

Aprovechamiento del biosol producido por biodigestión anaerobia de porquinaza para la fertilización de rábano rojo

Juan Sebastián Sánchez-Gómez¹
Universidad de los Andes
js.sanchez14@uniandes.edu.co

Esteban Adrián Fuenzalida-Sandoval²
Universidad de los Andes
ea.fuenzalida10@uniandes.edu.co

Laura Sánchez-Amézquita³
Universidad de los Andes
l.sancheza@uniandes.edu.co

Daniela Cassés-Franceschi⁴
Universidad de los Andes
d.casses10@uniandes.edu.co

Laura Camila Rivera-Ramos⁵
Universidad de los Andes
lc.rivera11@uniandes.edu.co

Luis Humberto Reyes-Barrios⁶
Universidad de los Andes
lh.reyes@uniandes.edu.co

Juan Manuel Fajardo-Pinilla⁷
Universidad Minuto de Dios
jfajar25@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21158/23823399.v8.n0.2020.2677>

Fecha de recepción: 12 de marzo de 2020

Fecha de aprobación: 12 de agosto de 2020

Cómo citar este artículo: Sánchez-Gómez, J. S.; Fuenzalida-Sandoval, E. A.; Sánchez-Amézquita, L.; Cassés-Franceschi, D.; Rivera-Ramos, L. C.; Reyes-Barrios, L. H.; Fajardo-Pinilla, J. M. (2020). Aprovechamiento del biosol producido por biodigestión anaerobia de porquinaza para la fertilización de rábano rojo. *Revista Ontare*, 8, 89-105. **DOI:** <https://doi.org/10.21158/23823399.v8.n0.2020.2677>

¹ Ingeniero Biomédico, Magíster en Educación y Políticas Públicas de Universidad de los Andes.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5199-7486>

² Ingeniero Químico de la Universidad de los Andes. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1631-3680>

³ Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1501-622X>

⁴ Ingeniera Ambiental de la Universidad de los Andes. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0246-6819>

⁵ Ingeniera Química de la Universidad de los Andes. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9950-7407>

⁶ Doctor en Ingeniería Química de Texas A&M University. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7251-5298>

⁷ Químico de la Universidad Nacional y Especialista de Diseño de Ambientes de Aprendizaje de la Universidad Minuto de Dios.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4109-0693>





RESUMEN

Los problemas asociados a la producción masiva de porquinaza en las granjas porcícolas se asocian al mal olor, a la propagación de patógenos y a la contaminación de fuentes hídricas y suelos. Como una solución sostenible se implementó un biodigestor con el fin de aprovechar el biosol producido por biodigestión anaerobia de porquinaza y promover la economía circular en la reserva El Verjón. Para evidenciar el uso potencial del biosol como mejorador de suelos se preparó y adicionó a un cultivo de rábanos rojos —*Raphanus sativus*—. Los resultados obtenidos sugirieron que el uso del biosol como fertilizante es adecuado, puesto que el peso de los rábanos fue similar a la muestra con fertilizante comercial, y con el biosol se desarrollaron raíces más largas. Los rábanos sembrados con biosol presentaron una forma esférica, mientras que los rábanos con fertilizante comercial tomaron una forma elíptica alargada. No obstante, el fertilizante comercial permitió un mejor crecimiento de las hojas y de los tallos de la plántula. A fin de aumentar la capacidad del biosol como mejorador de suelos se recomendaría la adición de nitrógeno al biosol con el propósito de mejorar el crecimiento de las hojas y los tallos, y lograr un mejor rendimiento que el fertilizante comercial. Este estudio demostró que el biosol obtenido es una buena alternativa de fertilización, dado que reduce los costos e impactos medioambientales de la fertilización convencional y promueve la competitividad de la vereda Verjón Alto en la localidad de Santa Fe en Bogotá.

Palabras clave: biodigestor; biosol; biodigestión anaerobia; porquinaza; fertilizante natural; alternativa de fertilización; economía circular. .





