



Digestatos procedentes de la obtención de biogás a partir de purines vacunos en la producción de cebolla en zonas áridas

Digestates from the production of biogas from cattle slurry in onion production in arid zones

Pedro Coaguila¹; Roxana Bardales²; Omar Zeballos^{1,*}

¹ Escuela de Posgrado, Universidad Católica de Santa María de Arequipa, Perú.

² Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas; Universidad Católica de Santa María de Arequipa, Perú.

Received August 28, 2018. Accepted March 11, 2019.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos dosis de Biosol y de cuatro niveles de Biol sobre la producción del cultivo de cebolla variedad "Camaneja" en la Irrigación Majes. El Biol y Biosol utilizados fueron los remanentes de la planta de Biogás de la Universidad Católica de Santa María instalada en la Irrigación Majes. El experimento se realizó en una parcela experimental conducida bajo riego por goteo, estableciendo dos dosis de biosol y cuatro niveles de biol comparado con un tratamiento adicional (testigo con fertilización química), teniendo un total de 9 tratamientos, distribuidos en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial, incluido el tratamiento adicional y tres repeticiones. El biosol fue aplicado en fertilización de fondo antes de la instalación del experimento mientras que las aplicaciones foliares de Biol se realizan al surco húmedo para los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de bulbo, porcentaje de materia seca y rendimiento. Se determinó que la mejor dosis de biosol fue de 2 t·ha⁻¹ y el mejor nivel de biol fue de 50%.

Palabras clave: *Allium cepa*; biol; biosol; zonas áridas.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of two doses of solid digestate and four levels of liquid digestate on the production of onion cultivation "Camaneja" in Majes Irrigation. The liquid digestate and solid digestate used were the remnants of the Biogas plant of the Universidad Católica de Santa María installed in the Majes Irrigation. The experiment was conducted in an experimental plot conducted under drip irrigation, establishing two doses of solid digestate and four levels of liquid digestate compared to an additional treatment (control with chemical fertilization), having a total of 9 treatments, distributed in a randomized complete block design with factorial arrangement, including the additional treatment and three repetitions. The solid digestate was applied in bottom fertilization before the installation of the experiment while the foliar applications of liquid digestate are made to the wet furrow for the 15, 30, 45 and 60 days after the transplant. The variables evaluated were: plant height, bulb diameter, percentage of dry matter and yield. It was determined that the best dose of solid digestate was 2 t·ha⁻¹ and the best level of liquid digestate was 50%.

Keywords: *Allium cepa*; liquid digestate; solid digestate; arid zones.

1. Introducción

Actualmente, ha habido un interés creciente en la aplicación de la digestión anaeróbica para procesar varios tipos de desechos orgánicos para reducir las emi-

siones de gas metano (CH₄). La conversión de desechos orgánicos en productos de bioenergía puede proporcionar simultáneamente una práctica efectiva de manejo de desechos y puede reducir la dependen-

How to cite this article:

Coaguila, P.; Bardales, R.; Zeballos, O. 2019. Digestatos procedentes de la obtención de biogás a partir de purines vacunos en la producción de cebolla en zonas áridas. *Scientia Agropecuaria* 10(1): 119-124.

* Corresponding author
E-mail: omar_zc@hotmail.com (O. Zeballos).

cia de las fuentes de energía de combustibles fósiles (Abdul-Aziz *et al.*, 2018).

De un tiempo a esta parte nos enfrentamos a una crisis relacionada con la disponibilidad de fuentes de energía que no sean las provenientes de combustibles fósiles las cuales se concentran en pocas áreas geográficas de la tierra generando dependencia energética además de ser recursos limitados (Comparetti *et al.*, 2013).

Las políticas climáticas y energéticas de muchos países respaldan y promueven el uso de las fuentes de energía renovables (European Parliament, 2009), considerando como una de las fuentes de energía renovables sustentable y más prometedora a la generada por el uso de la biomasa, es decir la bioenergía (Cherubini y Strømman, 2011).

