

## Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio

Cynthia Wong Arguelles

[cynthia.wong@tecvalles.mx](mailto:cynthia.wong@tecvalles.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-9637-5023>

Dulce Carolina Acosta Pintor

[dulce.acosta@tecvalles.mx](mailto:dulce.acosta@tecvalles.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-0784-7039>

Cuitláhuac Mojica Mesinas

[cuitlahuac.mojica@tecvalles.mx](mailto:cuitlahuac.mojica@tecvalles.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-8585-8249>

Habacuc Lorenzo Márquez

[habacuc.lorenzo@tecvalles.mx](mailto:habacuc.lorenzo@tecvalles.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-7060-6188>

Eleazar Vidal Becerra

[elia.vidal@tecvalles.mx](mailto:elia.vidal@tecvalles.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-3857-2103>

Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Valles  
Ciudad Valles, S.L.P. – México

Correspondencia: [cynthia.wong@tecvalles.mx](mailto:cynthia.wong@tecvalles.mx)

Artículo recibido 05 enero 2023 Aceptado para publicación: 26 enero 2023

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Wong Arguelles, C., Acosta Pintor, D. C., Mojica Mesinas, C., Márquez, H. L., & Vidal Becerra, E. (2023). Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 5241-5258. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4827](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4827)

## RESUMEN

La producción de bioles enriquecidos a través de biodigestores semicontinuos es la manera más eficaz y rápida de obtención ya que su ensamble y manejo son sencillos. La digestión anaeróbica es un proceso biológico que utiliza microorganismos para biodegradar la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produce energía en forma de biogás y tiene como subproductos el biol y biosol que pueden emplearse en la agricultura como fertilizantes orgánicos. El objetivo de este trabajo fue obtener biofertilizantes enriquecidos en biodigestor semicontinuo para su uso potencial agronómico. Se determinaron dos formulaciones con un período de fermentación de 45 a 75 días en condiciones controladas. Los biofertilizantes obtenidos (F1 y F2) tienen un pH neutro (7.77 y 8.76). La formulación 2 es la que presenta mejores resultados en cuanto a macronutrientes (0.04% N, 0.01 % P, 0.28% K) y la formulación 1 para micronutrientes (21.9 ppm de Fe y 3.96 ppm de Mn). En ambos bioles, se identificó a través de ensayos de fitotoxicidad el índice de germinación (IG), integrando el porcentaje relativo de germinación y el crecimiento relativo de raíces. Con la obtención y aplicación de biofertilizantes generados a través de residuos orgánicos de los procesos agrícolas y pecuarios se pretende disminuir los impactos ambientales generados por el uso de fertilizantes químicos.

**Palabras clave:** *residuos; bioles; digestión anaerobia; fitotoxicidad.*

## Obtaining enriched biofertilizers in semi-continuous biodigesters at laboratory level

### ABSTRACT

The production of enriched bioles through semi-continuous biodigesters is the most efficient and fastest way of obtaining it since its assembly and handling are simple. Anaerobic digestion is a biological process that uses microorganisms to biodegrade organic matter in the absence of oxygen, produces energy in the form of biogas and has biol and biosol as by-products that can be used in agriculture as organic fertilizers. The objective of this work was to obtain biofertilizers enriched in a semicontinuous biodigester for its potential agronomic use. Two formulations with a fermentation period of 45 to 75 days under controlled conditions were determined. The biofertilizers obtained (F1 and F2) have a neutral pH (7.77 and 8.76). Formulation 2 is the one that presents the best results in terms of macronutrients (0.04% N, 0.01% P, 0.28% K) and formulation 1 for micronutrients (21.9 ppm Fe and 3.96 ppm Mn). In both bioles, the germination index (GI) was identified through phytotoxicity tests, integrating the relative percentage of germination and the relative growth of roots. With the obtaining and application of biofertilizers generated through organic waste from agricultural and livestock processes, it is intended to reduce the environmental impacts generated by the use of chemical fertilizers.

**Keywords:** *waste; biols; anaerobic digestion; phytotoxicity.*

## INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha informado reiteradamente sobre los riesgos que representa el incremento de la población, ya que nos enfrentamos a un problema no sólo de cantidad sino de calidad; pues los sistemas agrícolas en el mundo experimentan una vulnerabilidad debida a la alta presión demográfica y prácticas productivas insostenibles (FAO, 2021).

Esta preocupación se incrementa en economías emergentes como México que basan su desarrollo a través del uso del medio ambiente natural y de los recursos de una manera que tiene efectos destructivos sobre el planeta lo cual genera presión a los mismos sistemas de los que depende el desarrollo futuro y la supervivencia.

Ante este escenario, el objetivo 12 “Producción y Consumos Responsables” establece como metas al año 2030 lograr una gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, reducir la generación de residuos, asegurar que todo el mundo tenga la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su capacidad científica y tecnológica (ONU, 2015).

