

## Article:

Chemical Characterization of Biofertilizer Obtained from Poultry Waste Generated in the *Piedras Azules* Agricultural FundG. A. Araujo M.<sup>1</sup> , C. R. Rosales S.<sup>1</sup> , K. Román<sup>2</sup> , J. J. Medina B.<sup>1\*</sup> <sup>1</sup>Laboratorio de Polímeros, Centro de Investigaciones Químicas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela<sup>2</sup>Departamento de Química, Estudios Básicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

Recibido: marzo, 2021

Aceptado: abril, 2021

Autor para correspondencia: J. Medina e-mail: polimerosciquc@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4957901>**Abstract**

The goal was to characterize a biofertilizer obtained by anaerobic digestion of the poultry waste generated in the *Piedras Azules* agricultural fund. For this, the physicochemical characteristics of the manure collected from the farm were determined. Subsequently, the chicken manure was digested. Then, the biofertilizer was characterized, and its germination power was compared with a commercial fertilizer. The results indicate that chicken manure contains  $12.27 \pm 0.05$  % moisture,  $77 \pm 1$  % organic carbon,  $2.42 \pm 0.01$  % N,  $0.31 \pm 0.01$  % P,  $1.48 \pm 0.01$  ppm  $K_2O$ ,  $2.02 \pm 0.01$  ppm CaO,  $0.90 \pm 0.01$  ppm of MgO and  $0.21 \pm 0.01$  ppm of Zn. Anaerobic digestion was carried out in a time of 44 days, using a C/N proportion of 31.8 and a ratio between organic matter and water of 1/4. Regarding the characteristics of the biosol obtained,  $1.07 \pm 0.01$  % N,  $0.22 \pm 0.01$  % P,  $1.95 \pm 0.01$  ppm  $K_2O$ ,  $0.88 \pm 0.01$  ppm CaO,  $0.21 \pm 0.01$  ppm MgO,  $0.22 \pm 0.01$  ppm Zn were obtained, and a germination percentage of 100 % compared to 88.88 % of commercial fertilizer.

**Keywords:** chicken manure; poultry waste; anaerobic biodigestion; biofertilizer.

## Artículo:

Caracterización química de biofertilizante obtenido de los desechos avícolas generados en el fundo agropecuario *Piedras Azules***Resumen**

La meta fue caracterizar un biofertilizante obtenido mediante digestión anaeróbica de los desechos avícolas generados en el fundo agropecuario *Piedras Azules*. Para esto, se determinó las características fisicoquímicas de la gallinaza recolectadas en el fundo. Posteriormente, se realizó la digestión de la gallinaza, y se caracterizó el biofertilizante. Luego, se comparó su poder de germinación con un fertilizante comercial. Los resultados indican que la gallinaza contenía  $12,27 \pm 0,05$  % de humedad,  $77 \pm 1$  % de carbono orgánico,  $2,42 \pm 0,01$  % de N,  $0,31 \pm 0,01$  % de P,  $1,48 \pm 0,01$  ppm de  $K_2O$ ,  $2,02 \pm 0,01$  ppm de CaO,  $0,90 \pm 0,01$  ppm de MgO y  $0,21 \pm 0,01$  ppm de Zn. La digestión anaeróbica se llevó a cabo en un tiempo de 44 días, empleando una relación C/N de 31,8 y una proporción entre la materia orgánica y agua de 1/4. En cuanto a las características del biosol resultante, se obtuvo  $1,07 \pm 0,01$  % de N,  $0,22 \pm 0,01$  % de P,  $1,95 \pm 0,01$  ppm de  $K_2O$ ,  $0,88 \pm 0,01$  ppm de CaO,  $0,21 \pm 0,01$  ppm de MgO,  $0,22 \pm 0,01$  ppm de Zn, y un porcentaje de germinación del 100 % en comparación con 88,88 % del fertilizante comercial.

**Palabras clave:** gallinaza; desechos avícolas; biodigestión anaeróbica; biofertilizante.

## 1. Introducción

La agropecuaria *Piedras Azules* fue fundada en el año 2002, en el sector Parapara del municipio Juan Germán Roscio del estado Guárico, con una superficie de 300 hectáreas, cuenta con diversas áreas de producción que abarcan los sectores avícola, agrícola, productos lácteos, carne de vacuno, porcinos, entre otros. El sistema de producción avícola está constituido por cuatro galpones, cada uno de ellos aloja 39.000 gallinas, distribuidas en 9 filas de jaulas, con sus respectivos canales inferiores de cemento en los cuales se depositan los excrementos de las aves. Estos excrementos reciben el nombre de *gallinaza* [1].

