

Eficiencia de probióticos en la calidad del efluente de agua residual doméstica tratada en biodigestores

Efficiency of probiotics in the quality of the effluent of domestic wastewater treated in biodigesters

MEJIA MARTINEZ, Elvis Yoel¹, VASQUEZ GARCÍA, Ántero Celso²; GAMARRA GONZÁLES, Julissa del Rocío³;
CABRERA SALAZAR, Tarcila Amelia⁴; MORALES CABRERA, Liz Amelia Juanitaflor⁵

¹Ingeniería y Construcción Peña Blanca
^{2,4,5}Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
³Universidad César Vallejo

RESUMEN

Se evaluó la eficiencia del biodigestor estándar de 600 litros, así como la adición de 1 litro, 10 litros y 100 litros de consorcios microbianos denominados probióticos sobre 13 muestras de agua residual domestica rural tratada en biodigestores en el Anexo Santeño perteneciente al Sector el Carmen del distrito de Tuman. Luego de la activación de los probióticos se adicionó determinadas concentraciones de los microorganismos. la microbiológica se determinó al inicio del experimento y transcurridas 24, 48 y 96 horas. En la calidad Microbiológica se determinaron las concentraciones de Coliformes Termotolerantes por la técnica del NMP/100mL, Se concluyó que 1. El biodigestor estándar no realiza un tratamiento eficiente en la calidad microbiológica del agua residual domestica rural, debido a que el valor del NMP $\geq 2400/100\text{mL}$ de las coliformes termotolerantes se encuentran por encima de los límites máximos permisibles fijados por el DS 004-2017-MINAM. 2. El efecto más notable es la adición de 100 litros de consorcios microbianos denominados probióticos, permitió obtener agua residual domestica de mejor calidad microbiológica, logró reducir las coliformes termotolerantes hasta NMP=150/100mL, valor que se encuentra por debajo de los Límites Máximos permisibles según el DS 004-2017-MINAM. 3. El tiempo de infiltración para el descenso de 1 cm de lámina de agua es de 5 minutos, clasificándose según la norma I.S.020 (tanques sépticos) en un terreno de clase media.

Palabras clave: probióticos, agua residual, biodigestor.

ABSTRACT

The efficiency of the 600 liters standard biodigester was evaluated, as well as the addition of 1 liter, 10 liters and 100 liters of microbial consortiums named probiotics on 13 samples of rural domestic wastewater treated in biodigesters in the Santeño Annex belonging to the El Carmen sector district of Tuman. After the activation of the probiotics, certain concentrations of the microorganisms were added. the microbiological was determined at the beginning of the experiment and after 24, 48 and 96 hours. In the Microbiological quality the concentrations of Thermotolerant Coliforms by the NMP / 100mL technique were determined. It was concluded that 1. The standard biodigester does not perform an efficient treatment in the microbiological quality of rural domestic wastewater, because the MPN value $\geq 2400 / 100\text{mL}$ of the thermotolerant coliforms are above the maximum permissible limits set by DS 004-2017-MINAM. 2. The most notable effect is the addition of 100 liters of microbial consortiums called probiotics, allowed to obtain domestic residual water of better microbiological quality, managed to reduce the thermotolerant coliforms until NMP = 150 / 100mL, value that is below the Maximum Limits permissible according to DS 004-2017-MINAM. 3. The infiltration time for the descent of 1 cm of water sheet is 5 minutes, classified according to the I.S.020 standard (septic tanks) in a middle class terrain.

Keywords: probiotics, residual water, biodigester.