Por contraparte, para el año 2020 se tenía como meta alcanzar el equilibrio ecológicamente racional de los productos químicos, meta que en México no se ha alcanzado. En el año 2021 en México se produjeron en promedio 59,000 toneladas de fertilizantes nitrogenados mensualmente, experimentando un crecimiento del 20% respecto al año 2020. Es importante señalar que México sólo produce el 35% de los fertilizantes que utiliza, lo cual revela una tendencia al alza en la necesidad de fertilizar los campos de cultivo y una dependencia a modelos agrícolas insostenibles (FIRA, 2021).

A pesar de la percepción generalizada de vivir una crisis ambiental, paralelamente se ha estimulado el desarrollo de diversas tecnologías enfocadas en la reducción de la dependencia de los modelos de fertilización basados en productos de síntesis química.

Una de estas tecnologías es el desarrollo de biofertilizantes (bioles) a partir de material residual procedente de otras industrias adyacentes como la ganadería. No sólo los aspectos ambientales son destacados en la producción y aplicación de biofertilizantes, respecto a los fertilizantes de síntesis química, también se destacan otros atributos altamente deseables como son: mantener bajos costos de producción, ser accesibles, y mantener los rendimientos de producción.

El deterioro del medio ambiente a causa de los agroquímicos ha traído como alternativa para los productores agrícolas la aplicación de los biofertilizantes ya que en la actualidad se usa mayormente entre productores de plántulas en invernaderos y viveros y han surgido microempresas productoras de abonos orgánicos y la producción de biofertilizantes por los mismos productores (Chávez-Galavíz et al., 2020). El uso de estos, le da al agricultor y ganadero la oportunidad de aprovechar todos los recursos que tiene a su disposición e ingerir menos insumos externos y así aumentar el rendimiento de sus recursos y obtener ganancias positivas para su economía; proporcionan una alternativa al uso de los desechos agroindustriales que puedan existir para reincorporarlos en un nuevo elemento que de soporte y sustento al suelo y a los cultivos (Reyes Meléndez, 2017).

Los biofertilizantes (también conocidos como bioles) son sustancias que contienen una variedad de microorganismos que tienen la capacidad de mejorar la absorción de nutrientes de las plantas al colonizar la rizosfera y hacer que los nutrientes sean fácilmente accesibles para las raíces de las plantas. Los biofertilizantes son bien conocidos por su rentabilidad, su naturaleza respetuosa con el medio ambiente y su composición. Estos son alternativas efectivas a los fertilizantes químicos (Debmalya et al., 2021). Restrepo Rivera y Hensel (2013), definen a los biofertilizantes como abonos líquidos con mucha energía equilibrada y en armonía mineral, preparados a base de excremento de vaca fresca disuelta en agua y enriquecida con suero o leche, ceniza o fosfitos y melaza, que se ha puesto a fermentar por varios días en toneles o tanques de plástico, bajo un sistema anaerobio (sin la presencia de oxígeno) y muchas veces enriquecido con harina de rocas molido o algunas sales minerales o sulfatos, como son los sulfatos de magnesio, zinc, cobre, etc.

El biol es un abono foliar orgánico líquido, producto de la fermentación anaeróbica de restos orgánicos de animales y vegetales como estiércol, plantas verdes, frutos entre otros. Contiene nutrientes que son absorbidos fácilmente por las plantas y su principal característica es que son fitorreguladores, es decir, que en pequeñas cantidades son capaces de promover la actividad fisiológica estimulando el desarrollo de las plantas. Una de las principales técnicas para la obtención de biol es a través de biodigestores (INIA, 2008).

El Manual del Biogás de la FAO establece que, el bioabono o biofertilizante en forma líquida es lo proveniente de digestores continuos con una alta tasa de carga y un bajo contenido de sólidos totales (inferior al 12 %), el inconveniente de éste es su comercialización por el estado físico de su presentación (Varnero Moreno, 2011).

Los biofertilizantes se han convertido en los principales candidatos para los métodos de agricultura sostenible respetuosos con el medio ambiente y libres de productos químicos, mejorando la calidad y el entorno microbiológico del suelo (Nidhi y Mangesh, 2021; Pirttilä et al., 2021). biodigestor (Reyes Meléndez, 2017). Consumir biofertilizantes orgánicos reemplaza a los inorgánicos al tener una naturaleza bacteriana que es capaz de producir metabolitos secundarios elicitores (compuestos indólicos y queladores), todas estas bacterias trabajan en simbiosis con las plantas fijando el nitrógeno que se encuentra disponible al suelo que a su vez las plantas lo absorben como nutriente, el ser humano que se encuentra al final de la línea de producción es quien se beneficia del producto a largo plazo como resultado de la disminución de la interacción con contaminantes tóxicos al consumir productos cultivados con productos orgánicos, que la continua ingesta de alimentos cultivados con fertilizantes inorgánicos que pueden contener agentes tóxicos y contaminantes como el benzonitrilo y bromoxynil (Hipólito-Romero et al., 2017).