El fundo posee diferentes fuentes de generación de desechos orgánicos, tanto vegetales como animales, tales como restos de la poda de plantas, desechos de las aves, entre otros. Sin embargo, el interés de este trabajo está centrado en los desechos provenientes del proceso de crianza avícola, los cuales están constituidos por la gallinaza que se encuentra mezclada con plumas de aves y cáscara de huevos.

Es de hacer notar que, la avicultura es una de las ramas de la producción animal de mayor importancia a nivel mundial, debido a que contribuye a satisfacer las necesidades proteicas de la población. En los últimos años, se ha incrementado la producción anual de gallinas, lo que ha generado como consecuencia un aumento en la cantidad de gallinaza. El principal uso que se le da a este desecho, es como fertilizante orgánico, además de ser utilizado como ingrediente en las dietas para animales de granjas y como sustrato para la generación de metano.

En Venezuela, el interés del sector avícola se enfoca en la producción de gallinas para el consumo humano, y la manipulación de los desechos generados no es un tema de interés, sino por el contrario es obviado y muchas veces termina causando afecciones a las comunidades adyacentes a los centros de producción. En el estado Guárico, se evidencia una notoria falla en el servicio de recolección de residuos orgánicos, observándose apilamientos en terrenos baldíos; y en otros casos, quema indiscriminada de éstos, generalmente producto del desconocimiento de opciones alternas que resultan ser menos contaminantes.

La *gallinaza* posee alto contenido de humedad, altos niveles de nutrientes como nitrógeno, presente en forma de amonio y/o amoníaco; fósforo y potasio, cantidades variables de sulfuros, sulfatos y minerales. Diversos autores han estimado que cada 24 horas una gallina produce entre 135 y 150 gramos de excretas; la cantidad y características dependen de la especie, la edad, la dieta y la salud de las aves [2].

Por su parte, los biofertilizantes se originan a partir de la fermentación de materiales orgánicos, como estiércoles de animales, plantas verdes y frutos. La fermentación puede ocurrir con la presencia de oxígeno, caso en el cual se llama aeróbica, o sin su presencia, denominada anaeróbica. Los abonos orgánicos, por las propias características en su composición, enriquecen al suelo, modificando algunas propiedades tales como pH, disponibilidad del fósforo, calcio, magnesio y potasio, haciéndolo eficaz para el buen desarrollo y rendimiento de los cultivos [3].

Los residuos orgánicos que se incorporan al suelo son sometidos a diversos procesos de modificación, dando como resultado productos o biofertilizantes de diferente composición química. La transformación de éstos, conlleva a la realización de algunas técnicas, como la implementación de un biodigestor para producir biogás y bioabono. Un biofertilizante debe contener elementos primarios como el nitrógeno, que permite a las plantas, librarse de las enfermedades del suelo, el fósforo el cual favorece el crecimiento rápido de las raíces y tallos; y por último, el potasio le provee resistencia y robustez a la planta [4].

En virtud de lo señalado anteriormente, se planteó como objetivo caracterizar un biofertilizante obtenido mediante digestión anaeróbica de los desechos avícolas del fundo agropecuario *Piedras Azules*, como alternativa para la disminución del impacto ambiental que ocasiona la acumulación a cielo abierto de estos desechos. Por lo tanto, el trabajo realizado es altamente pertinente en los objetivos del desarrollo autosustentable.

## 2. Metodología

La gallinaza fue recolectada en la granja de gallinas ponedoras del fundo agropecuario *Piedras Azules*, ubicado en el municipio Juan Germán Roscio del estado Guárico. El muestreo fue aleatorio simple como indica la norma COVENIN 1769-81 [5]. Las muestras se almacenaron en bolsas plásticas y se trasladaron al Laboratorio de Polímeros del Centro de Investigaciones Químicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

De la muestra se retiraron plumas de gallinas, rocas pequeñas, lombrices, bachacos y restos de cáscaras de huevos. Luego, previo a su reserva en bolsas de plástico para su tratamiento, la muestra fue cernida como describe FONAJAP [6]. Para esto, se pesó  $0,50 \pm 0,01$  g de muestra, se añadió 1 mL de ácido clorhídrico concentrado y se calentó a ebullición hasta sequedad. Luego, se adicionó 2 mL del mismo ácido a concentración 2 N para disolver las partículas restantes. Posteriormente, se filtró y se diluyó con agua destilada hasta 250 mL en un balón aforado.