Existe un considerable potencial de producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica (DA) de estiércol animal y lodos (Holm-Nielsen *et al.*, 2009) generando mucho interés y logros en aplicaciones para biogás y producción de energías renovables estimulando nuevas áreas de investigación (Akhlar *et al.*, 2016) además de poder ser una opción efectiva de tratamiento de desechos con respecto a la reducción de sólidos totales (Alfa *et al.*, 2014).

La DA consiste en una serie de reacciones metabólicas (es decir, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis), realizadas por una amplia gama de microorganismos y que producen un gas que contiene principalmente metano (CH₄) (biogás) y un sustrato digerido (digestato) (Themelis y Ulloa, 2007) reduciendo de esta manera la emisión de gases de efecto invernadero y contaminación del aire y el agua; permitiendo la desinfección de desechos y preservación de los recursos naturales mediante el uso de productos finales como enmiendas del suelo y fertilizantes (Stinner *et al.*, 2008).

El líquido subsecuente a la digestión de una planta de biogás puede usarse ya sea en forma líquida o sólida (Koszel y Lorencowicz, 2015) en ese sentido la separación de digestatos crea dos productos, uno líquido y un material fibroso (Möller y Müller, 2012) pudiendo definirse al digestato como un líquido proveniente de la descomposición anaeróbica de desechos de animales y vegetales (Koszel y Lorencowicz, 2015) el cual contiene cantidades considerables de elementos minerales (nitrógeno, fósforo, potasio) con bajos índices de C/N, lo que los hace interesantes como fertilizantes o enmiendas del suelo en la producción cultivos agrícolas (Zanin *et al.*, 2016). Por lo tanto, la planta de biogás no es solo un

productor de energía, sino que también constituye una fuente de valioso fertilizante orgánico (Czubaszek, 2019) en donde el líquido posterior a la digestión debido a sus propiedades fisicoquímicas, cumpliría con este fin (Koszel *et al.*, 2018) por otro lado en términos de rapidez de acción (absorción de elementos por las plantas), se asemeja a los fertilizantes minerales, ya que los elementos N, P y K están fácilmente disponibles para las plantas. La pasta post-digestión también contiene una parte de material orgánico, que tiene un efecto positivo en las propiedades fisicoquímicas de los suelos fertilizados (Odlare *et al.*, 2008; Rehl *et al.*, 2011) pudiendo utilizarse como enmienda del suelo aunque su utilidad depende de su impacto en la fertilidad del suelo y el contenido de minerales en la parte comestible del cultivo (Przygocka-Cyna *et al.*, 2018).

Las grandes cantidades de residuos biodegradables producidos por los sistemas de producción ganadera intensiva pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente, si no se gestionan adecuadamente (Alburquerque *et al.*, 2012), asimismo, la agricultura intensiva ha promovido la degradación del suelo y la pérdida de materia orgánica y fertilidad, incrementado los costos de producción (para mantener la productividad) y contribuido a las emisiones de CO₂ (European Environment Agency, 2010).

En este contexto, el reciclaje de digestatos en sistemas agrícolas tiene un papel importante, al reducir el uso de fertilizantes minerales, lo que genera efectos positivos con respecto a la conservación de recursos (menor consumo de combustibles fósiles y recursos minerales), mitigación del cambio climático y mantenimiento de la calidad del suelo (Alburquerque *et al.*, 2012) pudiendo producirse en cualquier lugar a través de la DA además de ser más económico en relación con otros fertilizantes (Owama *et al.*, 2014). La aplicación de digestato de biogás como fertilizantes orgánicos puede aumentar la absorción de N por encima del suelo y el rendimiento de biomasa (Arthurson, 2009) y mejorar las propiedades físicas del suelo en términos de menor densidad aparente, mayor conductividad hidráulica y mayor retención de humedad del suelo (Garg *et al.*, 2005) teniendo además efectos positivos en problemas sociales, productivos y ambientales (Zhao *et al.*, 2009).

Se han reportado algunos resultados contradictorios sobre el efecto de los digestatos sobre los rendimientos de los cultivos (Möller y Müller, 2012) los cuales se pueden

agrupar en tres categorías de comportamiento: similar al control no fertilizado, similar o mejor que la materia prima no digerida e igual o mejor que la fertilización mineral (Nkoa, 2014).