La obtención del biol depende del clima y de las características del biodigestor en el sistema de digestión anaeróbico; el biofertilizante más sencillo de preparar y fermentar demora entre 20 y 30 días de fermentación. Sin embargo, para preparar biofertilizantes enriquecidos con sales minerales se puede demorar de 35 hasta 45 días. La clasificación como biofertilizante, depende de las características bioquímicas de las materias primas utilizadas, de forma que, si éstas contienen altos niveles de nutrientes, generarán productos con características de fertilizantes orgánicos. En función de la calidad de estos materiales digeridos se puede establecer propuestas de uso, manejo y disposición adecuada, considerando especialmente su aplicación al suelo, de acuerdo con su valor agrícola (Varnero Moreno, 2011).

Diversas investigaciones en todo el mundo señalan que el uso de biofertilizantes es una necesidad imperiosa para alcanzar un equilibrio en la producción de alimentos y la disminución de residuos contaminantes. En la actualidad, la preservación de suelos y la materia orgánica se ha vuelto un desafío, lo que ha llevado a buscar una mejor manera de llevar a cabo agricultura, utilizando la producción de biofertilizantes a partir de

residuos orgánicos para aplicarlo en cultivos, aprovechando las materias primas disponibles, contribuyendo así, al desarrollo de manera sostenible de los suelos de nuestro país (Chávez Galavíz, 2020). El uso de biofertilizantes en cultivos básicos ha dado resultados satisfactorios en muchas regiones tropicales, siendo un excelente abono orgánico foliar, utilizado especialmente para los cultivos de papa, maíz, trigo, haba y hortalizas (Mamani, Chávez, y Ortuño, 2017).

A través de ensayos de fitotoxicidad, se determina la madurez del biofertilizante que es el grado de descomposición de sustancias fitotóxicas (ácidos orgánicos o altas concentraciones de sales) y la estabilidad que se refiere al grado de humidificación de la materia orgánica; ya que si no se cumplen estos parámetros se puede llegar a tener un comportamiento tóxico del biofertilizante y se puede inhibir la germinación de semillas o el crecimiento de raíces en los cultivos (Huerta et al., 2015). Para evaluar de manera indirecta la presencia de toxinas el método más utilizado es el propuesto Zucconi et al., (1981) que consiste en realizar bioensayos de fitotoxicidad con semillas sensibles a fitotoxinas.

Debido a la necesidad de generar un cambio en el contexto de preservación del ambiente, de la materia orgánica y disminuir la utilización de fertilizantes químicos, surge la necesidad de producir biofertilizante. Por consiguiente, el objetivo de este proyecto es obtener biofertilizantes a partir de residuos en biodigestores semicontinuos, determinar el contenido de nutrientes y su fitotoxicidad para su uso potencial agronómico.

## **METODOLOGÍA**

La metodología utilizada en esta investigación es cuantitativa con investigación aplicada y experimental. Para desarrollar el proyecto de producción de biofertilizantes a partir de residuos orgánicos en biodigestores, se basó en un procedimiento metodológico de investigación, comparación experimental y producción de los proyectos desarrollados previamente en el Tecnológico Nacional de México campus Ciudad Valles.

### **Alimentación de biodigestores y determinación de parámetros fisicoquímicos**

Las materias primas consideradas son: el excremento fresco, sustancias que aceleren la fermentación (como la melaza), restos de procesos lácteos (leche) u otros productos que enriquezcan de minerales al biofertilizante (cenizas). Se determinaron 2 formulaciones de acuerdo a las propuestas por Restrepo y Hensel (2013), con los mismos ingredientes,

pero en diferentes cantidades y con base en los resultados que se obtuvieron en trabajos de investigación previos en 2020 para el enriquecimiento de los biofertilizantes (Tabla 1). Los biodigestores semicontinuos tienen una capacidad de 20 L, constan de líneas de tubo de PVC de 3 m de largo. La salida del gas que se genera, se controla con una cámara para determinar la salida de este. La alimentación fue diaria de los 2 biodigestores semicontinuos y se tomaron los parámetros fisicoquímicos de pH, conductividad y temperatura por un lapso de 45 días. Se tomaron muestras de alimentación (5g) de las 2 formulaciones a los biodigestores para identificar la composición de los residuos y se utilizaron métodos básicos de laboratorio como son la determinación de humedad y la determinación de cenizas por el método gravimétrico; además de porcentaje de materia orgánica cada 10 días por triplicado.

- 1) Humedad: Conforme lo establece la (NMX-F-083-1986.), se introdujeron las muestras en una estufa de secado a 105 °C, hasta obtener peso constante entre dos pesadas consecutivas. Para calcular el porcentaje de humedad se aplicó la ecuación 1:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(B-A)-(C-A)}{(B-A)} \times 100 \quad (\text{ec. 1})$$

**Donde:**

A= Peso del frasco a peso constante (g)

B= Peso del frasco a peso constante con muestra húmeda (g)

C= Peso del frasco con muestra seca (g).

