0003-4905-8548)

^e [0000-0001-9334-6585](https://orcid.org/0000-0001-9334-6585)

Como citar: Del Carpio Salas, M. A., Ancco, M., Linares Flores Castro, A. E., Ancco-Loza, R., Jimenez Pacheco, H., G. (2021) Aguas residuales de industria láctea como alternativa sostenible para aumentar la productividad del maíz en Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(1), 26-36. DOI: [10.18271/ria.2021.229](https://doi.org/10.18271/ria.2021.229)

de sus antepasados para el cultivo de maíz, en su mayoría sin fertilización química y sin riego (Correa-Galeote *et al.*, 2016).

En el Perú desde el 2001 se observó un incremento interrumpible en la producción lechera, esto permitió que se ubique entre los diez países de mayor producción (Brousett-Minaya *et al.*, 2015). El incremento de producción lechera acrecentó el sistema ganadero bovino en cada zona productiva al igual que la demanda de forraje y como consecuencia se elevó la generación de residuos orgánicos como el estirco bovino. El estiércol bovino es uno de los residuos orgánicos generados por el sector agrícola que provoca un impacto negativo en el medio ambiente cuando no es manejado adecuadamente. Mediante la fermentación del estiércol bovino es posible obtener un biofertilizante que puede ser empleado en los campos agrícolas y así lograr un equilibrio ecosistémico (Barzallo-Bravo *et al.*, 2019). Por otro lado, el lactosuero es un residuo de la industria láctea que se genera por el proceso de coagulación y filtrado de la leche en la obtención de queso, su eliminación sin recibir un tratamiento adecuado provoca diferentes impactos negativos en el medio ambiente (Khaire & Gogate, 2018).

Hoy en día la agricultura moderna busca reemplazar los fertilizantes químicos por biofertilizantes ya que su aplicación genera diferentes beneficios en las plantas como aumentar la resistencia a diferentes factores ambientales y mejorar el estado nutricional al incrementar la biodisponibilidad de nutrientes, además los biofertilizantes mejoran la calidad del suelo de cultivo debido a que están constituidos por componentes naturales generalmente por residuos orgánicos y microorganismos (Nunes da Silva *et al.*, 2019; Petrovic, Kopta, & Pokluda, 2019).

Tradicionalmente la producción de biofertilizante se ha realizado empleando como sustrato estiércol de ganado bovino junto con otros compuestos orgánicos (Lorin *et al.*, 2016; Montoro *et al.*, 2019). Adicionar lactosuero como sustrato en la producción de biofertilizante incrementa sus propiedades beneficiosas ya que estimula al desarrollo de las plantas (Caballero *et al.*, 2020). Es así que Mahmood *et al.* (2020) indica los efectos positivos en el cultivo de tomate tras aplicar un biofertilizante en base a lactosuero y estiércol de oveja.

Por otro lado, existe estudios que demuestran la viabilidad económica de la producción de biofertilizante a partir de estiércol bovino (Montero *et al.*, 2017). Sin embargo, existen escasos estudios que indiquen los impactos en indicadores de producción del cultivo de maíz empleado un biofertilizante a partir de estiércol y lactosuero. Es así que el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto en la producción

de cultivo de maíz tras la aplicación de diferentes tratamientos de un biofertilizante (BF) producido a partir de lactosuero y estiércol bovino.

Materiales y métodos

Descripción del sitio experimental

El experimento se realizó entre los meses de octubre de 2018 y febrero de 2019, en el campo de la asociación de CAL ASPAM, ubicado en la parcela 60 del Asentamiento B3 del Riego Majes (16 ° 20'51.87" S, 72 ° 6'53.39" W, con una altitud de 1276), en el distrito de Majes, provincia de Caylloma, en la región de Arequipa-Perú. En el transcurso de la investigación se registró una temperatura promedio máxima y mínima de 25,3 ° C y 13,4 ° C respectivamente, así como una humedad relativa promedio del aire de 59,4%, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

Características de zona agrícola

La zona agrícola presenta un suelo de tipo franco arenoso de textura moderadamente gruesa, deficiente en retención de humedad, buena capacidad de aireación y según el análisis físico-químico realizado en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Semillas INIA-Arequipa en 2018, el suelo presenta las siguientes características: pH 7,8, conductividad eléctrica (CE) 3,96 dS m⁻¹, materia orgánica 3,02%, las concentraciones de Ca, Mg, Na, K y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fueron 79,2; 40, 0;48; 0,923 y 84,60 cmol_c en 100g de suelo respectivamente y finalmente las concentraciones de arena, arcilla y limo fueron 74,0; 6,8 y 15,2% respectivamente.

Prácticas agronómicas locales

El riego del cultivo se efectuó de acuerdo a las técnicas de los agricultores del área de estudio, este consistió en riego por goteo a través de cintas de riego espaciadas por 0,20m y goteros con un caudal promedio de 1,5 L h⁻¹ colocados a una distancia de 0,25 m. El riego se realizó diariamente y las profundidades del agua se determinaron en base a la evapotranspiración del cultivo, aplicando una profundidad total de 888,3 mm ha⁻¹, el agua utilizada para el riego tuvo las siguientes características: pH 8,10; EC 7,82uScm⁻¹; 0,25; 4,39; 2,36; 0,98; 2,90; 1,94 y <0,16 cmol_c dm⁻³ de K⁺, Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², Cl⁻¹, SO₄ y NO₃ respectivamente.