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista UCV HACER Campus Chiclayo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

Recibido: 26 de marzo de 2021

Aceptado: 22 de junio de 2021

Publicado: 01 de julio de 2021

¹Ingeniero Agrícola, Gerente General Ingeniería y Construcción Peña Blanca, e-mail: elvisyoelm@gmail.com@yahoo.com,  <https://orcid.org/0000-0002-9061-2638>

²Biólogo Pesquero, Maestro en ciencias con mención en Evaluación y Administración de Recursos Pesqueros, Doctor en Medio Ambiente, Principal Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, e-mail: antero Vasquez@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-8977-3274>

³Ingeniera Química, Maestra en ciencias de la Educación con mención en Docencia y Gestión Universitaria, Doctora en Ciencias Ambientales, Docente Universidad César Vallejo, e-mail: Juli_0549@hotmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-7629-6475>

⁴Ingeniera Química, Maestra en Ciencias con Mención en Administración de la Educación, Doctora en Ciencias Ambientales, Docente Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, e-mail: tarcilaamelia@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-9605-2152>

⁵Ingeniera en Industrias Alimentarias, Maestra em Administración Estratégica en Educación, Docente Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, e-mail: juanitaflor@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-8405-8506>

INTRODUCCIÓN

La actual situación en nuestro país muestra la deficiente cobertura de los servicios tales como agua, saneamiento y tratamiento de aguas residuales. Una inadecuada disposición final de las aguas residuales genera contaminación ambiental y con ello la proliferación de agentes infecciosos, lo que disminuye la calidad de vida de la población.

Las aguas residuales, están compuestas por materias orgánicas e inorgánicas que sin tratamiento adecuado constituyen un riesgo muy elevado para la salud pública y para el ambiente, actualmente con el avance de la tecnología existen varios tipos de tratamiento de agua residuales domesticas rurales dentro de los cuales están los biodigestores, De esta problemática surge la necesidad de dar un mejor uso y tratamiento a las aguas residuales para que puedan ser aprovechadas al máximo.

Espinoza et al. (2014, p.11) menciona que las instalaciones de saneamiento interrumpen la transmisión de gran parte de las enfermedades fecales-orales en su origen principal, al prevenir la contaminación del agua y el suelo por la contaminación fecal humana. Los datos epidemiológicos sugieren que el saneamiento tiene al menos la misma eficacia en la prevención de las enfermedades que la mejora del abastecimiento de agua.

Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA 2010, p. 34) al referirse a la ecoeficiencia en el tratamiento de aguas residuales por parte de un gobierno Municipal, en el campo del tratamiento de las aguas residuales se plantearon un conjunto de programas y planes de implementación, cuyo objetivo, enfocado en la ecoeficiencia, recae en la introducción y aplicación de buenas prácticas, aplicación de la reingeniería de procesos y el análisis del ciclo de vida del agua.

Los sistemas básicos de saneamiento de tipo arrastre hidráulico en el Perú son una alternativa de solución en las zonas rurales de países en vía de desarrollo como es el caso de nuestro país, se han desarrollado diversos procedimientos para el tratamiento de aguas residuales rurales; tales como el uso de pozos sépticos u otros medios de

depuración.

El anexo Santeño cuenta con instalación de Unidades Básicas de Saneamiento, los cuales emanan malos olores, siendo perjudiciales para la salud de los pobladores; así como también existe una serie de deficiencias técnicas en la instalación de red de tuberías de las UBS, no habiendo considerado las pendientes adecuadas para que el agua residual se evacue correctamente en el pozo de percolación, generando así que el agua regrese del biodigestor a la caja de registro los días en que el usuario utiliza una cantidad elevada de agua ya sea para lavar su ropa o para ducharse.

Los objetivos de esta investigación son: 1. Evaluar la eficiencia del biodigestor estándar de 600 litros en la calidad microbiológica del efluente de agua residual domestica rural. 2. Evaluar la eficiencia de la adición de 1 litro, 10 litros y 100 litros de probióticos en la calidad microbiológica del efluente de agua residual domestica rural. 3. Realizar test de percolación y comparar los resultados de las pruebas en función de la norma I.S.020.

METODOLOGÍA

Los materiales y equipos utilizados para la siguiente investigación son:

- 1 galón de Nitro bacter Plus.
- 10 galones de agua desionizada
- 4 kg de melaza
- 6 kg de nitrato de amonio
- Termómetro
- pHmetro

Para realizar el experimento se utilizaron 4 biodigestores diseñados y construidos por Rotoplas (2018) instalados en las viviendas de los habitantes del anexo Santeño, Tumán.