- 2) Sólidos totales (St): Se obtuvieron por diferencia, respecto al porcentaje de humedad. Se determinó el contenido de cenizas y de sólidos volátiles.
- 3) Cenizas: Esta prueba se realizó mediante la (NMX-F-066-S-1978.), dónde se tomaron 2 g de los residuos a los que se les determinó la humedad y se calcularon los porcentajes de cenizas. Este porcentaje se obtuvo por diferencia de pesos, usando la ecuación 2:

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{cenizas}) - (\text{peso del crisol})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (\text{ec. 2})$$

- 4) Sólidos volátiles (Sv): Una vez determinado el porcentaje de cenizas, se calculó por diferencia el porcentaje de sólidos volátiles.

- 5) Materia orgánica: Se realizó por el método de calcinación utilizado por Izquierdo-Bautista y Arévalo-Hernández (2021). Se introducen tres crisoles a una estufa por un lapso de 16 a 24 horas, posteriormente se retiran de ella para ser introducidos en un desecador para determinar su peso constante (P1). Una vez pesados los crisoles se le agregan 5 g. de muestra, posteriormente se introducen a la mufla a una temperatura de 360 °C durante 2 hrs. Pasado este tiempo se introducen nuevamente en el desecador hasta llegar a temperatura ambiente y constante. Por último, se pesan los crisoles para así obtener el peso final (P2) y se usa la ecuación 3:

$$\% \text{ MO} = \frac{\text{Peso 1 (P1)} - \text{Peso 2 (P2)}}{\text{Peso 1 (P1)}} \times 100 \quad (\text{ec. 3})$$

### **Producción de biofertilizantes y contenido de nutrientes**

La producción de biofertilizantes se realizó en dos etapas, las cuales constan de 30 y 45 días de duración cada una, y a su vez cada etapa arroja dos muestras de biol, una por cada formulación utilizada. Una vez concluidos los 75 días de se tomó una muestra de 1L por cada biodigestor y se enviaron a un laboratorio certificado para su análisis fisicoquímico.

Los análisis de laboratorio, correspondientes a las pruebas fisicoquímicas de humedad, materia orgánica, sólidos totales, cenizas, conductividad eléctrica (CE), cationes básicos (Ca, Mg, Na y K), azufre (S), micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu), boro (B) y fósforo (P), se realizaron en el laboratorio Fertilab, que es un laboratorio con alto control de calidad en México, respaldado por acreditaciones y certificaciones.

Con el propósito de medir los efectos fitotóxicos de los dos biofertilizantes obtenidos y su incidencia sobre la germinación y el crecimiento de las plantas, se realizaron ensayos de fitotoxicidad aguda con semillas indicadoras. Se tomó como referencia lo establecido por Huerta et al., (2015), donde los bioensayos están basados en la colocación de semillas de una o varias especies vegetales en contacto con el extracto acuoso, comparándose con un testigo la tasa de germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento siendo estos los 5 días o 120 horas de exposición; utilizando la metodología propuesta por Zucconi et al. (1981), y la cantidad de extracto sugerida por Varnero et al. (2007). Los bioensayos fueron realizados en el Laboratorio de Química del TecNM campus Ciudad Valles con semillas de maíz, lenteja y

frijol, con la finalidad de evaluar la calidad de los bioles y determinar su nivel adecuado de dilución para uso agronómico.

De cada muestra obtenida de biofertilizante (B1 y B2), se prepararon diluciones de 1.5, 6, 12, 25 y 50% en relación biofertilizante/agua destilada; como testigo se utilizó agua destilada. Se colocaron 4 mL de cada extracto en cajas de Petri, respectivamente, donde se depositaron veinte semillas sobre papel filtro humedecido. Una vez colocadas las semillas en las cajas Petri, se mantuvieron durante cinco días a 25 °C. Una vez transcurrido este tiempo, se recabaron los datos necesarios para calcular el porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento radicular relativo (CRR) y posteriormente obtener el índice de germinación (IG) de acuerdo a la metodología utilizada por Huerta et al., (2015) y Tiquia (2000); lo cual permite establecer tres niveles de fitotoxicidad de acuerdo al IG: severa (menor 50%), moderada (entre 50 y 80%) y baja o nula (mayor a 80%).

$$PGR = \frac{\text{Número de semillas germinadas en el extracto}}{\text{Número de semillas germinadas en el testigo}} \times 100 \quad (\text{ec. 4})$$

$$CRR = \frac{\text{Elongación de radícula en el extracto}}{\text{Elongación de radícula en el testigo}} \times 100 \quad (\text{ec. 5})$$

$$IG = \frac{(PGR)(CRR)}{100} \quad (\text{ec. 6})$$

Los datos fueron analizados y procesados mediante el programa estadístico RStudio versión 4.2.2. Se aplicó el análisis de varianza de una vía. Previamente y mediante la prueba de Levene, se testeó la homogeneidad de las varianzas de las distribuciones, la condición de normalidad fue testeada a través de la prueba de Shapiro-Wilk. En los casos en que se hallaron diferencias significativas entre las medias, el análisis se complementó con la prueba de contraste a posteriori de Tukey para identificar los pares de medias entre los que se observaban dichas diferencias.

