








Eficiencia de los biodigestores en la remoción de DBO₅, DQO y SST en Cabracancha, Chota, Cajamarca

Efficiency of biodigesters in the removal of BOD₅, COD and TSS in Cabracancha, Chota, Cajamarca

Tania Yulissa Mego Torres¹  Marco I. Tarrillo Rodríguez¹ 
Eisner Will Castillo Rojas¹  Jimmy Alberto Díaz Estrada¹  Alejandro Seminario Cunya¹ 
Leslie Diana Velarde Apaza²  Azucena Chávez Collantes^{2*} 

¹ Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH). Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Ciudad Universitaria Colpamatará, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

² Instituto Nacional de Innovación Agraria, EEA-Baños del Inca, Cajamarca. 06004, Jr. Wiracocha S/N, Baños del Inca, Cajamarca, Perú.

*Autor de correspondencia [e-mail: achavezc22@gmail.com]

RESUMEN

El objetivo en este estudio fue determinar la eficiencia de los biodigestores en la remoción de DBO₅, DQO y SST en el sector uno de la comunidad de Cabracancha, Chota, Cajamarca, Perú. Los análisis fueron de tipo descriptivo y cuantitativo, se utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia y se tomaron 18 muestras de agua residual en el afluente y efluente de los tres biodigestores seleccionados durante los meses de invierno, donde se analizó la temperatura, pH, DBO₅, DQO y SST. Fue registrado una temperatura promedio de 16,74 °C; pH de 8,23 y una eficiencia de remoción para la DBO₅, DQO y SST de 77,84%; 79,76% y 89,32% respectivamente. Los biodigestores son eficientes en la remoción de las concentraciones de la DBO₅, DQO y SST; sin embargo, no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos mediante D.S. N° 003-2010-MINAM, para el vertimiento de efluentes tratados.

Palabras clave: Efluente, agua residual, parámetros fisicoquímicos

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the efficiency of biodigesters in the removal of BOD₅, COD and TSS in sector one of the communities of Cabracancha, Chota, Cajamarca, Peru. The analyzes were descriptive and quantitative, non-probabilistic sampling was used for convenience and 18 samples of wastewater were taken in the influent and effluent of the three selected biodigesters during the winter months, where temperature, pH, BOD₅ were analyzed. COD and TSS. An average temperature of 16.74 °C was recorded; pH of 8.23 and a removal efficiency for BOD₅, COD and TSS of 77.84%; 79.76% and 89.32% respectively. Biodigesters are efficient in removing BOD₅, COD and TSS concentrations; However, they do not comply with the

Mego, Tarrilo, Castillo, Díaz, Seminario, Velarde y Chávez (2023). Eficiencia de los biodigestores...

Maximum Permissible Limits (LMP) established by S.D. N° 003-2010-MINAM, for the discharge of treated effluents.

Keywords: Effluent, wastewater, physicochemical parameters

INTRODUCCIÓN

La inadecuada eliminación de excretas y aguas residuales es un problema que ocasiona contaminación en el ambiente y complicaciones en la salud de las personas, según la Organización Mundial de la Salud (2020) más de 673 millones de seres humanos realizan sus deposiciones al aire libre y 4 200 millones utilizan instalaciones de saneamiento que no poseen sistema de tratamiento acoplado. La Organización de las Naciones Unidas para la Cultura, las Ciencias y la Educación (2019) establece que a nivel mundial más de un 80% de las aguas residuales generadas son vertidas directamente al ambiente. El tratamiento de las aguas residuales está directamente relacionado con la economía, en países con economía alta, el tratamiento de sus aguas residuales está asegurado a un 70%, a diferencia de los países subdesarrollados donde el tratamiento de las aguas residuales llega al 8% (Humanante et al., 2022).