Países del norte de Europa como Dinamarca, Suecia, Escocia o Alemania han utilizado los digestatos en la agricultura, principalmente para la producción de cereales (Möller y Stinner, 2009), sin embargo estos resultados no se pueden extrapolar directamente a los sistemas de producción intensiva de cultivos, como es el caso de la costa peruana, dichos sistemas se caracterizan por una gran demanda de fertilizantes y un corto período de cultivo en condiciones climáticas de tipo desérticas, en ese sentido, es necesario realizar investigaciones para evaluar el uso agronómico adecuado de los digestatos provenientes de plantas de producción de biogás para las condiciones de la Irrigación Majes, en cultivos hortícolas representativos de nuestra región como es la cebolla, además de ser es el segundo cultivo hortícola más relevante del mundo (Abdelmageed et al., 2013), considerando que el interés de los agricultores asociado con la utilización de digestato está relacionado con la disponibilidad de materia orgánica y su desequilibrio en los suelos costeros debido a la agricultura intensiva a la que son sujetos.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos dosis de biosol (digestato sólido) y de cuatro niveles de Biol (digestato líquido) en la producción del cultivo de cebolla en zonas áridas.

2. Materiales y métodos

El experimento se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar con nueve (09) tratamientos y tres (3) repeticiones, distribuidos en un arreglo factorial 2A4B, y un tratamiento adicional a manera de testigo que tubo solo fertilización química. El factor Biosol consistía de dos niveles 2 y 4 t·ha⁻¹, mientras que el factor Biol consistía de cuatro niveles: 20, 35, 50 y 60% los cuales hacen referencia a la % de Biol puro y su mezcal con agua. Se utilizaron urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio para el tratamiento con fertilización química. Los digestatos provienen de los remanentes de la producción de biogás y su purificación a biometano mediante “reformado” concentrado y purificado del CH₄ de la mezcla gaseosa por arriba del 95 % ofreciendo claras ventajas y oportunidades para su uso con respecto al biogás precursor ya que puede ser presurizado y envasado a alta y baja presión (Reátegui et al., 2018). Se realizó una prueba de F para los

diferentes cuadrados medios (CM) y la prueba de Duncan al 0,05 para comparar las medias de los tratamientos y pruebas de contras ortogonales lineales entre los tratamientos en estudio y el tratamiento adicional (fertilizante químico).

Tabla 1
Análisis de nutrientes del biol aplicado en el experimento

Característica	Valor
pH	7,83
C.E. (dS/m)	5,6
Solidos totales (g/L)	4,96
M.O en Solución (g/L)	1,9
N total (mg/L)	364
P total (mg/L)	73,24
K total (mg/L)	810
Ca total (mg/L)	159,5
Mg total (mg/L)	147,5
Na total (mg/L)	505
Fe total (mg/L)	4,01
Cu total (mg/L)	0,76
Zn total (mg/L)	1,58
Mn total (mg/L)	0,8
B total (mg/L)	2,33

El experimento se instaló en el fundo “La Católica”, propiedad de la Universidad Católica de Santa María (UCSM) localizado en la Irrigación Majes, el cual se encuentra comprendido, dentro de las coordenadas 16° 15' a 16° 20' 478 de latitud Sur y 72° 15' de longitud Oeste y a una altitud promedio de 1375 msnm a 100 km de la ciudad de Arequipa, con dirección Nor-Oeste (AUTODEMA, 2017). La ampliación de la frontera agrícola por irrigación (Irrigación Majes) se da en tablazos costeros prácticamente sin precipitaciones constituyendo uno de los desiertos más absolutos del planeta (Jiménez et al., 2002), estas condiciones hacen que sea considerado una zona árida.

Tabla 2
Análisis microbiológico del biol del experimento

Organismos mesófilos totales (UFC / ml)		Bacterias fijadoras de N de vida libre		
Bacterias	Actinomicetos	Hongos	Organismos / ml	Bacterias nitrificantes
4,93	3,00	1,70	7,50	4,30
x 10 ⁵	x 10 ³	x 10 ²	x 10 ¹	x 10 ⁴

UFC: Unidad formadora de colonia.