En un recipiente de capacidad de 150 litros de capacidad se preparó la solución agregando 40 litros de agua desionizada (10 galones), 6 kilogramos de nitrato de amonio, 4 kilogramos de melaza (fuente de energía) y 3.785 litros de probióticos de la marca nitrobacter plus; luego se agitó la mezcla por un periodo de 96 horas hasta que los consorcios microbianos denominados probióticos se activen.

Después de las 96 horas de preparación de la solución se agregó agua dulce no clorada hasta obtener un volumen de 111 litros y se aplicaron 1 litro al biodigestor 1 (M-1), 10 litros al biodigestor 2 (M-2) y 100 litros al biodigestor 3 (M-3) indicando que otro biodigestor fue considerado como testigo.

La población, estuvo constituida por 31 biodigestores instalados en el Anexo Santeño del distrito de Tumán y la muestra conformada por 4 biodigestores de los cuales se obtuvieron 13 muestras de agua residual de la siguiente manera: 1 muestra del testigo (TESTIGO), 3 muestras a la salida del efluente del biodigestor antes de adicionar probióticos (M1, M2 y M3), 3 muestras a la salida del efluente del biodigestor a las 24 horas de haber adicionado probióticos (PRO-M1.24h, PRO-M2.24h y PRO-M3.24h), 3 muestras a la salida del efluente del biodigestor a las 48 horas de haber adicionado probióticos (PRO-M1.48h, PRO-M2.48h y PRO-M3.48h) y 3 muestras a la salida del efluente del biodigestor a las 96 horas de haber adicionado probióticos (PRO-M1.96h, PRO-M2.96h y PRO-M3.96h), obtenidas según un muestreo no probabilístico por conveniencia.

El procedimiento para determinar la población de coliformes termotolerantes se hizo de acuerdo a las pautas de Andino y Castillo (2010).

RESULTADOS

En la tabla 1 se puede observar ligera variación del pH y Temperatura de las muestras, encontrándose dentro del límite máximo permisible según la tabla 1 que indica que el pH debe estar dentro de 6.5 – 8.5 unidades y la temperatura debe estar por debajo de 35 °C.

Tabla 1

Medición de temperatura y pH del agua residual.

Muestras	T (°C)	pH (unidad)
TESTIGO	21.0	6.93
M-1	21.2	6.80
M-2	21.6	6.62
M-3	21.6	6.68
PRO-M1.24h	20.8	6.81
PRO-M2.24h	21.0	6.59
PRO-M3.24h	20.8	6.68
PRO-M1.48h	21.3	6.80
PRO-M2.48h	21.5	6.60
PRO-M3.48h	21.3	6.72
PRO-M1.96h	20.7	6.80
PRO-M2.96h	20.9	6.62
PRO-M3.96h	21.0	6.71

Fuente. Elaboración propia.

En la muestra a la que se adicionó 100 litros de dilución de probióticos (PRO-M3.96h) la variación de la población de coliformes termotolerantes varió desde 2400 NMP/100 ml hasta 50 NMP/100mL (tabla 2).

Tabla 2

Resultado de análisis microbiológico mediante el número más probable de los coliformes termotolerantes.

Muestras	NMP	Resultado NMP/100ml	Parámetros 1000-2000
TESTIGO	3.3.3	2400	no aceptable
M-1	3.3.3	2400	no aceptable
M-2	3.3.3	2400	no aceptable
M-3	3.3.3	2400	no aceptable
PRO-M1.24h	3.3.3	2400	no aceptable
PRO-M2.24h	3.3.3	2400	no aceptable
PRO-M3.24h	3.3.3	2400	no aceptable
PRO-M1.48h	3.3.3	2400	no aceptable
PRO-M2.48h	3.3.2	1100	no aceptable
PRO-M3.48h	3.3.2	1100	no aceptable
PRO-M1.96h	3.3.3	2400	no aceptable
PRO-M2.96h	3.3.2	1100	no aceptable
PRO-M3.96h	3.2.1	150	aceptable

Fuente. Elaboración propia.