Los casos que no se ajustaron a las condiciones de normalidad se realizaron transformaciones logarítmicas de los datos en búsqueda de corregir la heterogeneidad de varianza en los casos necesarios. De lo contrario se utilizó la estadística no paramétrica a través del estadístico Kruskal-Wallis.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los biodigestores inician su funcionamiento con la mezcla de los insumos al interior, donde el proceso de biodigestión al interior se inicia y tuvo una duración de 75 días. De esta manera se produjeron aproximadamente 60 litros de biofertilizantes. Las muestras de alimentación de los residuos orgánicos para el biodigestor fueron analizadas en el Laboratorio de Química del TECNM campus Ciudad Valles ya que las características bioquímicas que presenten estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico (Vernero Moreno, 2011). Los resultados obtenidos se se presentan en la tabla 2.

Para la formulación 1, el rango de pH fue de 6.67-9.91, 204-427 mS/cm para conductividad y de 17.4 a 31.2 °C; para la formulación 2, pH de 6.85 a 8.81, conductividad de 210-541 mS/cm y un rango de temperatura de 16.7 a 28.9 °C. Ambas formulaciones de alimentación se encuentran en un pH neutro y la formulación 2 es la que presenta mayor conductividad, mientras que la formulación 1 es la que alcanza mayor temperatura dentro del biodigestor.

La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento ( $\mu_{max}$ ) mayor, conforme aumenta el rango de temperatura (Varnero Moreno, 2011). Se observa que, con los datos obtenidos, se favoreció la reproducción de microorganismos mesófilos dentro del biodigestor.

Se observa que el pH de las formulaciones es alcalino. Esto puede deberse al pH alcalino de las excretas resultado de la acción microbiana sobre las proteínas en los nutrimentos no asimilados lo que provoca la generación de amoníaco que en presencia de humedad reacciona con el agua y provoca la alcalinización de las excretas (Peralta-Veran et al., 2016). De acuerdo a Varnero Moreno (2011), para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0; el nivel de pH deseado para la operación del digestor se puede conseguir ajustando el pH de las materias primas que entran al digestor o controlando el pH en el digestor por lo que es necesario ajustar el pH o modificar la cantidad de materias primas o el enriquecimiento con la

suplementación de alcalinidad utilizando químicos tales como bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, hidróxido de amonio, gas amoníaco, cal, hidróxido de sodio y potasio. El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso (Varnero Moreno, 2011); los resultados de las formulaciones son 10.3 y 10.9 % para F1 y F2, respectivamente; estableciéndose dentro del rango óptimo.

En cuanto a los resultados de los biofertilizantes obtenidos, podemos observar en la tabla 3 que el pH para el biol 1 (B1) es de 8.76, mientras que para el biol 2 (B2) es de 7.77. De acuerdo a lo reportado por Aparcana Robles y Jansen en 2008 en un estudio sobre el valor fertilizante de cuatro tipos de biol producidos a partir de estiércol bovino, cunícola y ovino, encontraron valores de pH que oscilaron de 6.7 a 8.1. Por lo que, el pH del B2 se encuentran muy cercano a la neutralidad lo que puede indicar que el proceso de biodigestión se llevó a cabo de manera completa, debido al desarrollo normal de los microorganismos presentes en la fase líquida.

Para la conductividad eléctrica (CE), los valores obtenidos son menores (9.1 y 10.3 dS/m) a los reportados por Peralta-Veran en 2016 para la obtención de un abono orgánico líquido (24.50 a 26.40 dS/m). Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en los cultivos.

En los contenidos de macro y micronutrientes (N, K, Mg, Na, Cu, Zn y B) de los bioles obtenidos (B1 y B2), observamos en los resultados que en el biol 2 (B2) son mayores que los encontrados en el biol 1 (B1), lo que permite concluir que el proceso de fermentación láctica mejora las concentraciones de los nutrientes al incorporar fuentes de carbohidratos en mayor proporción como lo son la melaza y el suero de leche en las formulaciones (Tabla 4 y 5).

En el biol I, el nitrógeno se encuentra en 300 mg/L en la muestra y el biol 2 en 400 mg/L, quedando por debajo de los valores mostrados por (Aparcana Robles y Jansen, 2008); quienes reportan resultados para el biol a partir de estiércol bovino entre 0.9 y 2.63 g/Kg (900 a 2630 mg/L), en un estudio sobre el valor fertilizante de cuatro tipos de biol producidos a partir de estiércol bovino, cunícola y ovino.