Using biosol produced by anaerobic **biodigestion of porquinaza for the fertilization of red radish**

ABSTRACT

All the problems associated to the mass production of pigswill in pig farms have to do with foul smell, the spread of pathogens, and the contamination of water sources and soils. In this study, we implemented a biodigester as a sustainable solution to take advantage of the biosol produced by anaerobic biodigestion of porquinaza and to promote the circular economy in the reservation El Verjón. In order to demonstrate the potential use of biosol as a soil improver, it was prepared and used in a red radish crop -*Raphanus sativus*. The results suggested that the use of biosol as a fertilizer is appropriate, as the weight of the radishes was similar to the weight of the sample radishes that used commercial fertilizer, with the difference that longer roots were developed with the biosol. Also, the radishes sown with biosol had a spherical shape, while the radishes with commercial fertilizer took an elongated elliptical shape. However, the commercial fertilizer allowed better growth of the leaves and stems of the seedling. In order to increase the capacity of the biosol as a soil improver, we recommend to add nitrogen to the biosol to improve leaf and stem growth, and achieve a better yield than with the commercial fertilizer. This study showed that the biosol obtained is a good alternative for fertilization, since it reduces the costs and environmental impact of conventional fertilization and promotes the competitiveness of the Verjón Alto trail in the locality of Santa Fe in Bogotá.

Keywords: biodigester; biosol; anaerobic biodigestion; pigswill; natural fertilizer; fertilization alternative; circular economy.



O aproveitamento do biosol produzido pela **biodigestão anaeróbia de esterco suíno para a fertilização do rabanete vermelho**

RESUMO

Os problemas associados à produção massiva de esterco suíno em fazendas, com criação de suínos, estão associados ao mau cheiro, à disseminação de patógenos e à contaminação de fontes de água e solos. Como solução sustentável, foi implantado um biodigestor para aproveitar o biosol produzido pela biodigestão anaeróbia de esterco suíno e promover a economia circular na reserva El Verjón. Para demonstrar o uso potencial do biosol como melhorador do solo, foi preparado e adicionado a uma safra de rabanetes vermelhos -*Raphanus sativus*-. Os resultados obtidos sugerem que o uso do biosol como fertilizante é adequado, visto que o peso dos rabanetes foi semelhante ao da amostra com o fertilizante comercial, e com o biosol desenvolveram-se raízes mais longas. Os rabanetes semeados com biosol apresentaram um formato esférico, enquanto os rabanetes com fertilizante comercial assumiram um formato elíptico alongado. Porém, o fertilizante comercial permitiu um melhor crescimento das folhas e dos caules da muda. A fim de aumentar a capacidade do biosol como melhorador do solo, recomenda-se fazer a adição de nitrogênio ao biosol com o propósito de melhorar o crescimento das folhas e dos caules, obtendo assim um melhor desempenho comparado ao fertilizante comercial. Este estudo mostrou que o biosol obtido é uma boa alternativa de fertilização, pois reduz os custos e impactos ambientais da fertilização convencional e promove a competitividade da vereda Verjón Alto no município de Santa Fé em Bogotá.

Palavras-chave: biodigestor; biosol; biodigestão anaeróbica; esterco suíno; fertilizante natural; alternativa de fertilização; economia circular.





Utilisation biologique des sols grâce au fumier produit par biodigestion anaérobie porcine pour la fertilisation du radis rouge

RÉSUMÉ

Les problèmes liés à l'élevage intensif dans les fermes porcines ont trait aux mauvaises odeurs, à la propagation d'agents pathogènes et à la contamination des eaux et des sols. Pour pallier ces inconvénients et les transformer en solution durable, un biodigester a été mis en place pour tirer parti des sols biologiques produit par la biodigestion anaérobie du fumier et promouvoir l'économie circulaire dans la réserve d'El Verjón. Pour démontrer l'utilisation potentielle des sols biologiques, une expérience a été menée où ces sols spéciaux ont été utilisés pour la culture du radis rouge —*Raphanus sativus*—. Les résultats obtenus suggèrent que l'utilisation de sol bio comme engrais est viable dans la mesure où le poids des radis est similaire à celui de l'échantillon utilisant un engrais conventionnel, avec en sus des racines plus longues développées par les plants. Les radis ensemencés avec du sol bio présentent une forme sphérique contrairement à ceux plantés avec un engrais conventionnel qui prennent une forme elliptique allongée et révèlent une meilleure croissance des feuilles et des tiges. Afin d'augmenter la qualité du sol bio, un ajout d'azote est recommandé afin d'améliorer la croissance des feuilles et des tiges et obtenir de meilleurs rendements qu'avec un engrais conventionnel. Cette étude a montré que les sols bio sont une alternative viable pour la fertilisation des sols dans la mesure où ils réduisent les coûts et les impacts environnementaux des engrais conventionnelle et favorisent la compétitivité de la réserve du Verjón Alto de la ville de Santa Fe de Bogotá

Mots clés: biodigester; sol biologique; biodigestion anaérobie; fumier; engrais naturel; alternative de fertilisation; économie circulaire.