Al inicio de la experiencia el biodigestor se encontró en condiciones deficientes; por ejemplo, malos olores, exposición de la masa fecal en la parte superficial. (figura 1).

La eliminación de malos olores se pudo percibir después de 10 minutos de iniciado el experimento y transcurridas 24 horas se observó el cambio total del color de la masa fecal y la disminución de la consistencia sólida. (figura 2).

Transcurridas 96 horas el biodigestor mejoro su funcionamiento se eliminaron todos los malos olores y se hizo más fluido el paso de agua

residuales (figura 3).



Figura 1. Estado situacional del biodigestor instalado para tratamiento de agua residual rural en el Centro Poblado Santeño –Tumán.



Figura 2. Vista a las 24h de biodigestor al que se le adicionó 100 litros de probióticos.



Figura 3. Vista a las 96h de biodigestor al que se le adicionó los 100 litros de probióticos.

El tiempo de infiltración para el descenso de 1 cm de agua por tratarse de un suelo franco arenoso fue de 5 minutos con tasa de infiltración de 57.60 (L/m²*día).

El aforo para determinar la cantidad de agua residual que ingresa al biodigestor en función del número de habitantes y por día del experimento se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Aforo para la determinación del volumen (litros) de agua residual que ingresa a cada biodigestor.

biodigestor	Nº de habitantes	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
Testigo	2	32	47	25	39
M-1	2	42	44	37	51
M-2	1	27	25	29	24
M-3	4	71	65	120	93

Fuente. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

La población de coliformes termotolerantes registrado a las 96 horas en el biodigestor 3 fueron menores a los límites máximos permisibles establecidos por el DS N° 011-2006-VIVIENDA y el DS-004-2017-MINAM reducción que es significativa y que se atribuye a la exclusión competitiva en la que la población de probióticos que constituyen la flora bacteriana buena genera disminución de la población patógena en este caso el grupo de coliformes termotolerantes que coincidió por lo expresado por Bravo (2015) y Bravo, Vásquez y Gamarra (2020).

La población de Coliformes termotolerantes disminuyó significativamente; sin embargo, en el biodigestor que se adicionó 100 litros de probióticos en dilución de la marca Nitrobacter Plus se redujo hasta poblaciones menores a los límites máximos permisibles o Valores Máximos Admisibles.

La disminución se atribuye a la acción de *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Bacillus subtilis* y *Saccharomices cereviceae* que se alimentan de materia orgánica de forma más rápida que los coliformes termotolerantes quitándole la opción de alimentación y por lo tanto la disminución de su población. También se atribuye a la conocida norma ecológica que afirma que dos especies no pueden ocupar un mismo nicho ecológico en el habitat y tiempo expuestos.

La adición de 100 litros de probióticos permitió remover las coliformes termotolerantes presentes en el agua residual hasta un 94 % (150NMP /100mL) a las 96 horas después de su aplicación que es diferente a los reportados por Mancha (2015,p.13) quien determino que la remoción de coliformes termotolerantes en 33,60 % y lo que reportaron Mejía y Pérez (2016; p.39) en un trabajo realizado en Apurímac con una eficiencia de 30%; atribuible a la acción de degradación de la materia orgánica por la presencia de Nitrosomonas y Nitrobacter, bacterias que influyen significativamente en el ciclo del Nitrógeno favoreciendo la formación de Nitratos sustancias menos tóxicas para los organismos vivos y que mejora la calidad del agua residual. Nuestra afirmación es compatible con lo reportado por Martín et al., (2001) quienes reportaron que, el nitrógeno es un elemento químico presente en forma muy variada en diversos tipos de aguas residuales. Se encuentra formando parte de moléculas orgánicas diversas (aminoácidos, urea, ácidos nucleicos, etc.) e iones como (NH_4^+) Amonio, (NO_2^-) Nitritos y (NO_3^-) Nitratos.