Para la caracterización de la gallinaza y el biofertilizante obtenido fueron realizadas diferentes pruebas de laboratorio en las que se determinó el contenido de elementos primarios N, P, K; de secundarios Ca, Mg; de metal pesado Zn; y de carbono orgánico. También, fue cuantificado el contenido de humedad y el pH. Los análisis se realizaron por triplicado.

El nitrógeno fue analizado en el Laboratorio Ambiental Aragua de la Dirección Estatal para el Eco-socialismo ubicado en Maracay estado Aragua, empleando el método de *Kjeldahl*, descrito en *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* en la norma 4500-N C [7], utilizando un bloque digestor marca *Gerhardt* y un equipo destilador de vapor *Kjeltec system* marca *Tecator*.

La medida de carbono total se realizó mediante titulometría y la de humedad por la técnica de gravimetría. El calcio, magnesio, zinc y potasio fueron determinados según norma la COVENIN [5], la concentración de los cationes en los sobrenadantes fue cuantificada en un espectrofotómetro Perkin-Elmer modelo 3100 y el porcentaje de fósforo total usando digestión ácida [7].



Figura 1: Prototipos de biodigestor vacíos (izquierda). Prototipo de biodigestor cargado y cerrado herméticamente (derecha)

Para la transformación de la gallinaza, se construyó un biodigestor, empleando un envase plástico de capacidad de 4 L, una llave de paso, un termómetro, un recolector de orina, manguera, virutas de hierro y pega de acrílico; luego de cargado el biodigestor, se cerró herméticamente, tal como se muestra en la Figura 1. Después inició el proceso de digestión anaeróbica por 44 días, con medición de temperatura y pH diario durante los primeros 15 días, y luego cada 2 o 3 días hasta el desmontaje.

Para la comparación del biosol obtenido con los de tipos comercial, se llevó a cabo una búsqueda de los fertilizantes orgánicos producidos a nivel nacional, de origen vegetal y animal, disponibles en los establecimientos. Para esto, se tomó en cuenta las condiciones y características fisicoquímicas (pH, nitrógeno total, potasio, fósforo, magnesio, calcio y zinc) de los mismos para encontrar analogías entre el producto elaborado y los existentes. Luego, se colocaron 2 macetas con semillas de caraotas negras (*Phaseolus vulgaris*) y se realizó un seguimiento del tiempo de germinación.

## 3. Resultados y discusión

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos en la caracterización de la gallinaza recolectada en el fundo agropecuario *Piedras Azules*. Se observa que el pH fue de  $8,12 \pm 0,01$  lo que indica que presenta un carácter alcalino, con una humedad de  $12,27 \pm 0,05\%$  la cual está asociada al tipo de almacenamiento; estos valores se encuentran dentro del rango reportado por diversos autores [8, 9]. Con respecto al carbono orgánico, la muestra presenta un valor de  $77 \pm 1\%$ , el cual es superior al reportado

Tabla 1: Características fisicoquímicas de las muestras de gallinaza

Parámetro	Resultado obtenido	Valor referencial
pH ( $\text{pH} \pm 0,01$ ) adim	8,12	(8-9) [8]
Humedad ( $\text{hum} \pm 0,05$ ) %	12,27	(7-80) [9]
Carbono orgánico ( $\text{C} \pm 1$ ) %	77	40 [10]
Nitrógeno ( $\text{N} \pm 0,01$ ) %	2,42	(1,4-2,1) [8]
Fósforo ( $\text{P} \pm 0,01$ ) %	0,31	2,75 [10]
Potasio ( $\text{K}_2\text{O} \pm 0,01$ ) ppm	1,48	1,90 [8]
Calcio ( $\text{CaO} \pm 0,01$ ) ppm	2,02	5,70 [8]
Magnesio ( $\text{MgO} \pm 0,01$ ) ppm	0,90	5,00 [8]
Zinc ( $\text{Zn} \pm 0,01$ ) ppm	0,21	0,59 [9]

por Cordero [10]; esta diferencia puede ser generada por la presencia de trazas de otros componentes que aumentan la cantidad de materia orgánica en la gallinaza; y por tanto, el contenido de carbono.

