



Fecha de recibido: 08/04/2024

Fecha de aceptado: 20/06/2024

DOI: 10.22490/26653176.8032



EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO ALCALINO CON CAL VIVA (CaO) PARA LA REDUCCIÓN DE MICROORGANISMOS EN LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) VÍA PUERTO MOSQUITO, AGUACHICA, CESAR

EVALUATION OF ALKALINE TREATMENT WITH QUICKLIME (CaO) FOR THE REDUCTION OF MICROORGANISMS IN WASTE SLUDGE GENERATED IN THE PTAR VIA PUERTO MOSQUITO, AGUACHICA, CESAR

Nayibe Tatiana Sánchez-Álvarez

Docente, Universidad Popular del Cesar, Seccional de Aguachica. Departamento de Ciencias Ambientales y Sanitarias, Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Semillero SAPMA

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8517-8331> - ntsanchez@unicesar.edu.co

Roymar Alejandro Vargas-Blanco

Ingeniero Ambiental y Sanitario, Universidad Popular del Cesar, Seccional de Aguachica

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2670-7083> - ralejandrovargas@unicesar.edu.co

Pablo Alberto Herrera

Docente, Universidad Popular del Cesar, Seccional de Aguachica Departamento de Ciencias Ambientales y Sanitarias, Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Grupo de Investigación en Estudios Sanitarios y Ambientales

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4159-6133> - pabloherrera@unicesar.edu.co

Ingris Yohana Hernández-Martínez

Docente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UDR, Aguachica. Semillero de Investigación SINPROP

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5059-2356> - ingris.hernandez@unad.edu.co

Rosember Saldaña Escorcía

Docente, Universidad Popular del Cesar, Seccional de Aguachica Departamento de Ciencias Ambientales y Sanitarias, Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Grupo de Investigación en Estudios Sanitarios y Ambientales. Semillero de investigación en Ambiental, Economía y Desarrollo social

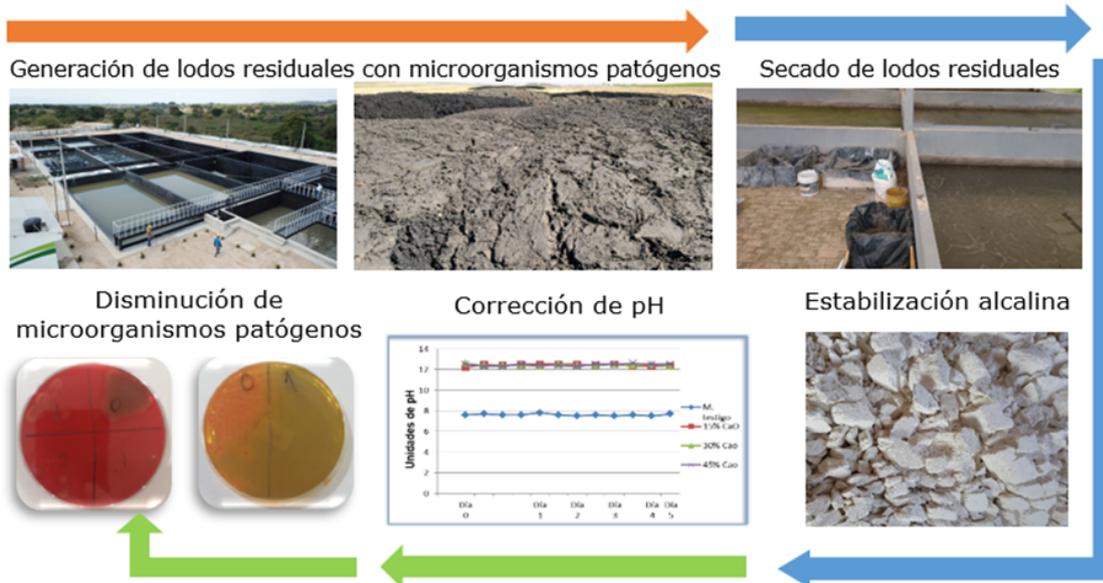
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5290-7072>

rsaldanae@unicesa.edu.co

Citación: Sánchez-Álvarez, N., Vargas-Blanco, R., Herrera, P., Hernández-Martínez, I. y Saldaña, R. (2024). Evaluación del tratamiento alcalino con cal viva (CaO) para la reducción de microorganismos en lodos residuales generados en la PTAR Vía Puerto Mosquito, Aguachica, Cesar. *Agricolae & Habitat*, 7(2), 7–20.