La fertilización del cultivo consistió en la aplicación por hectárea de los siguientes fertilizantes: 355 kg de

urea, 227 kg de nitrato de potasio, 100 kg de fosfato monoamónico, 100 kg de sulfato de magnesio, 62 kg de nitrato de calcio y 48 kg de ácido fosfórico, disuelto en agua a través del sistema de riego por goteo descrito anteriormente. R²

Aplicación de tratamiento y diseño experimental

Para la siembra se utilizó maíz híbrido Atlas 777 y los tratamientos experimentales se organizaron en un diseño de bloques completamente al azar, con tres replicas, conformado por cuatro tratamientos; los tres primeros con dosis de BF en concentraciones de 6, 9 y 12 L_{BF}/L_{agua} denominados T1, T2 y T3 y un cuarto tratamiento testigo sin dosis de BF denominado T4, cada parcela consistió en 10 m de largo y 8 m de ancho, compuesto por dieciséis hileras espaciadas 0,75 m.

Treinta días después de la siembra del maíz se aplicaron semanalmente durante seis semanas los tratamientos experimentales con BF descritos anteriormente usando una bomba de aspersión agrícola. Finalmente 120 días después de la siembra, se suspendió el riego, iniciando el proceso de maduración y su posterior cosecha.

Producción de biofertilizante

El BF se obtuvo por fermentación anaerobia empleando un biodigestor anaerobio automatizado con una capacidad de 1000 L, como sustrato se empleó estiércol vacuno (357Kg), lactosuero (420 L), bacterias ácido lácticas (10 L) y sacarosa (240 Kg), el proceso de fermentación tuvo un periodo de 32 días (Da Silva *et al.*, 2016; Véras *et al.*, 2017), posteriormente el BF se analizó en el Laboratorio de control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María obteniendo las siguientes características: pH=3,68; EC=11,12 dSm⁻¹, densidad=1,13 mg L⁻¹, N = 0,09%, P= 75,85 mg L⁻¹, K= 1323,0 mg L⁻¹, Ca =698,5 mg L⁻¹ y Mg=222,3 mg L⁻¹.

Determinación de indicadores morfológicos, post cosecha y económicos

Se evaluaron los siguientes indicadores morfológicos en la etapa de crecimiento: altura de la planta (cm), número de hojas (Dineshkumar *et al.*, 2019) y calibre basal del tallo (cm); los tres indicadores fueron evaluados semanalmente tomando diez muestras para cada medida hasta llegar a la etapa de floración fenológica (nueve semanas), momento en el que la planta deja de crecer.

En cuanto a los indicadores de post cosecha, se determinó el diámetro de la mazorca (cm), el número de mazorcas y el rendimiento de cultivo (kg ha⁻¹).

Por último, se evaluó la eficiencia económica de los tratamientos mediante indicadores económicos tales como: ingreso bruto, ingreso neto y tasa de retorno marginal. El ingreso bruto de la cosecha de maíz se calculó de acuerdo al precio promedio pagado al productor (S/. 300,0 por 10³ kg) para la comercialización a los distribuidores. Los ingresos netos se determinaron restando el costo total de producción a los ingresos brutos estimados. La tasa de rendimiento marginal, expresado en porcentaje, se determinó por la relación entre el ingreso neto y el costo de producción. El costo de producción por hectárea de maíz bajo las condiciones de riego de Majes fue de S/. 12807,37, este costo se determinó sumando los costos de mano de obra, operaciones mecánicas, operaciones, sistema de riego y suministros.

Determinación de clorofila

El contenido de clorofila (mg cm⁻²) se determinó empleando un medidor de digital atLEAF CHL PLUS tomando cinco muestras por triplicado en la primera, cuarta y séptima semana después de aplicar el BF.

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto de los tratamientos sobre la respuesta de las variables, posteriormente se realizó la prueba de Tukey (p <0,05), para comparar las medias de los tratamientos, además los efectos cuantitativos (tratamientos con dosis de BF) se analizaron mediante regresión. El análisis de los datos se realizó utilizando el software estadístico SPSS 23 (González-Díaz *et al.*, 2019).

Resultados

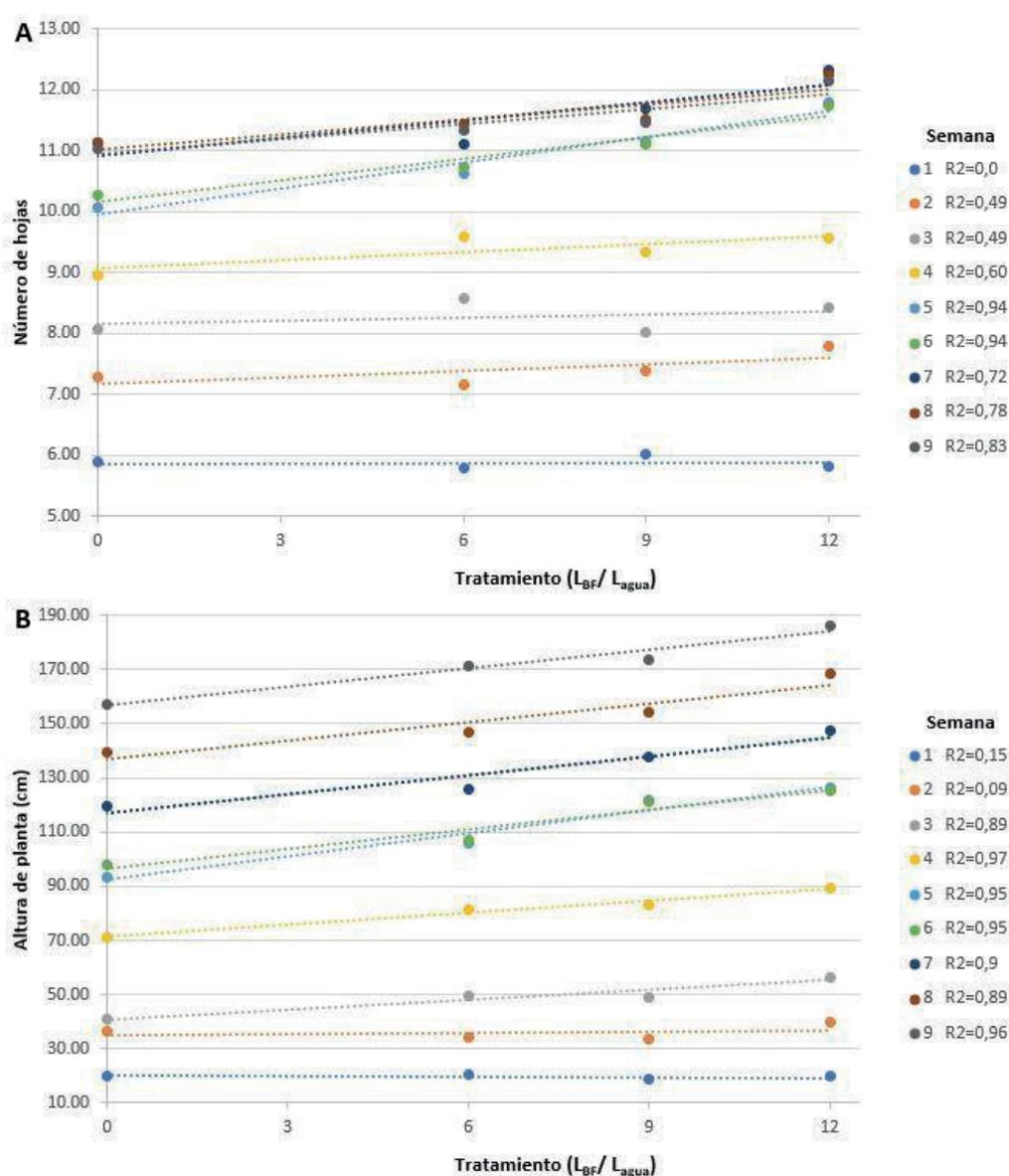
Efecto de BF en indicadores morfológicos