En relación a los elementos primarios (N, P, K), se encontró que contiene un porcentaje de nitrógeno (N) del  $2,42 \pm 0,01$  % que supera levemente al reportado en la bibliografía [8]; además, de  $0,31 \pm 0,01$  % de fósforo (P) y  $1,48 \pm 0,01$  ppm de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ). Los valores de estos dos elementos son menores a los citados. Es de resaltar que, las gallinas poseen un rendimiento digestivo bajo, por lo que la absorción de los elementos que ingieren es mínima y terminan formando parte de sus excretas. Por tanto, se indica que la diferencia entre los valores obtenidos con respecto a los valores bibliográficos está asociada a la composición del alimento que consumen, así como a las condiciones de recolección y almacenamiento de las muestras analizadas [10].

En cuanto a los elementos secundarios (Ca, Mg) se determinó que posee un contenido de calcio de  $2,02 \pm 0,01$  ppm y de magnesio  $0,90 \pm 0,01$  ppm. Estos valores son menores en el 64,6 % y 82,0 % respectivamente a los reportados [8]. En tanto que para el metal pesado (Zn), la muestra contiene  $0,21 \pm 0,01$  ppm. Tal como se señaló anteriormente, la discrepancia con los valores reportados, está relacionada al tipo de alimento consumido por la gallina, la edad, la cantidad de alimento desperdiciado, además de las condiciones de recolección y almacenamiento [9].

En función de los resultados, las características fisicoquímicas que presenta la gallinaza son adecuadas. Por tanto, este residuo orgánico puede ser

aprovechado como materia prima en un proceso de obtención de un biofertilizante orgánico.

Para la obtención del biofertilizante, se tomó en cuenta algunas referencias para llevar a cabo el proceso de digestión anaerobia de la gallinaza, con el fin de asegurar el ciclo biológico de los microorganismos dentro del biorreactor [12]. Los parámetros establecidos para llevar a cabo la biodigestión están en la Tabla 2.

La relación carbono/nitrógeno determinada fue de 31,8. Este valor está levemente por encima del rango reportado en la bibliografía [11], quien indica que el carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. Es de resaltar que, cuando la relación C/N es 10:1 hay pérdidas de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la cantidad del material digerido; pero si la relación es de 40:1, entonces se inhibe el crecimiento de los microorganismos debido a la falta de nitrógeno [12]. En este sentido, se considera adecuada la relación obtenida de C/N para llevar a cabo el proceso de digestión.

Con respecto a la proporción entre la materia orgánica y el agua, se fijó en 1:4; es decir, una parte de gallinaza por cuatro de agua. Esta relación se consideró adecuada pues se encuentra en el rango señalado por Carhuancho [9]; este autor resalta que no es recomendable que la carga a degradar este muy concentrada ni muy diluida. Alvarado [12] afirma que cuando la mezcla tiene baja concentración se desfavorece el proceso que se lleva a cabo en el biodigestor.

El tiempo de retención fue establecido en un periodo de 44 días, levemente superior al señalado en la bibliografía [12], este autor también acota

Tabla 2: Parámetros establecidos para la obtención de biofertilizante

Parámetro	Resultado obtenido	Valor referencial
Relación C/N ( $C/N \pm 0,5$ ) adim	31,8	(20-30) [11]
Relación materia orgánica-agua (MO/H <sub>2</sub> O) adim	1/4	(1/3-1/5) [9]
Tiempo de retención ( <i>tr</i> ) días	44	(10-40) [12]