<https://doi.org/10.22490/26653176.8032>

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

RESUMEN

Contextualización: la aplicación de cal viva como tratamiento alcalino ha sido considerada una técnica efectiva para la desinfección de lodos residuales.

Vacío de investigación: Aunque la técnica de tratamiento alcalino es conocida, existe una carencia de datos empíricos que demuestren su eficacia y optimización en escenarios específicos como el estudiado, lo cual es crucial para validar y mejorar prácticas de desinfección de lodos en otras PTARs con características semejantes.

Propósito: en este estudio, se llevó a cabo una evaluación del tratamiento alcalino con cal viva (CaO) para reducción de microorganismos en los lodos residuales proce-

denes de la PTAR vía Puerto Mosquito en Aguachica, Cesar.

Metodología: el proceso implica la adición de cal viva al lodo residual, lo que eleva el pH del medio y crea un ambiente hostil para la supervivencia de microorganismos patógenos y bacterias.

Resultados y conclusiones: los resultados de la evaluación proporcionaron información sobre la eficiencia del tratamiento alcalino con cal viva en la reducción de microorganismos patógenos y la mejora de la calidad general de los lodos residuales con la concentración de 45%.

Palabras Clave: agua residual, microorganismo, saneamiento, tratamiento del agua.

ABSTRACT

Contextualization: The application of quicklime as an alkaline treatment has been considered an effective technique for the disinfection of residual sludge.

Knowledge gap: Although the alkaline treatment technique is well-known, there is a lack of empirical data demonstrating its effectiveness and optimization in specific scenarios like the one studied, which is crucial for validating and improving sludge disinfection practices in other wastewater treatment plants with similar characteristics

Objective: In this study, an evaluation of alkaline treatment with quicklime (CaO) was carried out to reduce microorganisms in waste sludge from the PTAR via Puerto Mosquito in Aguachica, Cesar.

Methodology: The process involves the addition of quicklime to the residual sludge, which raises the pH of the medium and creates a hostile environment for the survival of pathogenic microorganisms and bacteria.

Results and conclusions: The evaluation results provided information on the efficiency of alkaline quicklime treatment in reducing pathogenic microorganisms and improving the overall quality of waste sludge with the 45% concentration.

Keywords: waster water, microorganisms, sanitation, water treatment

1. INTRODUCCIÓN

El exceso de lodos en la depuración que lleva el tratamiento de aguas residuales genera afectaciones a la salud y al medio ambiente, por los distintos componentes que posee el subproducto (Behnami et al., 2024; Malaviya y Singh, 2016), estos tienen alto contenido en materia orgánica, metales pesados y microorganismos patógenos. Una de las principales causas de contaminación en las plantas de tratamiento de aguas residuales es la acumulación de lodos generados después del tratamiento que se les dan

a estas aguas (Castillo et al., 2020; Saldaña y Castillo, 2021).

A nivel mundial del 7% al 9% de gases de efecto invernadero como el CH_4 son generados por las aguas residuales, que son la quinta fuente más grande de emisiones de CH_4 (Ayala, 2020; Khabiri et al., 2022), en los que resultan lodos residuales como subproducto del tratamiento biológico de las aguas domésticas, que pueden llegar a causar impacto al ambiente y a la salud de la población; por tal motivo son considerados

como residuos peligrosos (Martínez-Prado et al., 2011).

Debido a la problemática ambiental que generan los lodos residuales en Colombia y el mundo por ser determinados residuos peligrosos, es importante fomentar alternativas a favor de la descontaminación y disposición final de los lodos que son generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que el mal manejo de estos aumenta la cantidad de residuos a disponer en los rellenos sanitarios, contamina el medio que lo rodea y se desperdicia el potencial de aprovechamiento para una posible reutilización del biosólido. Acorde con Trejos y Agudelo (2012) “por tal razón se justifica buscar alternativas adecuadas que permitan la reutilización de dichos residuos, teniendo en cuenta que una buena gestión de los lodos es primordial para el funcionamiento de cualquier instalación de depuración de aguas” (p. 15).