El agua contaminada, asociada a un deficiente saneamiento causa graves consecuencias para la salud de las personas, ocasionando enfermedades como el cólera, diarrea, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis. Las consecuencias por el limitado acceso a los servicios básicos de saneamiento recaen más en la población infantil, quienes son los más expuestos a contraer enfermedades. Según Cabezas (2018), más de 340 000

niños menores a 5 años mueren a causa de enfermedades infecciosas y falta de higiene, provocados por el consumo de aguas contaminadas con patógenos y por la proliferación de estos a causa de la presencia de vectores infecciosos.

El gobierno peruano, en el año 2012, creó el Programa Nacional de Saneamiento Rural con el propósito de mejorar la calidad, ampliar la cobertura y promover el adecuado uso sostenible del agua y saneamiento en el ámbito rural. El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2020) señala que hasta marzo del año 2020 el 24,7% de la población carecen de viviendas con sistema de alcantarillado por red pública; 9% realiza la eliminación de excretas en pozos ciegos; 5,2% utiliza pozos sépticos; 2,5% letrinas; 1,2% ríos o acequias y 6,5% no cuenta con ningún tipo de infraestructura para la eliminación de excretas.

Esta situación ha llevado a buscar nuevas alternativas que mejoren los servicios básicos de saneamiento rural en el Perú, de allí se gestionan los proyectos de instalación de módulos, técnicamente conocidos como Unidades de Servicios Básicos con Sistema de Arrastre (USB-SA), en donde se emplean biodigestores para el tratamiento del agua residual, los cuales son utilizados para reemplazar las fosas sépticas y letrinas.

En el distrito de Chota, se han ejecutado proyectos de saneamiento básico con biodigestores en diferentes

Mego, Tarrilo, Castillo, Díaz, Seminario, Velarde y Chávez (2023). Eficiencia de los biodigestores...

centros poblados y comunidades, uno de los beneficiados fue la comunidad de Cabracancha. El 8 de diciembre del 2015 inició este proyecto, sin embargo, desde la culminación del mismo no se conoce la eficiencia de los biodigestores; por tal motivo, el objetivo en este estudio fue determinar la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) de los biodigestores instalados en el sector uno de la comunidad de Cabracancha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

La investigación se realizó en el centro poblado de Cabracancha y sus sectores; ubicados a 15 minutos del distrito de Chota, el clima es frío con épocas de intensas lluvias (diciembre-abril), presenta zonas semiaccidentadas y se ubica a 2 350 m.s.n.m.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI (2022), el clima en Chota, se clasifica como subtropical de montaña. La temperatura promedio anual oscila entre los 14°C y los 18°C. Durante el día, las temperaturas pueden llegar a superar los 25°C en los meses más cálidos (de octubre a marzo), mientras que en los meses más fríos (de abril a septiembre) pueden descender por debajo de los 10°C. Las variaciones de temperatura entre el día y la noche también pueden ser significativas. En cuanto a la precipitación, Chota experimenta una temporada de lluvias pronunciada, que se extiende desde

octubre hasta abril, con un pico en enero y febrero. Durante este período, las precipitaciones son más frecuentes y abundantes, con un promedio anual de aproximadamente 900 mm. Los meses más secos son de mayo a septiembre, con precipitaciones más escasas. La humedad relativa en Chota tiende a ser alta durante todo el año, con valores promedio superiores al 70%. Sin embargo, la humedad puede variar según las condiciones climáticas y la época del año.

Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue no experimental. Según Hernández et al. (2018), en este tipo de estudios se recolecta información sin manipular las variables de estudio, para el desarrollo de esta investigación se realizaron muestras simples de agua residual antes y después de su tratamiento. Los resultados obtenidos fueron comparados con los LMP y se determinó la eficiencia en los biodigestores; este tipo de diseño permitió observar y describir el comportamiento de las variables de investigación. Para cumplir con este diseño de investigación se tomó en cuenta la metodología establecida en el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, aprobada con Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA; en este protocolo se establece el procedimiento, cantidad, preservantes y tipo de envase para la toma de muestras, así como también el etiquetado y la cadena de custodia.

Mego, Tarrilo, Castillo, Díaz, Seminario, Velarde y Chávez (2023). Eficiencia de los biodigestores...