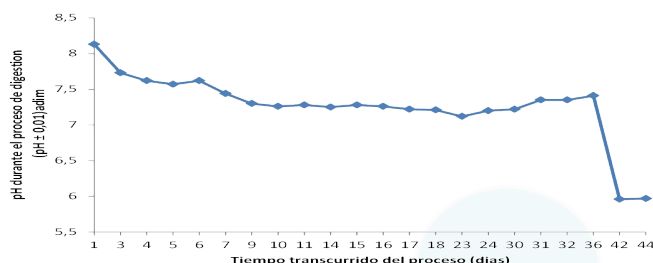


Figura 2: Comportamiento del pH durante el proceso de biodigestión, en función del tiempo transcurrido (días)

que se ha observado que para tiempos largos de retención existe un rendimiento bajo de biogás, con resultados favorables en cuanto al biofertilizante, el cual presenta excelentes características como fuente de nutrientes. En consecuencia, el biodigestor fue cargado con la mezcla y sellado, para evaluar el desarrollo del proceso mediante el seguimiento del pH y la temperatura. Los resultados obtenidos se reflejan en las Figuras 2 y 3.

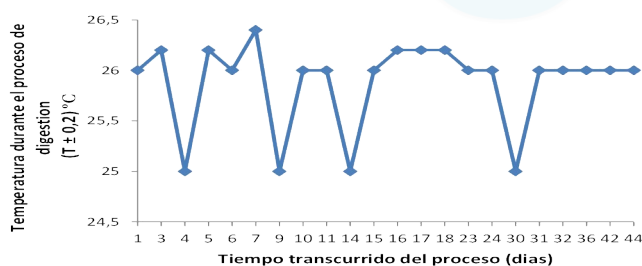


Figura 3: Comportamiento de la temperatura durante el proceso de biodigestión, en función del tiempo transcurrido (días)

En lo que se refiere al pH, el proceso inició con un valor de  $8,13 \pm 0,01$  y después de la digestión bajó a  $5,97 \pm 0,01$ , lo que indica una variación con tendencia a la acidez durante la fermentación.

Este resultado de pH inhibe toda la actividad de los microorganismos patógenos del biofertilizante obtenido [12]. La disminución paulatina del pH, es debida a la acumulación de ácidos grasos volátiles que se da durante la fase de hidrólisis seguido por la acidogénesis; lo que a su vez, conlleva a una descompensación entre las fases ácidas y metanogénicas [9].

La temperatura del proceso osciló entre  $24,5\text{--}26,5\text{ }^\circ\text{C}$ , que de acuerdo a lo expuesto en la bibliografía [15] está dentro del rango donde actúan los microorganismos mesofílicos ( $25\text{--}45\text{ }^\circ\text{C}$ ). Es importante recordar que esta variable guarda relación con los tiempos que debe permanecer la masa dentro del biodigestor para completar su degradación.

La Tabla 3 muestra los valores de la caracterización del biosol obtenido. En ella, se observa que el pH final fue de  $5,97 \pm 0,01$ , este valor se encuentra por debajo a lo establecido en la bibliografía [13].

Con respecto a los macroelementos (N, P, K), se observó que el biosol contiene  $1,07 \pm 0,01\%$  de nitrógeno,  $0,22 \pm 0,01\%$  de fósforo y  $1,95 \pm 0,01\text{ ppm}$  de potasio, valores inferiores a los establecidos en la bibliografía [13]. Es de hacer notar, que el nitrógeno orgánico se hidroliza durante el proceso anaeróbico, dando lugar a formas amoniacales, lo que ocasiona que durante el proceso de digestión, la materia orgánica se mineraliza, y disminuya el nitrógeno orgánico presente. Referente al contenido de fósforo, resulta menor en cuanto al existente en la gallinaza. Por otra parte, la cantidad de potasio es mayor comparado con la gallinaza, significando que los compuestos encontrados en el agua permitieron la formación de precipitados [9, 16].

En cuanto a los micronutrientes (Ca y Mg), el biosol contiene  $0,88 \pm 0,01\text{ ppm}$  de Ca y  $0,21 \pm 0,01\text{ ppm}$  de Mg. Estos valores, se encuentran por debajo del límite establecido en la norma

Tabla 3: Características fisicoquímicas de biosol obtenido, biofertilizante comercial y valores de referencia