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis de varianza con respecto a los indicadores morfológicos (IM) y los tratamientos con BF. Se obtuvo un p <0,05; demostrando que existe un efecto significativo en los IM del maíz luego de aplicar los diferentes tratamientos con BF. El T3 presenta valores más altos en todos los IM y el T4, tratamiento control, presenta valores menores en comparación con los otros tratamientos.

Table 1. Resumen de análisis de varianza correspondiente a indicadores morfológicos.

Tratamientos	Indicadores Morfológicos		
	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Calibre basal (cm)
T1	171,21 ± 3,60	11,33± 0,27	2,76±0,08
T2	173,81± 5,00	11,47± 0,31	2,92±0,09
T3	185,86± 4,84	12,13± 0,27	3,07±0,06
T4	157,07± 5,30	11,03± 0,32	2,50±0,09
Valor p	<0,001	<0,001	<0,001

Nota: T1, T2 y T3 son tratamiento con dosis de BF en concentraciones de 6, 9 y 12 L_{BF}/ L_{agua}, respectivamente y tratamiento testigo sin dosis de BF denominado T4.



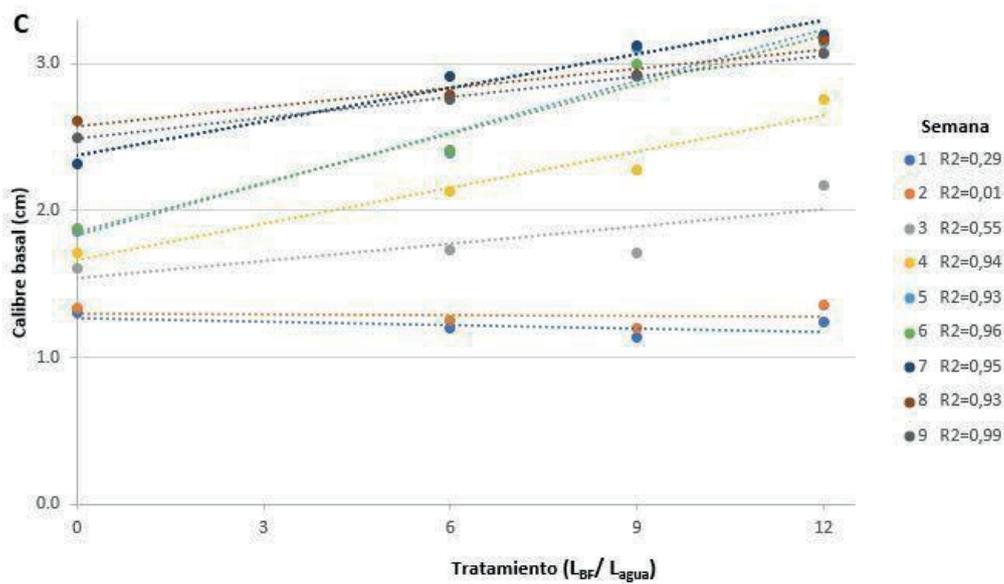


Figura 1. Regresión del efecto de BF sobre indicadores morfológicos de maíz: número de hojas (A), altura de la planta (B) y calibre basal (C) durante nueve semanas.

La Figura 1 muestra el comportamiento de los IM durante nueve semanas luego de aplicar los tratamientos con BF en el cultivo de maíz. El número de hojas, altura de planta y calibre basal aumentaron linealmente a partir de la cuarta, tercera y cuarta semana, respectivamente, dicho incremento indica que existe una interacción significativa entre los IM y los tratamientos con BF (Figura A).