El manejo de cultivo de cebolla fue bajo la misma metodología del agricultor, es decir, forma de siembra, riego, aplicación de materia orgánica (estiércol de vacuno 20 t·ha⁻¹) y labores culturales complementarias.

El cultivar de cebolla utilizado fue “Roja camaneja” en la preparación del terreno como primer paso se procedió al desempiedre y limpieza de malezas y residuos de la campaña anterior, posteriormente fue aplicado el estiércol de vacuno junto con aplicaciones periódicas de riego pesado

por espacio de 1 mes para después aplicar los niveles de Biosol acorde a los tratamientos en estudio introduciéndolo con disco dentro de la capa arable, para luego nivelar o borrar con el riel de tal forma que quede plano o nivelado quedando apto el terreno para el surcado y posterior trasplante. Las aplicaciones foliares de Biol se realizaron al surco húmedo en Drench (para el crecimiento vegetativo y llenado del bulbo) fueron 4 aplicaciones: 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante (DDT). La unidad experimental tuvo un área de 20 m², el largo del campo experimental fue de 40 m y el ancho del campo experimental 17 m, teniendo un área total experimental de 680 m². El biol y biosol fueron obtenidos de la planta de producción de biogás instalada en el fundo de la UCSM, se realizaron análisis microbiológico y de nutrientes del biol producido en dicha planta (Tabla 1).

3. Resultados y discusión

En la Tabla 3 se observa que para la variable altura de planta no existe diferencia estadística significativa en todas sus fuentes de variación, para las variables diámetro de bulbo y rendimiento se observa que existe diferencia estadística significativa en la fuente de variación biol y en la comparación “Factorial Vs Adicional”. Para la variable % de materia seca de bulbo se observa que existe diferencia estadística significativa en las fuentes de variación bloque y biol. Con respecto a la variable altura de planta podemos inferir que no existe una respuesta de la planta con respecto a las dosis de aplicación de los digestatos, esto se evidencia a lo largo del periodo vegetativo (Figura 1) y esto se debe probablemente a que el cultivo estaría tomando los nutrientes necesarios para su crecimiento vegetativo directamente del suelo producto de la mineralización de la materia orgánica contenida en el estiércol de vacuno previamente aplicado, estos resultados coinciden con lo reportado por Moreira et al. (2016) quien evaluó diferentes niveles de Biol en el cultivo de cebolla y con lo reportado por

Gallegos (2010) quien evaluó diferentes niveles de Biol en cebolla china.

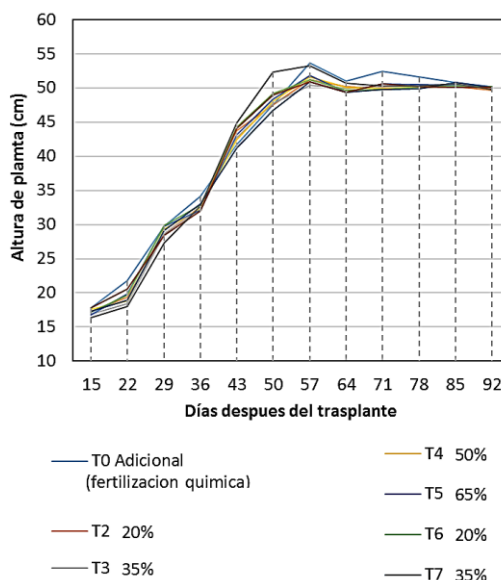


Figura 1. Curva de crecimiento a lo largo del periodo vegetativo de cebolla “Allium cepa” variedad Camaneja.

Para las variables diámetro de bulbo y rendimiento se observa que el mejor nivel de biol fue el de 50% (Tabla 4) siendo estadísticamente igual al nivel de 65% y estadísticamente diferente a los niveles de 20 y 35%, estas diferencias se deben probablemente a la existencia de un efecto inhibitorio de los bioestimulantes cuando estos son aplicados en grandes cantidades (Nardi et al., 2016) considerando además que el proceso de digestión anaeróbica es una biotecnología útil para producir bioestimulantes (Scaglia et al., 2017). Por otro lado la diferencia entre el tratamiento adicional (fertilización química) y los tratamientos con biol se debe a que estos producirían una reducción de la fracción disponible de P y micronutrientes para la planta (Möller y Müller, 2012) considerando que el P tiene un efecto significativo en el diámetro de bulbo en cebolla, dicho efecto se manifiesta a través de una influencia en el desarrollo del bulbo afectando el rendimiento del mismo (Aliyu et al., 2007).