Parámetro	Biosol obtenido	Biofertilizante comercial sólido	Valor referencial
pH ( $\text{pH} \pm 0,01$ ) adim	5,97	8,8	7,6 [13]
Nitrógeno ( $\text{N} \pm 0,01$ ) %	1,07	1,01	2,7 [13]
Fósforo ( $\text{P} \pm 0,01$ ) %	0,22	0,54	1,6 [13]
Potasio ( $\text{K}_2\text{O} \pm 0,01$ ) ppm	1,95	0,036	0,280 [13]
Calcio ( $\text{CaO} \pm 0,01$ ) ppm	0,88	0,225	0,100 [14]
Magnesio ( $\text{MgO} \pm 0,01$ ) ppm	0,21	0,30	0,50 [14]
Zinc ( $\text{Zn} \pm 0,01$ ) ppm	0,22	0,66	0,50 [14]

COVENIN 1817:2000 [14]. Los bajos niveles de estos micronutrientes es indicativo que el sustrato de partida posee insignificantes concentraciones de calcio y magnesio, como reporta Carhuacho [9].

Hay que destacar, que las propiedades fisicoquímicas del biosol obtenido son adecuadas y así como los parámetros de reacción en el biodigestor; es decir, de las características de la gallinaza y del agua. Alvarado [12] afirma que el agua facilita el medio donde se desarrollan todas las reacciones bioenergéticas y químicas de la digestión.

La Tabla 3 también expone la relación entre el biosol obtenido y un biofertilizante comercial sólido generado mediante la lombricultura que elabora la empresa *Fortaleza C.A.*, en el municipio Peña, estado Yaracuy. Los valores de los diferentes parámetros evaluados del biosol están por debajo del biofertilizante comercial, excepto el valor del nitrógeno. Ahora bien, para realizar la comparación entre ambos fertilizantes, una prueba de germinación de semilla de caraota negra (*Phaseolus vulgaris*) fue llevada a cabo. Para esto, semillas de caraota bajo condiciones iguales de riego, temperatura y luz fueron sembradas. El proceso fue monitoreado durante 15 días.

La Tabla 4 muestra las características del proceso de germinación de las caraotas negras (*Phaseolus vulgaris*). Se tomaron dos macetas; una (Maceta 1) con tierra abonada y biofertilizante comercial y otra (Maceta 2) con tierra abonada y biosol obtenido. En cada maceta fueron colocadas 9 semillas de caraotas negras. La germinación de las macetas al día 4 resultaron diferentes, algunos autores exponen que entre los factores que inhiben la velocidad de germinación de la semilla están los nutrientes que poseen los sustratos de las macetas y su composición química [17]. Diferencia mostrada en la Maceta 1

que al poseer mayor cantidad de fósforo y potasio ayuda al crecimiento no retrasado de las raíces [18]; por tanto, su porcentaje de germinación es mayor al finalizar el cuarto día.

Ahora bien, la Maceta 2 arrojó un porcentaje de germinación mayor al día 15. Esto es producto de que el biosol contiene mayor cantidad de nitrógeno en comparación con el biofertilizante comercial, siendo este macronutriente el constituyente esencial de las proteínas, involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y el responsable de la coloración verde de la hoja de la planta [18]. Esto último es resaltante, pues las hojas de la Maceta 1 durante la germinación se tornaron de color marrón.

Con respecto a los micronutrientes, estos requieren una atención y cuidado especial, porque hay un margen estrecho entre el exceso y la deficiencia en las necesidades de las plantas. En general, los microelementos son necesarios sólo en pequeñas cantidades [18]. La cantidad de micronutrientes fue suficiente para a cabo el proceso de germinación en la Maceta 2.

Por lo tanto, el biosol obtenido posee las características adecuadas para la germinación y desarrollo de un cultivo de caraotas negras (*Phaseolus vulgaris*), con mejores resultados a los obtenidos con el fertilizante comercial utilizado.

## 4. Conclusiones

Los desechos avícolas generados en el fundo agropecuario *Piedras Azules* presentan características adecuadas para ser utilizados como materia prima en la elaboración de un biofertilizante. La composición del biosol en relación a los resultados

Tabla 4: Características del proceso de germinación de las caraotas negras (*Phaseolus vulgaris*)

Maceta	1	2
Contenido	Tierra abonada y biofertilizante comercial	Tierra abonada y biosol obtenido
Cantidad de semillas sembradas	9	9
Cantidad total de semillas germinadas	8	9
Cantidad de semillas germinadas al inicio (día 4)	4	1
Porcentaje de Germinación al día 4 (%)	44,44	11,11
Porcentaje de Germinación total al día 15 (%)	88,88	100

obtenidos de los macronutrientes y micronutrientes fue satisfactoria, reflejándose este hecho en la germinación del 100 % de las plantulas de *Phaseolus vulgaris* frente al 88,88 % donde se empleo un producto comercial. El aporte de esta investigación es una solución ecológica al tratamiento de residuos provenientes de estas industrias.