Efecto de BF en indicadores postcosecha

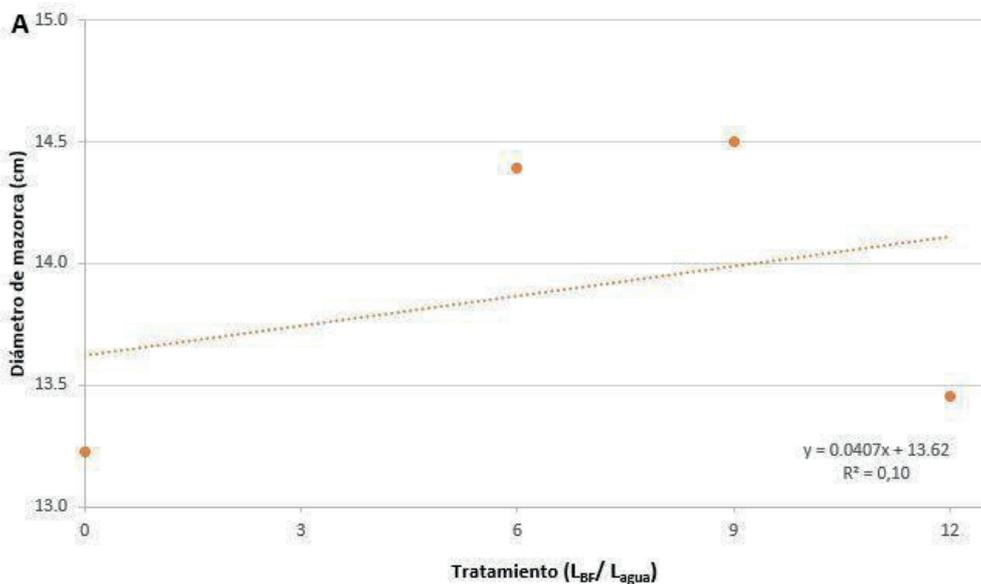
La Tabla 2 muestra los resultados del análisis de varianza con respecto a los indicadores postcosecha (IP) y los tratamientos con BF. Se obtuvo un $p < 0,05$; demostrando que existe un efecto significativo en los IP del maíz luego de aplicar los diferentes tratamientos con

BF. El T3 presenta mayor rendimiento de producción y el T4 presenta valores menores en todos los IP en comparación con los demás tratamientos.

Tabla 2. Resumen de los indicadores postcosecha luego de aplicar el BF

Tratamiento	Indicadores Postcosecha		
	Diámetro de mazorca (cm)	Número de mazorca	Rendimiento (10 ³ kg ha ⁻¹)
T1	14.39 ± 0.85	1.70	72.95 ± 5.04
T2	14.50 ± 0.74	2.10	75.62 ± 10.2
T3	13.46 ± 1.11	2.53	79.29 ± 7.33
T4	13.23 ± 0.94	1.47	65.01 ± 3.86
Valor p	0.0016	<0.001	<0.001

Nota: T1, T2 y T3 son tratamiento con dosis de BF en concentraciones de 6, 9 y 12 L_{BF}/L_{agua}, respectivamente y tratamiento testigo sin dosis de BF denominado T4



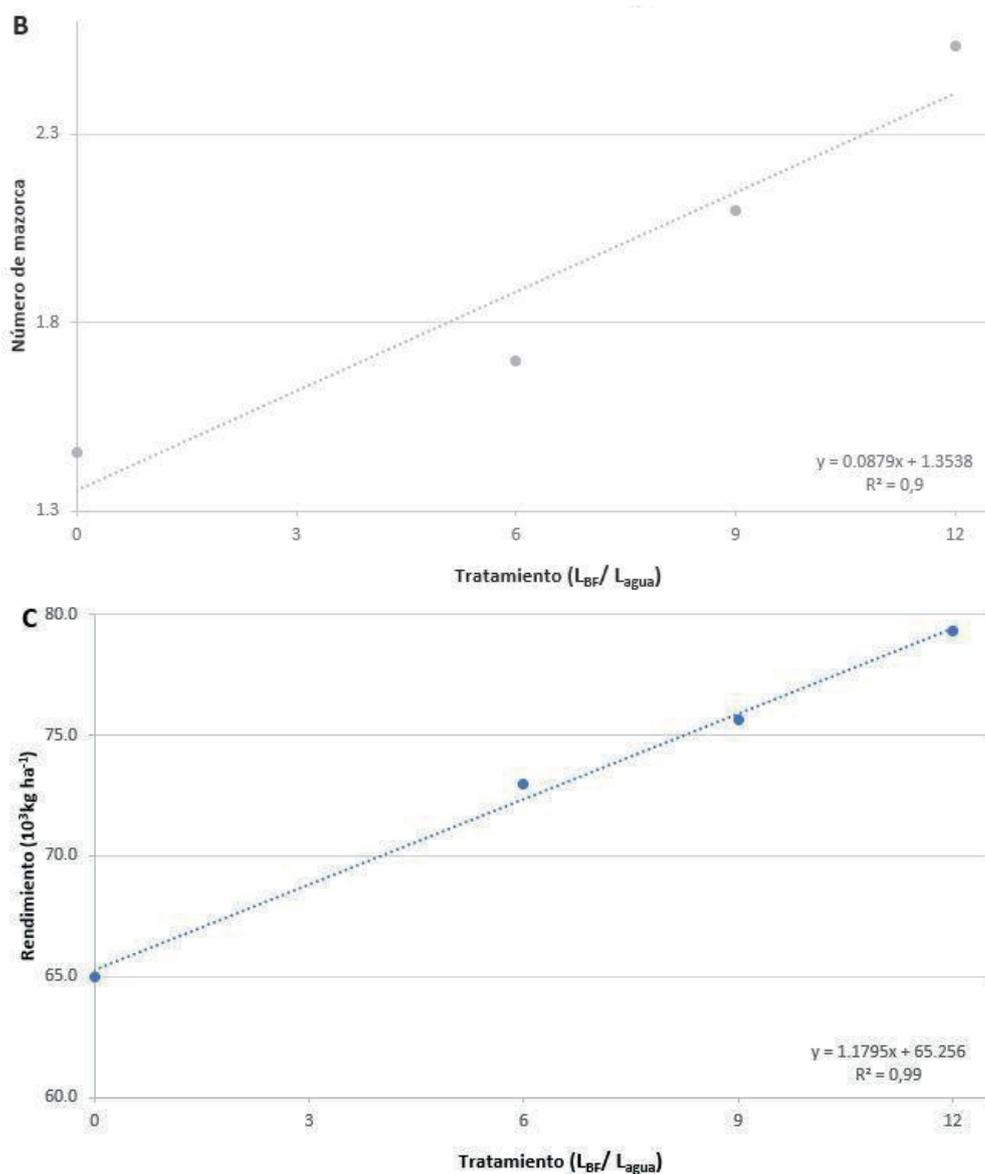


Figura 2. Regresión del efecto de BF sobre indicadores post cosecha de maíz: número de hojas (A), número de mazorcas (B) y rendimiento (C) durante nueve semanas.