1. Introducción

En gran parte del campo colombiano se emplean distintos fertilizantes para la mejora de los cultivos. Entre estos se encuentra el estiércol, utilizado por su fácil obtención y los resultados positivos que ha generado a lo largo de los años. Las ventajas que tiene el estiércol en el suelo se deben a organismos que se encargan de descomponer la materia orgánica, lo que aumenta el grosor de la capa arable, la aireación y la capacidad de retención del agua (Ayala y Castro, 2018). No obstante, constantemente se realiza una mala disposición final del estiércol, lo cual termina por causar problemas ambientales tales como la emisión de gases efecto invernadero y la contaminación de fuentes hídricas (Pinos *et al.*, 2012). Por tanto, el uso de esta materia prima como mejorador de suelos es una de las alternativas de menor impacto ambiental, ya que genera valor agregado para un residuo no aprovechado, es más económico y de menor impacto medioambiental que un fertilizante comercial, además hace más sostenible la cadena productiva del sector agropecuario en Colombia.

En el 2019, Sánchez, Rodríguez, Obando, Gualdrón y Fajardo implementaron un biodigestor en la reserva forestal El Verjón con materiales de bajo costo como solución a la contaminación de cuerpos de agua superficiales y acuíferos. Además, se presentó como mecanismo de reducción y manejo de producción de gases de efecto invernadero provenientes de los desechos de la porcicultura. Los biodigestores son alternativas que minimizan el impacto generado por desechos orgánicos tales como el estiércol. Estos funcionan a partir de procesos biológicos de descomposición anaerobia de materia orgánica, de modo que resultan en tres tipos de productos: biogás, biol —digestato líquido— y biosol —digestato sólido—. Usualmente, el primero se emplea como fuente de energía, mientras que los restantes suelen emplearse en la fertilización de suelos debido a su alto contenido de macro y micronutrientes (Mórtola *et al.*, 2019).

El objetivo del presente estudio fue realizar una caracterización química del biosol seco obtenido como subproducto del biodigestor de la reserva forestal El Verjón. Además, se determinó la eficiencia como mejorador de suelos en un cultivo de rábano rojo —*Raphanus sativus*—. Esto se llevó a cabo por medio de una comparación con una siembra fertilizada con triple 15 y otra





sin fertilización. Lo anterior es relevante si se tiene en cuenta que en distintos estudios se ha comprobado que la aplicación del biosólido proveniente de la digestión anaerobia en los suelos agrícolas funciona como alternativa para la recuperación de minerales y constituyentes orgánicos (Albuquerque *et al.*, 2012). Esto reduce la necesidad de uso de fertilizantes químicos que llevan a fenómenos como la eutrofización de cuerpos de agua.

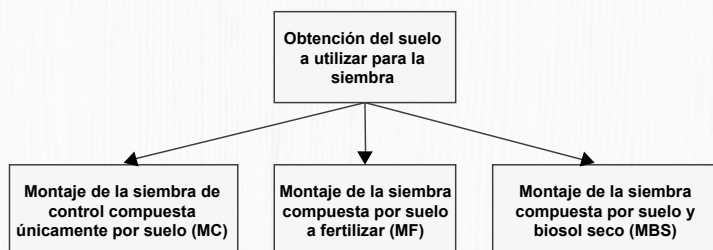
2. Metodología

A fin de estudiar el uso potencial del biosol como mejorador de suelos se llevaron a cabo diferentes procesos. En primer lugar, se realizó la siembra de las semillas de rábano rojo en una muestra control, una muestra con fertilizante y una muestra con biosol seco. Enseguida, se midieron diferentes parámetros para la caracterización química, se realizó la fertilización convencional y se hizo el estudio comparativo para medir la eficiencia del biosol.