Método de muestreo

Se muestra los puntos de monitoreo que se realizó en el afluente (EB) y efluente (SB) de los biodigestores (Tabla

1), se tuvo 6 puntos de monitoreo y en cada uno de ellos se tomó una muestra por cada parámetro (DBO₅, DQO y SST).

Tabla 1. Puntos de monitoreo de presión sonora en la ciudad de Celendín

Punto de monitoreo	Coordenadas UTM – WGS84		
	Norte	Este	Altura (msnm)
EB-01	9271636,26	759144,39	2 904
SB-01	9271638,9	759143,56	2 904
EB-02	9271639,42	759146,09	2 904
SB-02	9271640,0	759145,25	2 904
EB-03	9271783,91	759102,03	2 904
SB-03	9271787,79	759095,3	2 904

La muestra estuvo constituida por 3 biodigestores de 600 litros de capacidad instalados en el sector uno de la comunidad de Cabracancha. Para la elección de estos biodigestores se tomó en cuenta las viviendas con mayor cantidad de integrantes, la edad permanente de los integrantes de la familia en la vivienda y la disponibilidad del propietario para autorizar la toma de muestras del agua residual.

El muestreo se realizó en los 6 puntos de monitoreo en el afluente y efluente del biodigestor, la temperatura y pH de las muestras se midieron utilizando el multiparámetro. Las muestras para la DBO₅, DQO y SST se recolectaron en frascos de plásticos de 1 000 mL, 100 mL y 100 mL, respectivamente. Para la preservación de las muestras de DQO se les colocó ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Los parámetros que se evaluaron in situ fueron la temperatura y el pH, los parámetros ex situ fueron DBO₅, DQO y SST, el análisis de los parámetros ex situ fueron realizados en el laboratorio acreditado ALAB.

Análisis estadístico

Para el análisis de datos se empleó la estadística descriptiva, se realizó la prueba de normalidad de los datos utilizando el programa estadístico RStudio y se determinó la relación entre los parámetros evaluados, mediante el coeficiente de correlación R de Pearson para los datos que cumplieron de distribución normal.

RESULTADOS Y DISCUSION

Temperatura, pH, DBO, DQO y SST en el afluente y efluente del biodigestor

La concentración en promedio de los parámetros evaluados en el afluente y efluente del biodigestor, se muestran en la Tabla 2. Si bien la temperatura presenta un valor igual, sus variaciones oscilaron entre 17,23°C y 16,22°C para el afluente y 16,06°C a 17,12°C para el efluente. En relación a los Estándares de Calidad Ambiental para agua, categoría 4 en conservación del ambiente acuático, E2, ríos de la costa y sierra; sólo pH y temperatura cumplen con los valores normativos.

Mego, Tarrilo, Castillo, Díaz, Seminario, Velarde y Chávez (2023). Eficiencia de los biodigestores...

Tabla 2. Concentraciones promedio de los parámetros evaluados.

	Temperatura (°C)	pH	DBO ₅ (mg L ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	SST (mg L ⁻¹)
Afluente	16,85	8,23	4 178,30	6 348,61	2 401,67
Efluente	16,85	7,66	508,82	727,67	167,22

Referente a la temperatura, fue registrado un valor promedio de 16,85 °C en el afluente y efluente, resultados similares fueron determinados por Domínguez y Rojas (2019), cuyos valores de temperatura en el efluente varió en 0,27 °C respecto al valor del afluente. Cherlinka (2021) establece que el suelo tiende a aumentar la temperatura del efluente, considerando que los biodigestores se instalan por debajo del nivel del suelo. León (2018), afirma que la temperatura influye en los tratamientos anaerobios de aguas residuales, el incremento en esta mejora el crecimiento de microorganismos y aumenta la tasa de degradabilidad.