La interacción entre el rendimiento de producción (Figura 2C) y los tratamientos con BF fue significativa, ya que se presenta un incremento lineal. Dicho comportamiento también se observó en el número de mazorca (Figura 2B), en cambio el diámetro de la mazorca no presentó un incremento linealmente (Figura 2A).

Efecto de BF en el contenido de clorofila

La Tabla 3 muestra los resultados del análisis de varianza con respecto al contenido de clorofila y los tratamientos con BF. Se obtuvo un $p < 0,05$ demostrando que existe un efecto significativo en el contenido de clorofila luego de aplicar los diferentes tratamientos con BF. Así mismo, la regresión mostró un incremento lineal

de clorofila en función a los tratamientos con BF en la cuarta y séptima semana (Figura 3).

Tabla 3. Contenido de clorofila después de aplicar el BF

Tratamiento	Contenido de clorofila (mg cm^{-2})		
	Semana 1	Semana 4	Semana 7
T1	0,0345 ± 0,0038	0,0377 ± 0,0037	0,0470 ± 0,0033
	0,0315 ± 0,0023	0,0391 ± 0,0036	0,0445 ± 0,0034
T3	0,0333 ± 0,0029	0,0429 ± 0,0030	0,0496 ± 0,0028
	0,0331 ± 0,0041	0,0349 ± 0,0019	0,0405 ± 0,0035
Valor p	0,3637	<0,001	<0,001

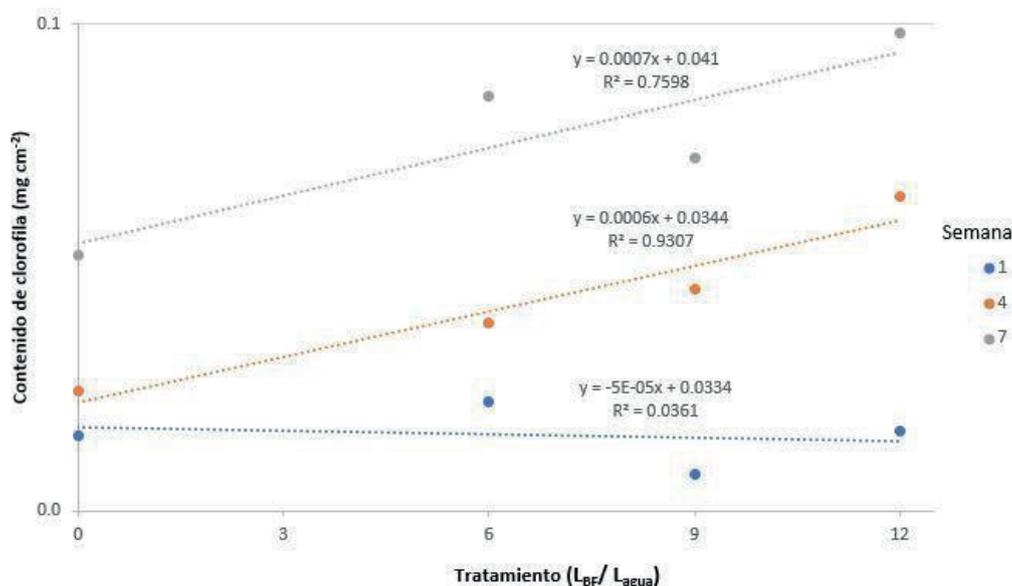


Figura 3. Regresión del efecto de BF sobre la concentración de clorofila

Efecto de BF en indicadores económicos

La Tabla 4 muestra los resultados del análisis de varianza con respecto a los indicadores económicos (IE) y los tratamientos con BF., dichos IE incrementaron acorde al aumento de la concentración del BF El T3 presenta una mayor tasa de retorno marginal en comparación con los demás tratamientos, por otro lado, el T4 presenta el valor más bajo.

Tabla 4. Indicadores económicos tras el uso de BF en el cultivo de maíz

Tratamiento	Indicadores económicos			Tasa de retorno marginal %
	Rendimiento	Ingreso bruto	Ingreso Neto	
	10 ³ kg ha ⁻¹	S/. ha ⁻¹		
T1	72,95	21885	9077,63	70,88
T2	75,62	22686	9878,63	77,13
T3	79,29	23787	10979,63	85,73
T4	65,01	19503	6695,63	52,28

Indicadores se obtuvieron sobre la base del precio medio de la venta de maíz en febrero de 2019

Discusión

Efecto de BF en indicadores morfológicos

Los resultados obtenidos son consistentes con el estudio realizado por Dineshkumar *et al.* (2019), en el cual emplea un biofertilizante a base de estiércol vacuno y microalgas marinas para el cultivo de maíz, observaron que la aplicación del biofertilizante incrementa el rendimiento de crecimiento del cultivo. De igual forma en el trabajo realizado por Asadu *et al.* (2018), reporta un incremento en los indicadores morfológicos (altura de planta y número de hojas) en el cultivo de maíz luego

de aplicar un biofertilizante obtenido a partir de residuos agrícolas en diferente dosis. En otra investigación realizada por Quintero Rodriguez *et al.* (2018) emplean diferentes biofertilizantes basados en microorganismos eficientes para el cultivo de frejol y reportan el incremento de los indicadores morfológicos (altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas por planta).