2.1 Siembra

En la figura 1 se expone la metodología aplicada para la siembra de las semillas de rábano rojo. Se realizó una siembra de a dos semillas separadas por una distancia de 5 cm en canastas plásticas recubiertas por plástico negro.

Figura 1. Proceso de siembra



Fuente. Elaboración propia.



Posterior a la siembra, los montajes se regaron cada tercer día; además, se realizó un seguimiento semanal del crecimiento de las plántulas.

2.2 Caracterización química

Para la caracterización del biosol seco se midieron los siguientes parámetros: pH, nitrógeno total —método Kjeldahl—, fósforo total —método colorimetría— y, por último, calcio, magnesio y potasio —método ICP-OES—.

2.3 Fertilización convencional

Como método de comparación para analizar el rendimiento del biosol seco como abono, un segundo cultivo se fertilizó 17 días después de la siembra. Los nutrientes más importantes para el crecimiento del cultivo de rábano rojo son: nitrógeno para el crecimiento del cuerpo, raíces y hojas, así como fósforo para al aumento del número de hojas por plántula (Albayrak y Çamas, 2006). Se utilizó triple 15 por ser un fertilizante comercial que suple los requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio, además de otros nutrientes menores. Grzes, Sobiech, Maciejewski y Szukula (1996) reportaron que el valor óptimo de nitrógeno en el cultivo de rábano rojo es de 150 kg/ha, cantidad que se escaló con respecto al área trabajada de 60 cm x 40 cm en el cultivo según la siguiente relación:

Ecuación 1. Cálculo cantidad de fertilizante a utilizar en el área de cultivo

$$150 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} * 2,4 \times 10^{-5} \text{ ha} = 3,6 \times 10^{-3} \text{ kg} = 3,6 \text{ g}$$

Se utilizó una balanza digital para pesar los 3,6 g de fertilizante. Además, se repartieron de manera equidistante las pastillas de fertilizante sobre la tierra del cultivo.





2.4 Estudio comparativo de la eficiencia del biosol seco

Se realizó la comparación entre la muestra con biosol seco (MBS), la muestra fertilizada (MF) y la muestra de control (MC). Se evaluaron cuatro parámetros estudiados previamente por Ramírez y Pérez (2006). El primero de estos fue la longitud de la plántula, que se determinó teniendo en cuenta la medida del tallo y la hoja más larga. Por otra parte, el peso de la plántula se obtuvo después de la cosecha, limpiando previamente el rábano y con ayuda de una balanza analítica. Adicionalmente, se obtuvo el peso del bulbo, para lo cual se retiraron las hojas y se pesó únicamente el tubérculo. Finalmente, el cuarto parámetro de estudio fue el diámetro del bulbo, en cuyo caso fue necesario el uso de un calibrador digital considerando la parte más ancha del bulbo.

3. Resultados

3.1 Caracterización química

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y potasio en una muestra de biosol y del fertilizante comercial utilizado. Los parámetros mostrados de biosólido se obtuvieron por el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes, mientras que los valores mostrados de la composición del fertilizante comercial se tomaron de la información del empaque del producto. Cabe decir que en los resultados del fertilizante se asumió que la mezcla de fertilizante comercial es totalmente homogénea en cada volumen tomado y completamente seca en el volumen reportado por el fabricante.



Tabla 1. Resultados compuestos químicos en biosol seco y fertilizante comercial

Parámetro	Biosol seco	Fertilizante comercial	Unidades
Nitrógeno total	2,3	15	% Base seca*
Fósforo total	5,9	15	% Base seca*
Calcio	70 337	52 200	mg/kg-base seca*
Magnesio	10 948	10 300	mg/kg-base seca*
Potasio	2565	150 000	mg/kg-base seca*

Fuente. Elaboración propia.