## Agradecimientos

Los autores manifiestan su especial agradecimiento al personal docente y técnico que labora en el Laboratorio Ambiental Aragua de la Dirección Estatal para el Eco-socialismo por el apoyo brindado. A la Lic. Zuleima Pérez y al Lic. Juan Vicente Guerrero del Laboratorio Tecnológico del Ambiente (LABTA) por la colaboración prestada, y a la Ing. Herminia Arévalo del Laboratorio de Química General por su incondicional cooperación en el desarrollo de este trabajo.

## Referencias

- [1] G. Araujo and Rosales C. Aprovechamiento de los desechos avícolas generados en el fundo agropecuario piedras azules para la obtención de un biofertilizante. Trabajo especial de grado para optar al título de ingeniero químico, Escuela de Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2018.
- [2] E. Collins, J. Barker, L. Carr, H. Brodie, and J. Martin. *Poultry waste management handbook*. Plant and Life Sciences Publishing (PALS). Cornell University Library, Ithaca, New York, USA, 1999.
- [3] A. Núñez, A. Rodríguez, J. Medina y Paricaguan, B. Caracterización de fertilizante basado en el fosfito di ácido de potasio obtenido con diferentes agentes reductores metálicos. *Revista Ingeniería UC*, 24(3):365–371, 2017.
- [4] J. Medina y B. Paricaguan. Caracterización química de tres residuos orgánicos provenientes del Hipódromo Nacional de Valencia. *Ingeniería y Sociedad*, 8(1):61–69, 2013.
- [5] COVENIN. Frutas, tomas de muestras (norma 1769-81). Norma 1769-81, Comisión Venezolana de Normas Industriales, Caracas, Venezuela, 1981.
- [6] FONAIAP, editor. *Manual de métodos y procedimientos de referencia*, chapter Plan extra-institucional para uniformar procedimientos analíticos. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de agricultura y cría, 1990.
- [7] L.S. Clesceri, A.E. Greenberg, A.D. Eaton, M.A.H. Franson, American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Number 20 in Standard Methods. American Public Health Association, 1998.
- [8] B. Estrada. Manual del manejo, producción y comercialización de la gallinaza para uso agrícola. Trabajo especial de grado en ingeniería agrónoma, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2009.
- [9] F. Carhuancho. Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en

- biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola. Trabajo especial de grado en licenciatura, Universidad Nacional Agraria, Perú, 2012.
- [10] I. Cordero. Aplicación del biol a partir de residuos: ganaderos, de cuy y gallinaza, en cultivos de *raph. anus sativus l* para determinar su incidencia en la calidad del suelo para agricultura. Trabajo especial de grado en ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2010.
- [11] A Díaz. Características fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración de biol y su efecto en germinación de semillas. Trabajo de maestría en suelos, Escuela de posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2017.
- [12] S. Alvarado. Elaboración de biol a partir de gallinaza y estiércol vacuno. Trabajo especial de práctica pre profesional, Laboratorio de Calidad y Tratamiento de Suelos, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú, 2018.
- [13] S. Aparcana y A. Jansen. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso fermentación anaeróbica para producción de biogás. Report BM-4-00-1108-1239, ProfEC GmbH, Wilhelmshaven, Alemania, 2008.
- [14] COVENIN. Fertilizantes o abonos foliares (NORMA 1817:2000). FONDONORMA, Normas COVENIN, Venezuela, 200.
- [15] N. Marti O. *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. Dissertation.com, Boca Raton, Florida, 2006.
- [16] A Montoya. Características fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración del biol y su efecto en germinación de semillas. Trabajo de maestría en suelos, Escuela de posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2017.
- [17] A. Courtis. Germinación de semillas. Guía de estudio, Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste, 2013.
- [18] FAO, Land and Water Division. Los fertilizantes y su uso. Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión, 4ta edición, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), París, 2002.