Efecto de BF en el contenido de clorofila

Los resultados son consistentes con los obtenidos por Dineshkumar *et al.* (2019), quienes reportan niveles altos de clorofila a y b en cultivo de maíz tras el tratamiento con biofertilizantes formulados a partir de estiércol de vaca, *Chlorella vulgaris* y *Spirulina platensis*. De igual forma los resultados obtenidos por Hoseini *et al.* (2015), reportan el incremento de clorofila en *Stevia rebaudiana Bertoni* tras aplicar un biofertilizante basado en estiércol de vaca, vermicompost y dos micorrizas. Por otro lado, los resultados reportados por Mahanty *et al.* (2017) indican que un biofertilizante puede incrementar la actividad fotosintética de plantas al aumentar el contenido de clorofila en las hojas de plantas. El efecto en el contenido de clorofila puede deberse a que el BF incrementa la cantidad de N disponible para la planta (Chiconato *et al.*, 2014) y de acuerdo a Chemutai *et al.* (2019) el N es un nutriente relacionado con la formación de pigmentos fotosintéticos como la clorofila.

Efecto de BF en indicadores postcosecha

Los resultados de rendimiento obtenidos son consistentes con los reportados por Tejada *et al.* (2016) quienes informan un incremento del 17% por la aplicación

de un biofertilizante del cultivo de maíz. Además, Islas-Valdez *et al.* (2017) reporta un efecto significativo en el rendimiento del cultivo cebada al aplicar un biofertilizante obtenido por residuos orgánicos agrícolas. Del mismo, De Matos Nascimento *et al.* (2020) indica que la aplicación de un biofertilizante tiene una influencia positiva en el rendimiento del cultivo de maíz.

El efecto significativo del BF en los IM e IP de maíz puede ser debido a que el BF es un compuesto orgánico que se degrada gradualmente liberando en el suelo compuestos como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), que son esenciales para un adecuado estado nutricional de las plantas (Moe *et al.*, 2019). El N es compuesto que influye en el crecimiento del sistema reticular de las plantas y como resultado la planta incrementa su capacidad de absorber otros elementos nutritivos (Baiea *et al.*, 2017). Los resultados están acordes con el estudio realizado por Jaliya *et al.* (2008), reportan que suministrar NPK en el cultivo de maíz produce un incremento significativo en el rendimiento de producción específicamente en los siguientes indicadores: número de mazorca ha⁻¹, peso de grano/planta y rendimiento de grano ha⁻¹. Además, Adebayo *et al.* (2017) reportan que el estiércol de origen animal contiene NPK y estos influyen de forma significativa al desarrollo de las plantas.

De forma general, un biofertilizante es de naturaleza orgánica y contiene microorganismos que interactúan con la raíz de las plantas o en la rizosfera (M. Singh *et al.*, 2016). Los microorganismos presentes en los biofertilizantes ayudan a las plantas a acceder a la disponibilidad de nutrientes en la región rizosférica, normalmente las cepas microbianas intervienen en la fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, etc. (Adekiya *et al.*, 2016; Umesha *et al.*, 2017). Los resultados en el presente estudio están en conformidad con los hallazgos de Obid *et al.* (2016) quienes informan que aplicar un biofertilizante con microorganismos tiene un efecto significativo en el rendimiento del cultivo de maíz. Además, Panchal *et al.* (2018) reportan que aplicar un biofertilizante incrementa el rendimiento del cultivo de maíz, además ocasiona el incremento en longitud, circunferencia, número y peso de mazorca de maíz, asimismo el biofertilizante incrementó la población de microorganismos en torno al cultivo maíz.

Efecto de BF en indicadores económicos

Es claro que el BF mejora significativamente los IE, de esta forma podemos afirmar que aplicar el BF en el cultivo de maíz es viable económicamente, ya que incrementa los ingresos netos y la tasa de retorno marginas. Los resultados obtenidos están de acuerdo el trabajo realizado por Monem *et al.* (2001) y Singh *et al.*

(2017) quienes reporta la influencia positiva en IE por la aplicación de biofertilizantes en el cultivo de maíz y lenteja respectivamente. Mishra *et al.* (2018) informaron resultados similares en el incremento de ingresos netos por aplicar un biofertilizante en el cultivo crisantemo.

Por otro lado, la producción anaeróbica del BF a partir residuos agropecuarios (estiércol bovino) y efluentes de industria láctea (suero láctico), tiene un gran potencial para promover una agricultura sostenible en nuestro país, puesto que además de dar un valor agregados a estos residuos también es posible generar energía eléctrica sostenible y aplicarla en el mismo proceso o en otros requerimientos agrícolas (Milech *et al.*, 2015).

Conclusiones

1. La aplicación del biofertilizante obtenido a partir de estiércol bovino y suero láctico muestra un efecto positivo en la productividad de maíz, es decir en los iniciadores morfológicos, postcosecha, económicos y contenido de clorofila.
2. El tercer tratamiento, biofertilizante en concentración de $12 L_{BF}/L_{agua}$, muestra valores más altos en todos los indicadores estudiados en comparación a los demás tratamientos. Por tanto, aplicar el biofertilizante en el cultivo de maíz es viable económicamente.

Agradecimientos

La presente investigación se realizó gracias a la Universidad Católica de Santa María de Arequipa (UCSM) a través del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables y Medio Ambiente (INNOVERGY). Así mismo, agradecer al Programa Nacional de Innovación Agraria y a la Asociación de Productores Agropecuarios Majes-CALASPAM que con su apoyo se llevó a cabo esta investigación. Por otro lado, agradecemos al Dr. Gonzalo Dávila del Carpio ex Vicerrector de Investigación de la USCM y también a la técnica Verónica Salinas Murillo, asistente de investigación de INNOVERGY.