Con base en los resultados obtenidos de porcentaje de nitrógeno se puede decir que existe una diferencia del 12,7 %, de modo que el de mayor valor es el que se obtuvo en el fertilizante comercial. No obstante, el valor obtenido para el biosol se asemeja al valor reportado por Gómez y Viniegra (citados por Botero y Preston, 1987). El valor que registran es de 2,6 %, en promedio, de nitrógeno en biosol obtenido a partir de estiércol bovino. Ahora bien, la cantidad de fósforo total en el biosol es casi tres veces menos que el valor obtenido en la muestra del fertilizante. De otro modo, en el caso del cultivo con el fertilizante se evidenció que la longitud de la raíz y las hojas son mayores a los valores encontrados para el biosol, lo cual concuerda con la diferencia en la concentración de fósforo de los dos métodos. Respecto a los resultados del calcio, se puede observar que los valores están en el mismo orden de magnitud. El fertilizante comercial presenta una deficiencia de 18 137 mg/kg con respecto al biosol obtenido. Para el potasio, se puede observar una deficiencia de dos órdenes de magnitud.

3.2 Eficiencia biosol seco

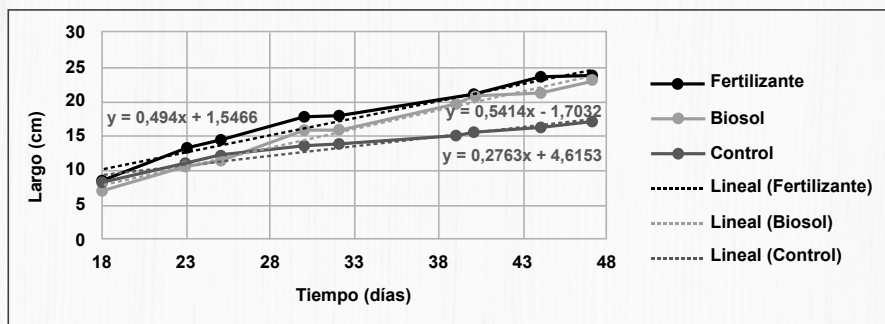
3.2.1 Longitud de las plántulas.

Si se tiene en cuenta que se tenía un número considerable de plántulas, en el día 18 después de la siembra se optó por escoger cuatro de ellas de mayor longitud y número de hojas en cada uno de los cultivos. A estas se les tomaron medidas de longitud del tallo y hojas dos veces por semana con el fin de llevar un registro completo de su desarrollo. En la figura 2 se muestran los promedios de las longitudes totales entre las cuatro plántulas por día para cada una de las siembras.





Figura 2. Longitud total promedio diaria de las plántulas



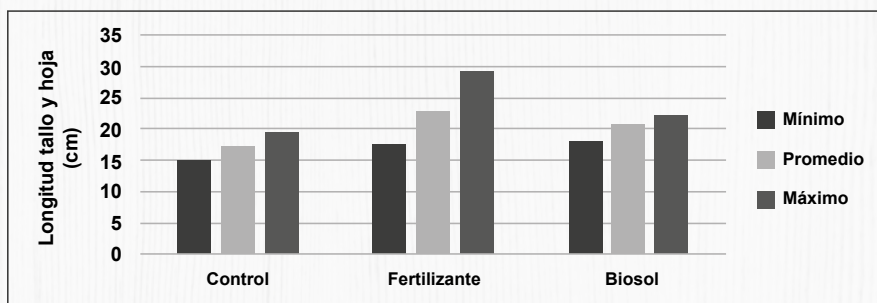
Fuente. Elaboración propia.

A partir de la figura 2 es posible afirmar que el crecimiento promedio de las plantas presenta una tendencia lineal hasta la cosecha, razón por la cual fue posible calcular la velocidad de crecimiento como la pendiente de cada una de las líneas de regresión asociadas a los tres casos. Con esto se evidencia que la velocidad de crecimiento más alta se obtuvo para el biosol con un valor 0,54 cm/día. Esto ocurrió porque, si bien inicialmente el crecimiento fue lento, durante las semanas a seguir se alcanzó una longitud cercana a la presentada por el cultivo con fertilizante comercial. Por otra parte, los valores para la velocidad de crecimiento en el caso de la siembra con fertilizante comercial y de la siembra de control fueron de 0,49 cm/día y 0,28 cm/día, respectivamente. Es probable que la gran diferencia entre la velocidad de crecimiento de la siembra de control y la de los otros dos casos se deba a falta de nutrientes al no haber contado con adición de fertilizante comercial o biosol.