Tabla 3

Análisis de varianza para altura final (922 DDT), diámetro de bulbo (92 DDT), rendimiento y % de materia seca de bulbo

F.V	G.L	F.C				F.T (α=0,05)
		Altura final	Diámetro bulbo	Rendimiento	% Materia seca	
Bloque	2	0,12 N.S	0,43 N.S	0,76 N.S	8,67 *	3.63
Biosol	1	0,23 N.S	0,49 N.S	0,25 N.S	0,21 N.S	4.49
Biol	3	0,03 N.S	94,94 *	11,98 *	4,39 *	3.24
Biosol*Biol	3	0,45 N.S	1,47 N.S	2,93 N.S	0,15 N.S	3.24
Factorial Vs Adicional	1	0,19 N.S	389,50 *	858,63 *	1.00 N.S	4.49
Error experimental	16					
C.V		1,38	0,55	5,13	2,6	

Tabla 4

Promedio del tratamiento adicional y efecto principal del factor biol en promedio de los niveles del factor biosol para diámetro de bulbo (cm), rendimiento categoría "Primera" (t·h⁻¹) y % de materia seca de bulbo

	Diámetro bulbo (cm)	Rendimiento (t·h ⁻¹)	% de materia seca de bulbo
B50	5,26 a	14297,62 a	9,46 ab
B65	5,25 a	14011,90 a	9,92 a
B20	5,07 b	12553,57 b	9,13 b
B35	5,05 b	12125,00 b	9,09 b
Adicional	5,5 *	26821,43 *	9,67 N.S

*Promedios con letras iguales no son diferentes estadísticamente según Duncan al 0,05%.

Con respecto al porcentaje de materia seca de bulbo se observa que el mayor porcentaje se obtuvo con el nivel de 65% siendo este estadísticamente igual al nivel de 50% y este estadísticamente igual a los niveles de 20 y 35%, sin embargo no hubo diferencia estadística significativa de estos niveles de biol con el tratamiento adicional (fertilización química), considerando que el potasio y el nitrógeno son los elementos presentes en el mayor porcentaje en la materia seca en cebolla (De Resende y Costa, 2014) y que el N y K acumulado en las hojas durante el período de crecimiento vegetativo se traslada de las hojas a los bulbos en su desarrollo y en su etapa de maduración (Thangasamy, 2015) se puede inferir que la alta disponibilidad de N (NH₄) dada por los digestatos (Möller y Müller, 2012) y al alto contenido de potasio disponible (Finck, 1988; López et al., 2003) debido a las características de la Irrigación Majes (suelos áridos), propiciaron estos resultados más aun acorde a lo reportado por Kandil (2013) donde señala que el contenido de materia seca en el bulbo no se ve afectado por la fertilización fosfórica.

4. Conclusiones

La contribución de este estudio consistió en encontrar los niveles óptimos de aplicación de biol y biosol para la producción de hortalizas bajo condiciones de zonas áridas, en ese sentido se determinó que el mejor nivel de biosol para la producción de cebolla en zonas áridas esta entre 2 y 4 t·ha⁻¹ no habiendo diferencia estadística significativa entre ambos niveles. En cuanto al mejor nivel de biol, se encontró que el mejor fue el de 50%, niveles más altos no demostrarían una mejora en el rendimiento del cultivo. Debido a que los tratamientos basados en aplicaciones de biol y biosol no lograron igualar al tratamiento adicional (fertilización química) es que se sugiere que para futuras investigaciones se evalué la interacción entre de los mejores niveles de

biol y biosol determinados en este estudio con aplicaciones de otras fuentes de fertilizantes orgánicos como gallinaza o guano de isla a fin de minimizar lo posible el uso de fertilizantes químicos y dar un mejor aprovechamiento a los residuos agrícolas.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada gracias a la subvención proveniente del fondo para la investigación en la Universidad Católica de Santa María (Resolución 24155-2017), concurso organizado por el Vicerrectorado de Investigación.