Referencias bibliográficas

Adebayo, A. G., Akintoye, H. A., Shokalu, A. O., & Olatunji, M. T. (2017). Soil chemical properties and growth response of Moringa oleifera to different sources and rates of organic and NPK fertilizers. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6(4), 281–287. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0175-5>

- Adekiya, A. O., Ojeniyi, S. O., & Owonifari, O. E. (2016). Effect of cow dung on soil physical properties, growth and yield of maize (*Zea mays*) in a tropical Alfisol. *Scientia Agriculturae*, *15*(2), 374–379.
- Asadu, C. O., Aneke, N. G., Egbuna, S. O., & Agulanna, A. C. (2018). Comparative studies on the impact of bio-fertilizer produced from agro-wastes using thermo-tolerant actinomycetes on the growth performance of Maize (*Zea-mays*) and Okro (*Abelmoschus esculentus*). *Environmental Technology & Innovation*, *12*, 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.07.005>
- Baiea, M. H. M., Gawad-Nehad, M. A. A., & Abedelkhalek, A. (2017). Influence of Natural Alternative NPK and Bio-fertilizations on Vegetative Growth and Nutritional Status of Young Wonderful Pomegranate Trees. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1–8.
- Barzallo-Bravo, L. A., Carrera-Villacrés, D., Vargas-Verdesoto, R. E., Ponce-Loaiza, L. K., Correoso, M., & Gavilanes-Quishpi, Á. P. (2019). Bio-digestion and post-treatment of effluents by bio-fermentation, an opportunity for energy uses and generation of organic fertilizers from bovine manure. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *8*(4), 431–438. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0275-5>
- Brousett-Minaya, M., Torres Jiménez, A., Chambi Rodríguez, A., Mamani Villalba, B., & Gutiérrez Samata, H. (2015). Physicochemical, microbiological and toxicological quality of raw milk in cattle basins of the region Puno-Peru. *Scientia Agropecuaria*, *6*, 165–176. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.03.03>
- Caballero, P., Rodríguez-Morgado, B., Macías, S., Tejada, M., & Parrado, J. (2020). Obtaining Plant and Soil Biostimulants by Waste Whey Fermentation. *Waste and Biomass Valorization*, *11*(7), 3281–3292. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00660-7>
- Chemutai, R., Mwine, J., Awichi, R., & Bwogi, G. (2019). Effects of NPK and plant tea manure (*Tithonia diversifolia*) on growth rate of amaranth (*Amaranthus cruentus* L .) in soilless growing media. *African Journal of Agricultural Research*, *14*(27), 1169–1179. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.13928>
- Chiconato, D. A., Galbiatti, J. A., Junior, M., Franco, C. F., & Caramelo, A. D. (2014). Bovine biofertilizer and irrigation layers on lettuce development and leaf chlorophyll. *Comunicata Scientiae*, *5*(2).
- Correa-Galeote, D., Bedmar, E. J., Fernández-González, A. J., Fernández-López, M., & Arone, G. J. (2016). Bacterial Communities in the Rhizosphere of Amilaceous Maize (*Zea mays* L.) as Assessed by Pyrosequencing. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 7, p. 1016). <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2016.01016>
- Da Silva, L., Rocha, A. E., Araujo, J. R. G., dos Reis, R. M., Muniz, F. H., & Mesquita, M. L. R. (2016). Vegetation structure of naturally occurring areas of mangaba *Hancornia speciosa* Gomes in the mid-north region of Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, *11*(32), 2937–2946.
- De Matos Nascimento, A., Maciel, A. M., Silva, J. B. G., Mendonça, H. V., de Paula, V. R., & Otenio, M. H. (2020). Biofertilizer application on corn (*Zea mays*) increases the productivity and quality of the crop without causing environmental damage. *Water, Air, & Soil Pollution*, *231*(8), 414. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04778-6>
- Dineshkumar, R., Subramanian, J., Gopalsamy, J., Jayasingam, P., Arumugam, A., Kannadasan, S., & Sampathkumar, P. (2019). The Impact of Using Microalgae as Biofertilizer in Maize (*Zea mays* L.). *Waste and Biomass Valorization*, *10*(5), 1101–1110. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0123-7>
- García Mendoza, P. J. (2017). El cultivo del maíz en el mundo y en Perú. *Revista de Investigaciones de La Universidad Le Cordon Bleu*, *4*(2), 73–79. <https://doi.org/10.36955/riulcb.2017v4n2.005>
- González-Díaz, A., Ojeda-Morales, M. E., Hernández-Rivera, M. A., Córdova-Bautista, Y., Díaz-Flores, L. L., López-Lázaro, J. de los S., & Álvarez-Ramírez, J. G. (2019). Effect of biofertilizers application on the growth of *Eucalyptus grandis* seedlings under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition*, *42*(19), 2560–2576. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1655040>
- Hoseini, R. Z., Goltapeh, E. M., & Kalatejari, S. (2015). *Effect of bio-fertilizer on growth, development and nutrient content (leaf and soil) of Stevia rebaudiana Bertoni*. *4*, 691–704.
- Islas-Valdez, S., Lucho-Constantino, C. A., Beltrán-Hernández, R. I., Gómez-Mercado, R., Vázquez-Rodríguez, G. A., Herrera, J. M., & Jiménez-González,