Ahora bien, una planta de tratamiento de aguas residuales se diseña con el fin de prevenir o minimizar impactos negativos a el ambiente y la salud pública, por ello, los lodos residuales como subproducto de la depuración del agua debe ser entendido de la misma manera (Castillo et al., 2020). La empresa de servicios públicos de Aguachica (ESPA) es la encargada de darle óptimo tratamiento a las aguas residuales domésticas generadas, donde se producen los lodos residuales con gran variedad de microorganismos patógenos. En esta práctica empresarial se propuso un tratamiento alcalino con Cal Viva (CaO), como método alternativo medioambiental de reducción de comunidades bacterianas en los lodos

residuales procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales vía Puerto Mosquito en Aguachica, Cesar.

El municipio de Aguachica posee una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y un sistema de tratamiento de estas (lagunas de oxidación); a su vez, cuenta con la capacidad de tratar las aguas domésticas de la población viviente en el casco urbano, en donde el 68% de las aguas provenientes del municipio se vierte en la planta y el 32% restante en las lagunas de oxidación.

La PTAR vía Puerto Mosquito ubicada en Aguachica, Cesar, no cuenta con un tratamiento adecuado de lodos residuales, lo cual genera contaminación al suelo debido a su contenido de elementos tóxicos, constituido por la presencia de microorganismos patógenos (virus, helmintos, protozoos y bacterias); también pueden llegar a presentar algunos metales pesados como cromo, mercurio, cobre, cadmio, níquel, plomo, zinc; así mismo, afectación al aire por la emisión de un gas de efecto invernadero como el metano, que los lodos generan al ser expuestos a la deshidratación a temperatura ambiente. Esto reduce el ciclo de vida útil de la misma, donde el único proceso que se lleva a cabo es la deshidratación a temperatura ambiente y posteriormente son vertidos a las lagunas de oxidación o enviándolos al relleno sanitario del municipio, sin tener en cuenta las consecuencias ambientales que esto conlleva. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar el tratamiento alcalino con cal viva (CaO) para reducción de microorganismos en los lodos residuales procedentes de la PTAR vía Puerto Mosquito en Aguachica, Cesar.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La etapa experimental se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residuales vía Puerto Mosquito, en la cual se efectúan procesos preliminares, primarios y secundarios para remover contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas del municipio de Aguachica; como subproducto de los tratamientos previamente mencionados se generan los lodos residuales, que son dispuestos a lechos de secado que actualmente no cuentan con la capacidad de abastecer la cantidad de lodos que genera la planta, por tal razón son vertidos a las lagunas de oxidación o en suelos que colindan con dicha PTAR.

Estos lodos presentan un alto contenido de microorganismos patógenos. En la disminución o eliminación de dichos microorganismos en el lodo residual la Cal es uno de

los productos alcalinos más utilizados en el saneamiento, su uso principal en la sanidad es la elevación del pH para la remoción de cargas contaminantes. Se puede utilizar cal viva (CaO) o hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Sobre la base del estudio “Eliminación de patógenos en biosólidos por estabilización alcalina” (Torres et al., 2009), se evidenció que existe una variedad de experiencias en lo que refiere a los tiempos de contacto necesarios para la reducción completa de patógenos a partir del tratamiento alcalino (varía entre 3 a 30 días). La preparación de la muestra de biosólido en la PTAR vía Puerto Mosquito se llevó a cabo durante 6 días, contando el día uno como el día de aplicación del alcalinizante. Para las dosificaciones de cal viva se llevaron a cabo tres proporciones p/p (Tabla 1).

■ TABLA 1.