Referencias bibliográficas

- Abdul-Aziz, N.I.H.; Hanafiah, M.M.; Mohamed, A.M.Y. 2018. Sustainable biogas production from agrowaste and effluents – A promising step for small-scale industry income. *Renewable Energy* 132: 363-369.
- Abdelmageed, A.H.A.; El Balla, M.M.A.; Hamid, A. 2013. Effects of time of water stress on flowering, seed yield and seed quality of common onion (*Allium cepa* L.) under the arid tropical conditions of Sudan. *Agricultural Water Management* 121: 149-157.
- Akhiar, A.; Battimelli, A.; Torrijos, M.; Carrere, H. 2017. Comprehensive characterization of the liquid fraction of digestates from full-scale anaerobic co-digestion. *Waste Management* 59: 118-128.
- Alburquerque, J.A.; de la Fuente, C.; Campoy, M.; Carrasco, L.; Nájera, I.; Baixauli, C.; Bernal, M.P. 2012. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy* 43: 119-128.
- Alfa, M.I.; Adie, D.B.; Igboro, S.B.; Oranusi, U.S.; Dahunsi, S.O.; Akali, D.M. 2014. Assessment of biofertilizer quality and health implications of anaerobic digestion effluent of cow dung and chicken droppings. *Renewable Energy* 63: 681-686.
- Aliyu, U.; Magaji, M.D.; Sing, A.; Mohammed, S.G. 2007. Growth and Yield of onion (*Allium cepa* L.) as influenced by Nitrogen and P hosohorous Levels. *International Journal of Agricultural Research* 2(11): 937-934.
- Arthurson, V. 2009. Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land - potential benefits and drawbacks. *Energies* 2: 226-242.
- AUTODEMA- Autoridad Autonoma de Majes 2017. Proyecto Especial Majes Siguan: Historia. Disponible en: <https://www.autodema.gob.pe/historial>
- Cherubini, F.; Strømman, A.H. 2011. Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges. *Bioresource Technology* 102(2): 437-451.
- Comparetti, A.; Febo, P.; Greco, C.; Orlando, S.; Febo, P.; Greco, C.; Orlando, S. 2013. Current state and future of biogas and digestate production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 19(1): 1-14.
- Czubaszek, R. 2019. Exchange of Carbon Dioxide Between the Atmosphere and the Maize Field Fertilized with Digestate from Agricultural Biogas Plant. *Journal of Ecological Engineering* 20(1): 145-151.
- De Resende, G.M.; Costa, N.D. 2014. Effects of levels of potassium and nitrogen on yields and post-harvest conservation of onions in winter. *Revista Ceres* 61(4): 572-577.
- European Environment Agency, 2010. The European environment-state and outlook 2010: synthesis.