El pH del agua residual varió levemente en las dos zonas de colecta de 8,23 en el afluente a 7,66 en el efluente, estos valores se asemejan a los reportados por Cubillas y Huertas (2018), cuyos valores de pH experimentaron una ligera disminución de 1,5 en el efluente debido a las reacciones de fermentación. Cáceres y Rincón (2018) afirman que el proceso de fermentación disminuye el pH, consecuencia de la formación de ácidos. De otro lado, Jacobo et al. (2018) indican que para un desarrollo microbiano la solución requiere pH entre 6,3 a 8,5.

La DBO₅ experimentó una notable disminución de 4 178,30 mg L⁻¹ en el afluente a 508,82 mg L⁻¹ en el efluente,

al respecto, Domínguez y Rojas (2019) determinaron que, en el efluente se redujo la concentración de DBO₅ debido al elevado consumo de oxígeno que los microorganismos necesitan para degradar la materia orgánica. Por lo tanto, los valores obtenidos confirman la actividad microbiana que se ha producido en el interior de los biodigestores.

Del mismo modo la DQO también disminuyó, de 6 348,61 mg L⁻¹ en el afluente a 727,76 mg L⁻¹ en el efluente, estos cambios indican que los procesos que ocurren dentro del biodigestor reducen considerablemente las concentraciones de la DQO en las aguas residuales, tal como lo indica León (2018) en su investigación, donde también se evidenció una variación positiva en las concentraciones la DQO. Ramírez (2022), menciona que la DQO siempre es mayor que la DBO debido a que la cantidad de sustancias que se oxidan químicamente siempre son mayores a las de oxidación biológica.

La concentración de SST varió de 2 401,67 mg L⁻¹ en el afluente a 167,22 mg L⁻¹ en el efluente. Domínguez y Rojas (2019) obtuvieron una reducción de las concentraciones de los SST en el efluente, esto se debe a la sedimentación de sólidos que luego forman lodos y también a que algunos son atrapados por los aros Pet que contiene el biodigestor. La concentración de SST es uno de los

Mego, Tarrilo, Castillo, Díaz, Seminario, Velarde y Chávez (2023). Eficiencia de los biodigestores...

parámetros que determinan la calidad de agua, estos contaminantes están compuestos por elementos orgánicos e inorgánicos.

Análisis correlacional entre parámetros evaluados

La correlación entre los parámetros evaluados en el efluente de los biodigestores implementados en la comunidad de Cabracancha, Chota, Cajamarca, Ese muestran en la Figura 1. Los resultados muestran una correlación positiva y estadísticamente

significativa entre los niveles de DBO₅, y DQO, lo que indica que existe una relación directa entre estos dos parámetros. En otras palabras, cuando uno de los parámetros aumenta, el otro también tiende a aumentar, o viceversa. Esta correlación sugiere una influencia mutua entre la DBO₅ y la DQO, donde los cambios en uno de los parámetros se traducen en cambios similares en el otro, lo que refleja una interdependencia en su comportamiento.