Al respecto Soto, Alonso y Rojas (2012) reportaron que la nitrificación es un proceso importante que consiste de la oxidación del material nitrogenado, durante un período de tiempo suficientemente largo, realizándose simultáneamente con la carbonización o después de ésta, en las aguas residuales. Este proceso en su primera etapa lo realizan los microorganismos **Nitrosomonas** y en la 2ª etapa los **Nitrobacter**. En este estudio se midió la cantidad de oxígeno consumido por materia nitrogenada y por materia carbonácea, buscando demostrar que la nitrificación en las plantas de tratamiento no se realiza después del quinto día, si no que se lleva a cabo conjuntamente con la demanda carbónacea.

La textura de suelo que da como resultado en el análisis físico es franco arenoso, perteneciendo así a la clase terrenos rápidos, pero al momento de realizar el test de percolación según la norma IS-020 (tanques sépticos) el tiempo de infiltración para el descenso de 1 cm de columna de agua es de 5 minutos clasificándose así según la norma en un terreno medio, esto debido a que el área donde se encuentra el pozo percolador se encuentra saturado, esta razón hace el suelo absorba poca agua residual tratada proveniente del biodigestor.

CONCLUSIONES

El biodigestor estándar no realiza un tratamiento eficiente en la calidad microbiológica del agua residual doméstica rural.

El efecto más notable fue la adición de 100 litros de consorcios microbianos denominados probióticos, que genero la remoción de coliformes termotolerantes presentes en el agua residual del 94%.

El tiempo de infiltración estimado para el descenso de 1 cm de lámina de agua fue de 5 minutos en el Anexo Santeño, clasificándose según la norma I.S.020 (tanques sépticos) en un terreno de clase media.

REFERENCIAS

- Andino, F. & Castillo, J. (2010). Métodos de detección de contaminación microbiana en alimentos. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú
Recuperado el 03 de agosto de 2018 de:
<https://avdiaz.files.wordpress.com/2010/02/presentacion-clase-4.pdf>
- Bravo, S., Vásquez, A. & Gamarra, J. (2020) Eficiencia de consorcios microbianos probióticos en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. UCV Hacer 9 (1). pp:45-53. Recuperado de: <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/UCV-HACER/article/view/2395/1969>
- Bravo, S. (2015). Uso de Consorcios Microbianos Probióticos en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas e Industriales de la Ciudades de Santa Rosa y Lambayeque. TESIS Para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniería Ambiental. Escuela de Postgrado de la Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque – Perú. p. 31- 48
- Espinoza, L. (2014) Sostenibilidad de las unidades básicas de saneamiento de arrastre hidráulico con pozo séptico y con biodigestor en la comunidad de Quinuamayo Alto-distrito La Encañada-Cajamarca, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

- Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca – Perú. p.11. <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/63/T%20363.72%20E77%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mancha, R. (2015). Evaluación de la eficiencia del funcionamiento del biodigestor autolimpiable en el centro poblado de Sanquira – Yunguyo. tesis para optar el título profesional de: Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Del Altiplano, Puno– Perú. p. 11. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4600/Mancha_Cutipa_Rolando_Jesus.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mejía, F. y Pérez, K. (2016) Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse – Apurímac, Trabajo de Titulación para optar el Título de: Ingeniero Agrónomo & Ingeniero ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. p. 69. http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2591/P10_M43-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio del Ambiente (2017) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Se Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) – Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA. <http://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Rotoplas (2018) Ficha técnica de biodigestor autolimpiable. <http://www.proconsrl.com/pdfs/3.pdf>
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA 2010) Sistema Nacional de Información Ambiental- Ministerio de Ambiente. (2010). Tratamiento y reuso de aguas residuales. Parte 2. SINIA – Ministerio del ambiente. <http://sinia.minam.gob.pe/download/file/39054>