Proporciones de lodo residual y material alcalinizante a evaluar

Material alcalinizante	Proporción alcalinizante %	P/P*
Testigo	0	10kg
Cal viva	15	$10\text{kg} \times 15\% = 1\text{kg de Cal}$
	30	$10\text{kg} \times 30\% = 3\text{kg de Cal}$
	45	$10\text{kg} \times 45\% = 4,5\text{kg de Cal}$

*El lodo muestra compuesto fue de 10kg al ser las proporciones son peso a peso, la cantidad de cal utilizada corresponde a la multiplicación de lodo muestra por el porcentaje de CaO

Fuente: autores.

Tomando como masa a componer 10kg, estas proporciones se realizaron con el fin de mantener el pH por encima de 12 unidades

durante un periodo no menor a 72 horas, con el propósito de disminuir microorganismos presentes en el lodo.

La PTAR vía Puerto Mosquito dispone de seis lechos de secado para la deshidratación del lodo residual, actualmente disponibles cinco de ellos, donde se recolectaron las muestras sencillas individuales con el fin de realizar una muestra compuesta. Las preparaciones de las muestras compuestas se realizaron en el lecho de secados número 6 (no disponible), en este se ubican cubículos con medidas de 50cm x 60cm y se disponen las muestras compuestas de lodos residuales en una base acuosa extraídas de los lechos disponibles. Este proceso se realizó manualmente con la protección adecuada siguiendo la NTC-ISO 5667 de 1998.

Para determinar la cantidad de lodo a extraer de los lechos de secado disponibles se planteó la fórmula de la Ecuación 1.

Ecuación 1: Composición de muestras con base en muestras colectadas de zonas de apilamiento, almacenamiento o lechos de secado.

$$mh = \frac{Mc}{nm}$$

Donde:

mh: masa de la muestra tomado en el tiempo *i* necesaria para componer (kg)

Mc: masa a componer (kg)

nm: número de muestras

Para la toma de muestras se deberá implementar el protocolo de manipulación de biosólidos para minimizar los riesgos biológicos y químicos identificados por el trabajo con biosólidos, este proceso aplica para el tratamiento y el llevado de muestras al laboratorio.

El protocolo de muestreo de biosólido se realiza cumpliendo el Decreto 1287 (2014) y a la NTC-ISO 5667-13 (Icontec, 1998), los cuales regulan el uso de biosólidos generados en PTAR-D y, a su vez, son la guía para el muestreo de aguas y lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

El análisis de la fase experimental debe verificar parámetros antes, durante y después del tratamiento con el fin de reducir o eliminar microorganismos. Según EPA (Environmental Protection Agency) (Velasco et al., 2019), los principales parámetros para la identificación de la efectividad del tratamiento fueron el pH y los coliformes fecales, observando si el primero se mantenía por encima de 12 unidades por un periodo mayor o igual a 72 horas (Tabla 2).

TABLA 2.

Variables para analizar en el lodo, tipo de medición y frecuencia

Variable	Unidad	Técnica de medición	Frecuencia de medición
Temperatura	°C	Termómetro de bulbo	* Día 1: 4 mediciones en el día cada 2 horas durante las primeras 8 hora Día 2 al 4: 2 mediciones diarias Día 5 y 6: 1 medición diaria
pH	Unidades	pHmetro	* Día 1: 4 mediciones en el día cada 2 horas durante las primeras 8 horas Día 2 al 4: 2 mediciones diarias Día 5 y 6: 1 medición diaria

Humedad	%	Gravimétrico	**
Microorganismos	UFC/g	Agar Plate Count – Agar Sangre – Agar Macconkey – Agar Hektoen.	**

*La variable se tomará antes, durante y después del tratamiento

** Las variables se tomarán antes y después del tratamiento

Fuente: autores.