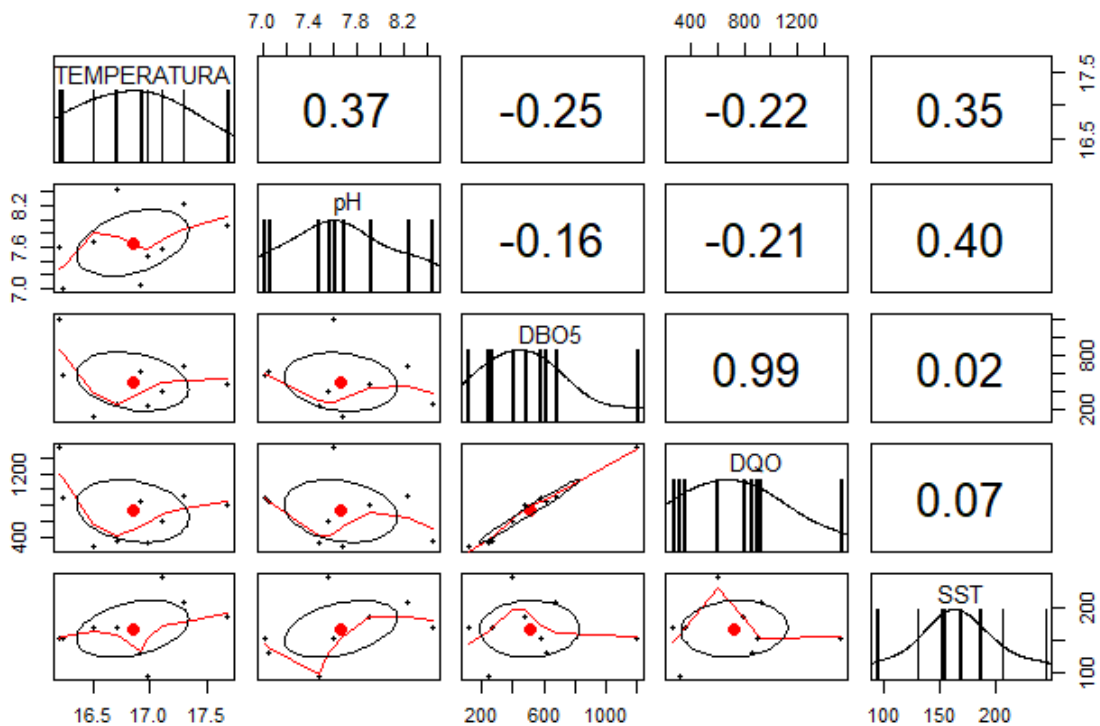


Figura 1. Correlación entre temperatura, pH, DBO₅, DQO y SST en el efluente en biodigestores de Cabracancha, Chota

Comparación con los Límites Máximos Permisibles

Se observa en la Tabla 3, respecto a la temperatura y el pH, los tres biodigestores monitoreados cumplen con los LMP debido a que sus valores no sobrepasan los 35 °C y 8,5 unidades

de pH respectivamente. Sin embargo; para los parámetros de DBO₅, DQO y SST en los tres biodigestores monitoreados no cumplen con los LMP, debido a que sus concentraciones sobrepasan los valores permitidos.

Mego, Tarrilo, Castillo, Díaz, Seminario, Velarde y Chávez (2023). Eficiencia de los biodigestores...

Tabla 3. Comparación de resultados con los límites máximos permisibles del MINAM (D.S. N° 003-2010)

Ítem	Parámetro				
	Temperatura (°C)	pH	DBO ₅ (mg L ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	SST (mg L ⁻¹)
1	17,23	8,19	475,93	692,13	186,67
2	16,86	7,57	252,03	395,73	169,33
3	16,45	7,22	998,50	2095,13	145,67
LMP	35	8,5	100	200	150

La falta de eficiencia en la remoción de materia orgánica en los biodigestores prefabricados puede deberse a varios factores, entre ellos el diseño del biodigestor; cuando no es adecuado para el tipo de materia orgánica que se está tratando, puede haber dificultades en la descomposición y remoción eficiente de la misma (Ruíz y Cadavid, 2023). Dubey et al. (2022) señalan que, si la carga orgánica se introduce en el biodigestor es superior a su capacidad de tratamiento, puede haber acumulación de residuos y falta de eficiencia en la remoción.

León et al. (2023) refieren que, la temperatura es un factor crucial en la descomposición de la materia orgánica. Si la temperatura dentro del biodigestor no es la adecuada, puede haber una falta de actividad microbiana y, por lo tanto, una remoción deficiente de la materia orgánica. Asimismo, el pH también juega un papel importante en la descomposición de la materia orgánica. Si el pH dentro del biodigestor no es el adecuado, puede afectar la actividad de los

microorganismos y la eficiencia de remoción. Es importante mantener un pH óptimo para el proceso de digestión anaerobia. El tiempo de retención hidráulica es el tiempo que el agua o el residuo orgánico permanece dentro del biodigestor. Si este tiempo no es suficiente, puede afectar la eficiencia de remoción de la materia orgánica. Es importante asegurarse de que el tiempo de retención hidráulica sea el adecuado para permitir una descomposición completa de la materia orgánica (Oliveira et al., 2023).