Pasados 48 días de la siembra se cosecharon los rábanos sembrados. A continuación, se presentan dos figuras correspondientes a la longitud del tallo y hoja, así como a la longitud de la raíz.

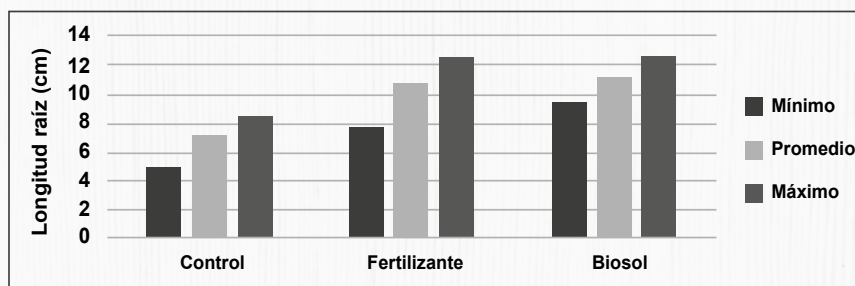


Figura 3. Resultados de longitud de tallo y hoja en el día de la cosecha —día 47—



Fuente. Elaboración propia.

Figura 4. Resultados de longitud de raíz en el día de la cosecha —día 47—



Fuente. Elaboración propia.

En la figura 3 se puede ver que la longitud promedio de la plántula tallo y hoja fue mayor en el caso de la siembra con fertilizante, seguido por la siembra con biosol, y, por último, la de control. No obstante, en el caso de la raíz (Figura 4) se obtuvo una mayor longitud promedio para la siembra con biosol respecto a los otros cultivos.

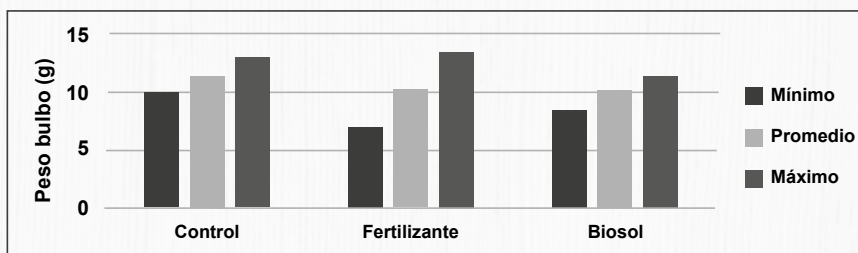
3.2.2 Medidas del bulbo.

Con base en los resultados del peso de los bulbos presentados en la figura 5 se obtuvo una cosecha dispareja en la siembra con fertilizante, pues se encontraron desde los bulbos más pesados hasta los más livianos.





Figura 5. Resultados de peso de bulbo de rábano después de la cosecha



Fuente. Elaboración propia.

En la tabla 2 se observan los valores para la desviación estándar del peso de los bulbos para cada cultivo. Así mismo, se observa una menor dispersión de datos entre el control y biosol, lo cual puede ser consecuencia de que los nutrientes están mucho más homogeneizados en estos cultivos respecto al fertilizante, en el que tiene gran influencia el método de aplicación en la tierra. El valor promedio es cercano al valor de peso del cultivo con biosol. Sin embargo, la diferencia entre rango en biosol es menor. Esto representa un valor de peso más constante para los rábanos con biosol. Los rábanos de control fueron los más pesados. Se cree que el mayor peso se debe a un menor número de rábanos en el área de cultivo.

Tabla 2. Desviación estándar para el peso del rábano

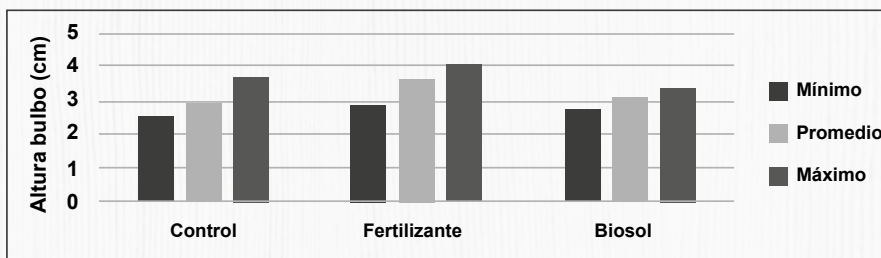
	Control	Fertilizante	Biosol
Desviación estándar —g—	1,26	2,93	1,29

Fuente. Elaboración propia.