Para el potasio se obtienen valores de 2500 y 2800 mg/L para B1 y B2 respectivamente; estando 10 veces por encima de los resultados reportados por Pérez Méndez et. al., (2018) quienes presentan un resultado de 232.5 mg/L de K en un biol a partir de estiércol bovino, en un estudio de bioles elaborados a partir del estiércol bovino puro o con adición de restos vegetales.

En cuanto a los resultados obtenidos de los análisis de los micronutrientes, se muestran en la tabla 5. Encontrando que para Fe, el B1 y B2 (22 y 20 mg/L), superan al valor reportado de 6 mg/L por Díaz Montoya en 2017 en un estudio sobre tratamientos elaborados con estiércol bovino, estiércol de animales menores y vegetales; lo mismo sucede para Mn con 4 y 3 mg/L estando por ligeramente por encima del valor de ese mismo estudio (2.7 mg/L). Los micronutrientes tienen que ser agregados en cantidades muy pequeñas cuando no pueden ser provistos por el suelo y su adición puede ser opcional dependiendo de las necesidades de los cultivos (Varnero Moreno, 2011).

En la tabla 6 y 7, se presentan los resultados de los ensayos de fitotoxicidad en semillas de maíz, lenteja y frijol. Respecto a la germinación de las semillas, se registró un porcentaje relativo de germinación superior al 92% en todas las diluciones. Los resultados arrojaron índices de germinación superiores a 80% para el biofertilizante 1 y 2 en maíz y frijol y moderado para lenteja lo que permite afirmar que los biofertilizantes obtenidos evaluados presentan de un moderado a un bajo grado de fitotoxicidad.

Se observa que en las cuatro diluciones probadas no existen efectos fitotóxicos del biol I sobre la germinación de la semilla de maíz; el porcentaje de IG en todas las diluciones están por encima del 80% como se observa en la tabla 6, en el biol 2 sucede lo mismo a excepción de la dilución 50. Lo que denota una presencia moderada de sustancias fitotóxicas en el biol 2 que afectaron el desarrollo de la plántula, ya que presentó un menor crecimiento radicular que podemos observar en la figura 1.

En la elongación radicular e índice de germinación en ambos bioles, la dilución del 6 fue la que dio los mejores resultados para maíz, frijol y lenteja.

## ILUSTRACIONES, TABLAS, FIGURAS.

**Tabla 1.** *Materia prima utilizada en las formulaciones para la producción de biofertilizantes.*

| Materia prima   | Formulación 1 | Formulación 2 |
|-----------------|---------------|---------------|
| Excreta de vaca | 150 g         | 250 g         |
| Melaza          | 5 mL          | 30 mL         |
| Leche de vaca   | 10 mL         | 40 mL         |
| Cenizas         | 25 g          | 30 g          |
| Agua            | 450 mL        | 450 mL        |

**Tabla 2.** *Análisis fisicoquímico de las formulaciones (F1 y F2) para alimentación del biodigestor en el laboratorio de Química del TecNM campus Ciudad Valles.*

| Formulación | pH   | T°   | % MO | % Humedad | % Ceniza | % Sólidos volátiles | % Sólidos totales |
|-------------|------|------|------|-----------|----------|---------------------|-------------------|
| F1          | 9.91 | 31.2 | 0.81 | 94.8      | 8.8      | 55.9                | 10.3              |
| F2          | 8.81 | 28.9 | 1.56 | 94.9      | 23.1     | 62.9                | 10.9              |

**Tabla 3.** *Determinación de pH y conductividad por laboratorio certificado (Fertilab) de los bioles obtenidos en biodigestor semicontinuo.*

| Biol | pH   | Conductividad eléctrica (dS/m) |
|------|------|--------------------------------|
| B1   | 8.76 | 9.1                            |
| B2   | 7.77 | 10.3                           |

**Tabla 4.** *Análisis de macronutrientes por laboratorio certificado (Fertilab) de los bioles obtenidos en biodigestor semicontinuo.*

| Biol | N mg/L | P mg/L | K mg/L | Ca mg/L | Mg mg/l | Na mg/L | S mg/L |
|------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| B1   | 300    | 100    | 2500   | 800     | 400     | 200     | 100    |
| B2   | 400    | 100    | 2800   | 800     | 500     | 200     | 100    |

**Tabla 5.** Análisis de micronutrientes por laboratorio certificado (Fertilab) de los bioles obtenidos en biodigestor semicontinuo.

| Biol | Fe<br>mg/L | Cu<br>mg/L | Mn<br>mg/L | Zn<br>mg/L | B<br>mg/L | Mo<br>mg/L | Ni<br>mg/L |
|------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| B1   | 22         | 0.0        | 4          | 1          | 1         | NA         | NA         |
| B2   | 20         | 1          | 3          | 2          | 2         | NA         | NA         |