- European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. Disponible en: https://www.ab.gov.tr/files/ardb/evt/1_avrupa_birligi/1_6_raporlar/1_3_diger/environment/eea_2010_the_european_environment_synthesis.pdf
- European Parliament. Directive 2009/28/EC, 2009. Promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. O. J. Eur. Union; 140:16-62. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32009L0028>
- Finck, A. 1988. Fertilizantes y fertilización: fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Gallegos, S. 2010. Dosis y momento de aplicación de abono líquido (biol) en el cultivo de cebolla china (*Allium fistulosum*) variedad criolla en la localidad de lamas – San Martín, Perú. Tesis Ing. Agronomo, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto. Perú. 63 pp
- Garg, R.N.; Pathak, H.; Das, D.K.; Tomar, R.K. 2005. Use of flyash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil. Environmental Monitoring and Assessment 107: 1–9.
- Holm-Nielsen, J.B.; Al Seadi, T.; Oleskowicz-Popiel, P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology 100(22): 5478–5484.
- Jimenez, P.; Villasante, J.; Bernabe, C.; Villegas, L. 2002. Ecosistemas de Arequipa. Oferta Ambiental y Desarrollo Sostenible. Zonas Áridas 7(1): 118-132.
- Kandil, A. A.; Sharief, A. E.; Fathalla, F. H. 2013. Effect of Organic and Mineral Fertilizers on Vegetative Growth, Bulb Yield and Quality of Onion Cultivars. ESci Journal of Crop Production 2(3): 91–100.
- Koszel, M.; Lorencowicz, E. 2015. Agricultural Use of Biogas Digestate as a Replacement Fertilizers. Agriculture and Agricultural Science Procedia 7: 119–124.
- Koszel, M.; Przywara, A.; Santoro, F.; Anifantis, A.S. 2018. Evaluation of use of biogas plant digestate as fertilizer in alfalfa and winter wheat. Conference: 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Jelgava, 23 - 25 may, 2018.
- López, R.; Ramírez-barajas, J.L. 2003. Macronutrientes en suelos de desierto con potencial agrícola. Terra Latinoamericana 21: 333–340.
- Möller, K.; Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. Engineering in Life Sciences 12(3): 242–257.
- Möller, K.; Stinner, W. 2009. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). European Journal of Agronomy 30(1): 1–16.
- Moreira, B.; Delgado, V.; Baque, V.; Chila, M.; Muentes, A.; Chancay, A. 2016. Fertilización foliar con biol en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) valorando rendimiento. Ciencias Agronomicas 1: 17–25.
- Nardi, S.; Pizzeghello, D.; Schiavon, M.; Ertani, A. 2016. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. Scientia Agricola 73(1): 18–23.
- Nkoa, R. 2014. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review. Agronomy for Sustainable Development 34(2): 473–492.
- Odlare, M.; Pell, M.; Svensson, K. 2008. Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. Waste Management 28(7): 1246–1253.
- Owamah, H.I.; Dahunsi, S.O.; Oranusi, U.S.; Alfa, M.I. 2014. Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta. Waste Management 34(4): 747–752.
- Przygocka-Cyna, K.; Grzebisz, W. 2018. Biogas digestate – benefits and risks for soil fertility and crop quality – an evaluation of grain maize response. Open Chemistry 16(1): 258–271.
- Reátegui, J.; Peña, J.; Cárdenas, L.; Castro, J.; Mejía, F.; Mestas, S.; Roque, F. 2018. Manual de producción y uso de biometano presurizado a baja y alta presión. Editado por la Universidad Católica de Santa María - Vicerrectorado de Investigación. Arequipa, Perú. 144 pp.
- Reh, T.; Müller, J. 2011. Life cycle assessment of biogas digestate processing technologies. Resources, Conservation and Recycling 56(1): 92–104.
- Scaglia, B.; Pognani, M.; Adani, F. 2017. The anaerobic digestion process capability to produce biostimulant: the case study of the dissolved organic matter (DOM) vs. auxin-like property. Science of the Total Environment 589: 36–45.
- Stinner, W.; Möller, K.; Leithold, G. 2008. Effects of biogas digestion of clover/grass-leys, cover crops and crop residues on nitrogen cycle and crop yield in organic stockless farming systems. European Journal of Agronomy 29: 125–134.
- Thangasamy, A. 2015. Quantification of Dry-Matter Accumulation and Nutrient Uptake Pattern of Short Day Onion (*Allium cepa* L.). Communications in Soil Science and Plant Analysis 47(2): 246–254.
- Themelis, N. J.; Ulloa, P. A. 2007. Methane generation in landfills. Renewable Energy 32(7): 1243–1257.
- Zanin, G.; Coletto, L.; Passoni, M.; Nicoletto, C.; Bonato, S.; Ponchia, G.; Sambo, P. 2016. Organic by-product substrate components and biodegradable pots in the production of *Pelargonium x hortorum* Bailey and *Euphorbia pulcherrima* L. XXIX International horticultural congress on horticulture.
- Zhao, Y.; Wang, P.; Li, J.; Chen, Y.; Ying, X.; Liu, S. 2009. The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat-maize cropping system. European Journal of Agronomy 31(1): 36–42.