Eficiencia de remoción de los biodigestores

Los porcentajes de remoción de materia orgánica en los tres biodigestores evaluados, se ilustran en la Tabla 4; presentan remoción promedio por encima de 73,5 mg L⁻¹; 77,87 mg L⁻¹ y 89,87 mg L⁻¹, para DBO₅, DQO y SST respectivamente; estos no satisfacen los valores de cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental para agua.

Tabla 4. Eficiencia de remoción de los biodigestores

	Eficiencia de remoción para DBO ₅	Eficiencia de remoción para DQO	Eficiencia de remoción para SST
Biodigestor 1	54,14%	57,75%	81,06%
Biodigestor 2	89,25%	91%	90,44%
Biodigestor 3	77,11%	84,87%	98,10%

Los tratamientos anaeróbicos son eficientes y económicos para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas; sin embargo, la disposición final del efluente dependerá del grado de remoción de los contaminantes y de las normativas vigentes para dichos vertimientos; por lo tanto, si un tratamiento remueve más del 50% de los contaminantes, pero no cumple con la normativa vigente, se debe implementar un tratamiento secundario como pueden ser los humedales artificiales que son tratamientos amigables con el medio ambiente (Lorenzo y Obaya, 2005).

Existen investigaciones en donde se han encontrado una eficiencia de remoción mayor al 80%; sin embargo, esto no ha garantizado la calidad del efluente para su vertimiento, tal es el caso de Cubillas y Huertas (2018), quienes implementaron un biodigestor a escala piloto para la remoción de materia orgánica de aguas residuales, así pudieron comprobar que este tenía una eficiencia de remoción alta, pero no se logró la remoción esperada para cumplir con la normativa vigente en su país.

CONCLUSIONES

Las aguas residuales evaluadas en el afluente de los tres biodigestores

mostraron una temperatura promedio de 16,74 °C; un pH promedio de 8,23; una concentración promedio de DBO₅ de 4 178,30 mg L⁻¹; una concentración promedio de DQO de 6 348 mg L⁻¹, y una concentración promedio de SST de 2 401,67 mg L⁻¹.

El efluente en los tres biodigestores, presentó una temperatura promedio de 16,85 °C; un pH de 7,66. En tanto, las concentraciones promedio de DBO₅ fue de 508,82 mg L⁻¹; con respecto a la DQO, se obtuvo un promedio de 727,67 mg L⁻¹ y la concentración promedio de los SST fue de 167, 22 mg L⁻¹.

Los biodigestores instalados en el sector 1 de la comunidad de Cabracancha son eficientes en la remoción de la DBO₅, DQO y SST en un 77,84%; 79,76% y 89,32%, respectivamente, sin embargo, los efluentes procedentes de estos no cumplen los LMP establecidos mediante D.S. N° 003-2010-MINAM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cabezas, C. (2018). Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Revista Medicina Peruana y Salud Pública*, 35(2), 309-16. <http://dx.doi.org/10.17843/rpm.esp.2018.352.3761>.

Mego, Tarrilo, Castillo, Díaz, Seminario, Velarde y Chávez (2023). Eficiencia de los biodigestores...