**Tabla 6.** Comparación de medias por factores de estudio en variables de germinación en semillas de maíz, lenteja y frijol con el biol 1 (B1).

| Biol 1       | Maíz     |          |         | Lenteja  |          |         | Frijol   |          |         |
|--------------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|
|              | CRR<br>% | PGR<br>% | IG<br>% | CRR<br>% | PGR<br>% | IG<br>% | CRR<br>% | PGR<br>% | IG<br>% |
| Dilución 1.5 | 158,79   | 110      | 174,67  | 87,93    | 98,31    | 86,44   | 107,78   | 101,79   | 109,70  |
| Dilución 6   | 134,79   | 110      | 148,26  | 71,84    | 101,69   | 73,05   | 87,97    | 92,86    | 81,68   |
| Dilución 12  | 150,96   | 112      | 169,08  | 65,69    | 100,00   | 65,69   | 104,64   | 94,64    | 99,04   |
| Dilución 50  | 167,50   | 108      | 180,90  | 91,37    | 94,92    | 86,72   | 82,47    | 85,71    | 70,69   |

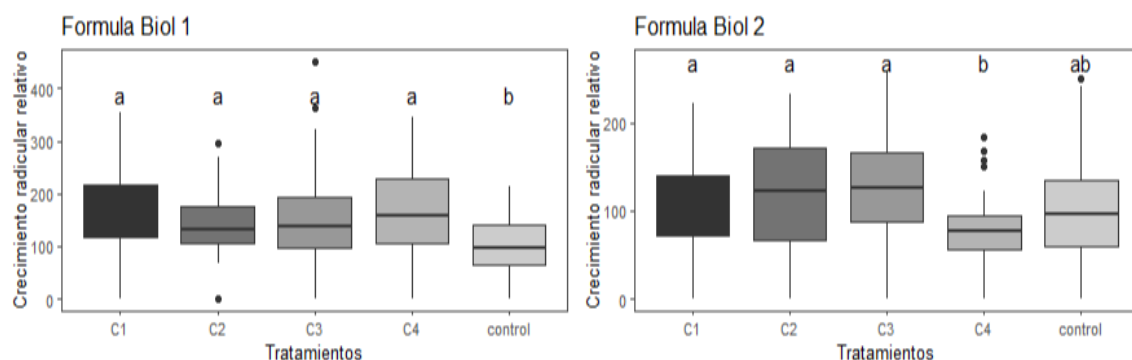
CRR: Crecimiento radicular relativo; PGR: Porcentaje de germinación relativa; IG: Índice de Germinación

**Tabla 7.** Comparación de medias por factores de estudio en variables de germinación en semillas de maíz, lenteja y frijol con el biol 2 (B2).

| Biol 1       | Maíz     |          |         | Lenteja  |          |         | Frijol   |          |         |
|--------------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|
|              | CRR<br>% | PGR<br>% | IG<br>% | CRR<br>% | PGR<br>% | IG<br>% | CRR<br>% | PGR<br>% | IG<br>% |
| Dilución 1.5 | 105,50   | 100      | 105,50  | 108,07   | 98,33    | 106,27  | 105,02   | 98,33    | 105,02  |
| Dilución 6   | 116,53   | 93       | 108,36  | 99,44    | 100,00   | 99,44   | 112,88   | 100,00   | 116,84  |
| Dilución 12  | 123,19   | 100      | 123,19  | 113,17   | 100,00   | 113,17  | 92,25    | 100,00   | 90,64   |
| Dilución 50  | 76,37    | 102      | 77,71   | 82,38    | 98,33    | 81,01   | 90,72    | 98,33    | 81,17   |

CRR: Crecimiento radicular relativo; PGR: Porcentaje de germinación relativa; IG: Índice de Germinación

**Figura 1.** Porcentaje de crecimiento radicular relativo respecto a las diluciones en los bioensayos de fitotoxicidad.



C1: Dilución 1.5, C2: Dilución 6, C3: Dilución 12, C4: Dilución 50

## CONCLUSIONES

La obtención de biofertilizantes en biodigestores tipo semicontinuo resulta muy adecuado ya que la cantidad de materia orgánica que ingresaba a diario permitió una fermentación más controlada, no dando lugar a una fermentación ácida, logrando un pH promedio de 8.81 y 9.91. Es necesario un mejor control del pH.

El biodigestor estuvo operando bajo condiciones mesófilas; es decir con temperaturas entre los 20 y 40°C. Bajo estas condiciones, el biol obtenido presentó un contenido de sólidos totales del 10.3 y 10.9 %. Es decir, aproximadamente el 89 % del material que entró al biodigestor se transformó en biol y el 11% en biosol.