Los resultados de la altura del bulbo presentados en la figura 6 proporcionan una idea de la forma que los rábanos tienen en cada cultivo. Los rábanos con fertilizante presentaron mayor largura.



Figura 6. Resultados de altura de bulbo de rábano después de la cosecha



Fuente. Elaboración propia.

4. Conclusiones

Durante las semanas de medición, a la hora de regar la tierra con agua fue posible observar que la siembra MBS estaba más seca que las demás siembras. Lo anterior puede darse ya que para la obtención del biosol seco se empleó cal. Dicho esto, se recomienda revisar el proceso de secado a fin de evitar una reducción excesiva de humedad, lo cual puede llevar a un incremento en la función de mejorador de suelos del biosol.

De otro modo, respecto a la caracterización fisicoquímica, el biosol obtuvo una mayor concentración de magnesio respecto al fertilizante triple 15, mientras que se registraron valores menores en composición de nitrógeno, fósforo, calcio y potasio.

Respecto a las longitudes de la plántula en las tres siembras, es posible afirmar que las plantas con fertilizante comercial obtuvieron una longitud mayor que las otras dos siembras. En cuanto a las plántulas de la siembra con biosol, en las primeras dos semanas, desde que se comenzaron a tomar las medidas, se observó un crecimiento inferior a la siembra con fertilizante y a la siembra de control. A partir de la tercera semana la longitud de las plántulas de la siembra con biosol fue mayor al de la siembra control, mientras que continuó siendo menor que la siembra con fertilizante. Esto permite afirmar que, si bien en el momento de la cosecha se obtuvieron mayores datos que la siembra control, la siembra con biosol no tuvo un desarrollo equivalente al obtenido en una siembra con fertilizante comercial.





Al tener en cuenta los resultados del peso del bulbo y las longitudes de las raíces, los valores fueron similares entre el cultivo con fertilizante comercial y el biosol producido. No obstante, las raíces alcanzaron una mayor longitud con el biosol suponiendo que esta característica les permitía a las plántulas una mejor recolección de nutrientes.

Referencias

- Albayrak, Ç. (2006). Yield components of fodder beet (*Beta vulgaris* var. *crassa* Mansf.) under the Middle Black Sea Region conditions. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(1), 65-69. DOI: https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000000423
- Albuquerque, J.; De la Fuente, C.; Ferrer-Costa, A.; Carrasco, L.; Cegarra, J.; Abad, M.; Bernal, M. (2012). Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass and Bioenergy*, 40, 181-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.02.018>
- Ayala, L.; Castro, J. (2018). Uso del estiércol porcino sólido como abono orgánico en el cultivo del maíz chala. *Anales Científicos*, 79(2), 415-419. DOI: <https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.914>
- Botero R.; Preston T. R. (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas: Manual para su instalación, operación y utilización. Cali: CIPAV.
- Grzes, S.; Sobiech, S.; Maciejewski, T.; Szukula, J. (1996). Yield of fodder beet as influenced by sprinkler irrigation, method of sowing the preceding crop and nitrogen fertilizer application. *Prace Zakresu Nauk Rolniczych*, 81, 87-94.
- Mórtola, N.; Romaniuk, R.; Cosentino, V.; Eiza, M.; Carfagno, P.; Rizzo, P.; Riera, N.; Roba, M.; Butti, M.; Sainz, D.; Brutti, L. (2019). Potential use of a poultry manure digestate as a biofertiliser: evaluation of soil properties and *Lactuca sativa* growth. *Pedosphere*, 29(1), 60-69. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60057-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60057-8)



- Pinos, J.; García, J.; Peña, L.; Rendón, J.; González, C.; Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370.
- Ramírez, R.; Pérez, M. (2006). Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rábano rojo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía UNAL*, 59(2), 3543-3556.
- Sánchez, J.; Rodríguez, D.; Obando, D.; Gualdrón, N.; Fajardo, J. (2019). *Design of a low cost biodigester for sustainable pig farming in the Verjón forest reserve*. Ponencia presentada en The IRES Conference. Río de Janeiro, Brasil, 24-25 de octubre.