- Cáceres, T. & Rincón, A. (2018). *Evaluación del potencial bioquímico de metano del agua residual de la UPB seccional Bucaramanga, variando las condiciones iniciales de pH y materia orgánica*. [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana].
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5171/digital_36273.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Cherlinka, V. (2021). Temperatura del suelo para la siembra y el cultivo.
<https://eos.com/es/blog/temperatura-del-suelo/>.
- Cubillas, D. & Huertas, D. (2018). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales porcinas en la institución educativa agrícola Guacavía, Cumaral, Meta. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás].
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15536>
- Domínguez, L. & Rojas, K. (2019). Eficacia de los biodigestores autolimpiables en las Unidades Básicas de Saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH) en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huamdo, 2019. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica].
<https://repositorio.unh.edu.pe/items/9104123e-51a9-4cb5-9d5c-93c44e5a45bb>
- Dubey, S., Parmar, N., Rekhate, C. & Prajapati, A. (2022). Optimización del proceso de electrocoagulación para el tratamiento de efluentes de destilería de biodigestores a base de granos de arroz utilizando un enfoque de metodología de respuesta superficial. *Revista de Gruyter*, (12), 1261-1273.
<https://doi.org/10.1515/ijcre-2021-0253>.
- Hernández, R., & Mendoza, C. P. (2018). La ruta de la investigación cualitativa. En *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: Mc Graw Hill Education.
- Humanante-Cabrera, J., Moreno, L., Grijalva, A., Saldoya, R. & Suárez, J. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Revista El Manglar*, 19(2), 177-187.
<https://doi.org/10.17268/manglar.2022.022>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2020). Perú: formas de acceso al agua y saneamiento básico.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletín_agua_junio2020.pdf
- Jacobo, A., Esparza, M., Chávez, M. & Fall, C. (2018). Tratamiento de un agua residual industrial a

Mego, Tarrilo, Castillo, Díaz, Seminario, Velarde y Chávez (2023). Eficiencia de los biodigestores...

- temperatura Psicrófila con un reactor UASB. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35 (4), 905-915. https://www.scielo.org.mx/sciel o.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000400905.
- León, E, Alfaro, R., Huaquisto, E., Zapana, M., Huanacuni, W. & Belizario, G. (2023). Eficiencia de biodigestores prefabricados en el tratamiento de aguas residuales domésticas en localidades rurales dispersas. *Revista Ecosciences*, 405(4035). <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202340504035>.
- León, E. (2018). Evaluación de la eficiencia de los biodigestores en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chibaya Baja – Torata – Moquegua. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. https://alicia.concytec.gob.pe/v ufind/Record/RNAP_7f32a136508da3d9babd76df880d1919
- Lorenzo, Y. & Obaya, M. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*. 39(1), 35-48. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- Oliveira, T., Santiago, A., Lanna, M, Fongaro, G., Milagres, N., Cunha, T. & Correa, A. (2023). Tratamiento de aguas negras rurales mediante un tanque séptico de biodigestor brasileño a gran escala: indicadores microbianos y eficiencia de eliminación de patógenos. *Revista de Investigación en ciencias ambientales y contaminación*, 28(18), 35-42. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33442807/>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Cultura, las Ciencias y la Educación [UNESCO]. (2019). Informe mundial de las naciones unidad sobre el desarrollo de los recursos hídricos: No dejar a nadie atrás. <https://www.fuhem.es/media/c dv/file/biblioteca/LecturasRecomendadas/2019/No-dejar-a-nadie-atrasC.pdf>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2020). Estado mundial del Saneamiento: Un llamamiento urgente a transformar el saneamiento para mejorar la salud, los entornos, las economías y las sociedades. <https://www.unicef.org/media/102811/file/Estado%20Mundial%20del%20Saneamiento.pdf>
- Ramírez, C. (2022). Optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante reactor anaerobio de flujo ascendente con filtros percoladores, en la localidad de Laberinto, Madre de Dios. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. https://alicia.concytec.gob.pe/v ufind/Record/RNAP_c2a9d1bc9b48d1736604cee9473d4359
- Ruíz, R. & Cadavid, L. (2023). Efecto de nutrientes, inóculo y cosustratos

Mego, Tarrilo, Castillo, Díaz, Seminario, Velarde y Chávez (2023). Eficiencia de los biodigestores...

sobre el potencial de metano del estiércol bovino. *Revista UdeA*, 4(108), 41-53. <https://doi.org/10.17533/udea.r edin.20220990>.

Climatológica Principal – Huambos, Chota. Cajamarca. <https://www.senamhi.gob.pe/loaded/file/03601SENA-111.pdf>.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). Boletín Climático. Dirección Zonal 2 Lambayeque. Estación

Recibido: 30-10-2023 Aceptado: 5-12-2023 Publicado:31-12-2023