El análisis realizado a los bioles, permite identificar que hay nutrientes que presentan baja concentración (P, K, Ca, Mg y Na), por lo que será necesario suplir deficiencias nutricionales altas en los cultivos y en cuanto al contenido de los macro y micronutrientes nos confirma que el proceso de fermentación láctica mejora al incorporar fuentes de carbohidratos como la leche y el jugo de caña y se pueden mejorar con la adición de estos u otras sustancias o el ajuste de las cantidades de residuos utilizados.

Los dos bioles obtenidos pueden ser utilizados para realizar pruebas con cultivos. Sobre todo, el biol I sobre la germinación de la semilla de maíz; ya que el porcentaje de IG en todas las diluciones están por encima del 80% lo que indica que no hay presencia de sustancias fitotóxicas o están en muy baja concentración, por lo tanto, hubo un adecuado desarrollo de la germinación de la semillas y crecimiento de la radícula.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Aparcana Robles S., Jansen A. (2008). Estudio sobre el Valor Fertilizante de los productos del proceso "Fermentación Anaeróbica" para producción de biogás. German ProfEC GmbH. Alemania.
- Chávez Galavíz, A., Torres Rueda, L., Sánchez García, A. (2020). Producción de biofertilizante a partir de residuos orgánicos y su aplicación en cultivo de maíz. Revista Ingeniantes. Año 7 No. 2 Vol. 2.
- Debmalya Dasgupta, Kulbhushan Kumar, Rashi Miglani, Rojita Mishra, Amrita Kumari Panda, Satpal Singh Bisht. (2021). Chapter 1 - Microbial biofertilizers: Recent trends and future outlook. Editor(s): Surajit De Mandal, Ajit Kumar Passari. Recent Advancement in Microbial Biotechnology, Academic Press. Pages 1-26. ISBN 9780128220986. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822098-6.00001-X>

- Díaz Montoya, A. J. (2017). Características fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración de biol y su efecto en germinación de semillas.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2021). <https://www.fao.org/home/es>
- FIRA (2021). Reporte trimestral de fertilizantes Diciembre 2021. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. <https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF>
- Hipólito-Romero E., Carcaño Montiel M.G., Ramos Prado J.M., Vázquez Cabañas E.A., López Reyes L., Ricaño Rodríguez J. (2017). Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos en el desarrollo temprano de cultivares mejorados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal tradicional en el norte de Oaxaca, México. *Revista Argentina de Microbiología*. 49 (4): 356-365.
- Huerta Muñoz, Elena, Cruz Hernández, Javier, Aguirre Álvarez, Luciano, Caballero Mata, Raymundo, & Pérez Hidalgo, Luis Felipe. (2015). Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación de lechuga. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 179-185.
- INIA. Instituto Nacional de Investigación Agraria (2008). Producción y uso de biol. Lima, Perú.
- Izquierdo Bautista J., Arévalo Hernández J.J. (2021). Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) por el método químico y por calcinación. *Revista Ingeniería y Región*. Vol. 6. Universidad Surcolombiana.
- Mamani, P., Chavez, E., & Ortuño, N. (2017). El Biol. *Biofertilizante Casero para Producción Ecológica de Cultivos*, 1-11.
- Nidhi Bharti and Mangesh Suryvanshi (2021). Quality control and regulations of biofertilizers: Current scenario and future projects. In *Biofertilizers: Volume 1: Advances in Bio-inoculants*. Woodhead Publishing. 440 pag.
- Organización de las Naciones Unidas (2015). "Informe 2015 sobre los Objetivos de Desarrollo del Milenio", Nueva York. [edición electrónica] [http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015\\_spanish.pdf](http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015_spanish.pdf)
- Peralta-Veran, Liliana, Juscamaita-Morales, Juan, & Meza-Contreras, Víctor. (2016). Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento

de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada*, 15(1), 1-10.

Perez Méndez M., Peña Peña E., Amado S., Hechemendía L., Yero Y., Hechavarría A. (2018). Producción de biol y determinación de sus características físico-químicas. Revista digital: Ojeando la agenda. Cuba.

Pirttilä, A.M.; Mohammad Parast Tabas, H.; Baruah, N.; Koskimäki, J.J. (2021). Biofertilizers and Biocontrol Agents for Agriculture: How to Identify and Develop New Potent Microbial Strains and Traits. *Microorganisms*, 9, 817. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040817>

Restrepo, J.; Hansel, J. (2013). El ABC de la agricultura orgánica, fosfitos y panes de piedra. Ed. Satyagraha Juquira Candirú, Colombia.

Reyes Meléndez, F. M. (2017). Efecto del biol en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) Cv NB-9043, finca El Plantel, Masaya 2017.

Varnero Moreno, M. T. (2011). Manual de biogás. Roma, It.: FAO.org.

Zucconi, F., A. Pera, M. Forte, and M. de Bertoli. (1981). Evaluations toxicity in immature compost. *BioCycle* 22: 54-57.