- A. (2017). Effectiveness of rabbit manure biofertilizer in barley crop yield. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(33), 25731–25740. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5665-2>
- Jaliya, M. M., Falaki, A. M., Mahmud, M., & Sani, Y. A. (2008). Effect of sowing date and NPK fertilizer rate on yield and yield components of quality protein maize (*Zea mays* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 3(2), 23–29.
- Khaire, R. A., & Gogate, P. R. (2018). Intensi fi ed recovery of lactose from whey using thermal, ultrasonic and thermosonication pretreatments. *Journal of Food Engineering*, 237, 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.027>
- Lima-Medina, I., Bravo, R. Y., & Aguilar-Gomez, M. I. (2018). Nematodos fitoparasitos asociados al cultivo de Maiz (*Zea mais* L.) en las regiones de Puno y Cusco. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 20(1), 31–38. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.328>
- Lorin, H., Costa, M., Costa, L. a, Pereira, D., & Carneiro, L. (2016). Stabilization of confined beef cattle manure: characteristics of produced fertilizers. In *Engenharia Agrícola* (Vol. 36, pp. 877–885). scielo.
- Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A., & Tribedi, P. (2017). Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), 3315–3335. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>
- Mahmood, Y. A., Mohammed, I. Q., & Ahmed, F. W. (2020). Effect of organic fertilizer and foliar application with Garlic extract, Whey and bio fertilizer of bread yeast in availability of NPK in soil and plant, Growth and Yield of Tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill). *Plant Archives*, 20(1), 151–158.
- Milech, F. B., Cabreira, R. M., Luz, M. L. G. S., Luz, C. A. S., Gadotti, G. I., & Gomes, M. C. (2015). Electricity generation and biofertilizer on a dairy farm using anaerobic biodigesters. *Científica*, 43(2), 101. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2015v43n2p101-108>
- Mishra, D. K., Jain, R., Shukla, A. K., & Deshwal, A. (2018). Impact of Bio-Fertilizers on the Yield and Economics of Chrysanthemum Under Real Farming Situation. *Current Agriculture Research Journal*, 6(1), 105–108. <https://doi.org/10.12944/carj.6.1.13>
- Moe, K., Htwe, A. Z., Thu, T. T. P., Kajihara, Y., & Yamakawa, T. (2019). Effects on NPK status, growth, dry matter and yield of rice (*Oryza sativa*) by organic fertilizers applied in field condition. *Agriculture*, 9(5), 109.
- Monem, M. A. S. A., Khalifa, H. E., Beider, M., Ghandour, I. A. El, & Galal, Y. G. M. (2001). Using Biofertilizers for Maize Production: Response and Economic Return Under Different Irrigation Treatments. *Journal of Sustainable Agriculture*, 19(2), 41–48. https://doi.org/10.1300/J064v19n02_05
- Montero, S., Santos, D. F. L., & Lucas Junior, J. de. (2017). Economic and financial viability of digester use in cattle confinement for beef. *Engenharia Agrícola*, 37, 353–365.
- Montoro, S. B., Lucas, J., Santos, D. F. L., & Costa, M. S. S. M. (2019). Anaerobic co-digestion of sweet potato and dairy cattle manure: A technical and economic evaluation for energy and biofertilizer production. *Journal of Cleaner Production*, 226, 1082–1091. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.148>
- Nunes da Silva, M., Pintado, M. E., Sarmiento, B., Stamford, N. P., & Vasconcelos, M. W. (2019). A biofertilizer with diazotrophic bacteria and a filamentous fungus increases *Pinus pinaster* tolerance to the pinewood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). *Biological Control*, 132, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.01.013>
- Obid, S. A., Idris, A. E., & Mohamed Ahmed, B. E. A. (2016). Effect of Bio-Fertilizer on Growth and Yield of Two Maize (*Zea mays* L.) Cultivars at Shambat, Sudan. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 3(4), 313–317. <https://doi.org/10.21276/sjavs.2016.3.4.9>
- Panchal, B. H., Patel, V. K., Patel, K. P., & Khimani, R. A. (2018). Effect of Biofertilizers, Organic Manures and Chemical Fertilizers on Microbial Population, Yield and Yield Attributes and Quality of Sweetcorn (*Zea mays* L., *saccharata*) cv. Madhuri. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(09), 2423–2431. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.301>

- Petrovic, B., Kopta, T., & Pokluda, R. (2019). Effect of biofertilizers on yield and morphological parameters of onion cultivars. *Folia Horticulturae*, 31(1), 51–59. <https://doi.org/10.2478/fhort-2019-0002>
- Quintero Rodriguez, E., Calero Hurtado, A., Perez Diaz, Y., & Enriquez Gomez, L. (2018). Effect of different biostimulants in the yields of common beans. *Centro Agrícola*, 73–80.
- Singh, M., Dotaniya, M. L., Mishra, A., Dotaniya, C. K., Regar, K. L., & Lata, M. (2016). Role of biofertilizers in conservation agriculture. In *Conservation Agriculture: An Approach to Combat Climate Change in Indian Himalaya* (pp. 113–134). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2558-7_4
- Singh, N., Singh, G., & Aggarwal, N. (2017). Economic analysis of application of phosphorus, single and dual inoculation of Rhizobium and plant growth promoting rhizobacteria in lentil (*Lens culinaris* Medikus). *Journal of Applied and Natural Science*, 9(2), 1008–1011. <https://doi.org/10.31018/jans.v9i2.1312>
- Tejada, M., Rodríguez-morgado, B., Gómez, I., Franco-andreu, L., Benítez, C., & Parrado, J. (2016). Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. *European Journal of Agronomy*, 78, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.014>
- Umesha, S., Singh, P. K., & Singh, R. P. (2017). Microbial biotechnology and sustainable agriculture. In *Biotechnology for Sustainable Agriculture: Emerging Approaches and Strategies* (pp. 185–205). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812160-3.00006-4>
- Véras, M. L. M., de Melo Filho, J. S., de Sousa Alves, L., da Silva, T. I., de Melo Gonçalves, A. C., & Dias, T. J. (2017). Water salinity and bovine biofertilizer in the production of eggplant seedlings. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11(7), 1986.