Para el análisis microbiológico, los medios utilizados en la práctica fueron Agar Plate Count, Agar Sangre, Agar Mac Conkey y Agar Heektoen. Para el método de recuento en placa, se empleó la siembra en superficie con rastrillo, dicho método se realiza para el análisis de muestras de agua, suelo y alimento, permite obtener colonias y estimar la densidad poblacional de microorganismos de metabolismo aerobio o facultativo, por esta razón la siembra en superficie se relaciona directamente con la técnica de recuento directo en placa (recuento por dilución). Para esta siembra se maneja el asa o

rastrillo de Digralesky con el cual se extiende o esparce la alícuota de la muestra sobre la superficie de la petri, la placa se incuba en un ambiente predeterminando, hasta que aparecen colonias y se cuenta su número. Finalmente, el tratamiento estadístico de los datos se ejecutó con un análisis descriptivo a fin de observar las relaciones que se dan entre los datos mediante Microsoft Excel; así mismo, se analizó el efecto del tratamiento sobre el lodo mediante gráficos simples para determinar diferencias significativas entre los tratamientos realizados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los lodos residuales de la PTAR vía Puerto Mosquito no presentan restricción desde el punto de vista fisicoquímico y de contenido de metales pesados como el Cobre, Cromo, Plomo, Zinc, según el análisis del lodo residual presentado por Jácome y Mora en el 2017 (Calixto et al., 2022); sin embargo, por la calidad microbiológica se clasifican como clase B según el Decreto 1287 (2014).

Análisis descriptivo

Los datos de la Tabla 3 muestran los resultados del pH en tres condiciones diferen-

tes (15%, 30% y 45% de concentración) con sus respectivos valores mínimo, máximo y desviación estándar. Así, algunas observaciones sobre los resultados son: en general, los valores de pH en todas las condiciones están en el rango alcalino, oscilando entre 12,1 y 12,6. Además, los valores mínimos y máximos de pH son bastante similares en las tres condiciones, lo que sugiere una consistencia en los resultados. A pesar de ello, se observa que la desviación estándar es menor en las condiciones de mayor concentración (30% y 45%), lo que indica una mayor precisión y menor variabilidad en los resultados en comparación con la con-

dición de menor concentración (15%). Esto sugiere que, aunque los valores de pH se mantienen relativamente estables a medida

que aumenta la concentración, la precisión de las mediciones mejora con una mayor concentración de la muestra.

■ TABLA 3.

Análisis descriptivo pH según la concentración de CaO

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
pH_15%	12,1	12,6	0,162
pH_30%	12,3	12,6	0,096
pH_45%	12,3	12,5	0,086

Fuente: autores.

Por otro lado, los datos presentados en la Tabla 4 muestran los resultados de la humedad en tres condiciones diferentes de concentración, junto con los valores mínimos, máximos y desviación estándar asociados. Al analizar estos datos, se observa que la humedad varía en función de la concentración, con diferentes rangos y niveles de variabilidad en cada condición. Por ejemplo, en la condición de 15% de concentración, los valores de humedad oscilan entre 60 y 70, con una desviación estándar de 1,41, lo

que indica cierta variabilidad alrededor de la media. En contraste, en la condición de 30% de concentración, la humedad se mantiene constante en 60, con una desviación estándar de 0, lo que sugiere una consistencia en los valores medidos. Por último, en la condición de 45% de concentración, la humedad varía de 47 a 50, con una desviación estándar de 2,12, lo que señala una mayor variabilidad en los valores de humedad en esta condición en comparación con las otras dos.

■ TABLA 4.

Análisis descriptivo pH según la concentración de CaO

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
H_15%	60	70	1,41
H_30%	60	60	0
H_45%	47	50	2,12

Fuente: autores.

Estabilización alcalina

Los lodos residuales húmedos mostraron facilidad de homogenización al adicionar Cal viva (CaO) debido su alto contenido de humedad, no obstante, el día 2 del tratamiento se presentó la formación de grumos, factor no deseable en la reducción de

patógenos, fenómeno que también observaron Torres et al. (2009) (Figura 1).

Temperatura

La adición de cal aumentó la temperatura durante el día de aplicación del alcalinizan-

te (46° C y 50° C), siendo la proporción de 45% la responsable de los mayores valores; no obstante, las temperaturas elevadas no permanecieron durante el tiempo mínimo recomendado por la EPA (Velasco et al.,

2019), la experiencia de estabilización alcalina de Torres en el 2007 (Torres et al., 2009) y esta, demuestran que aún sin cumplir este requisito se cumple el objetivo de eliminar microorganismos patógenos.

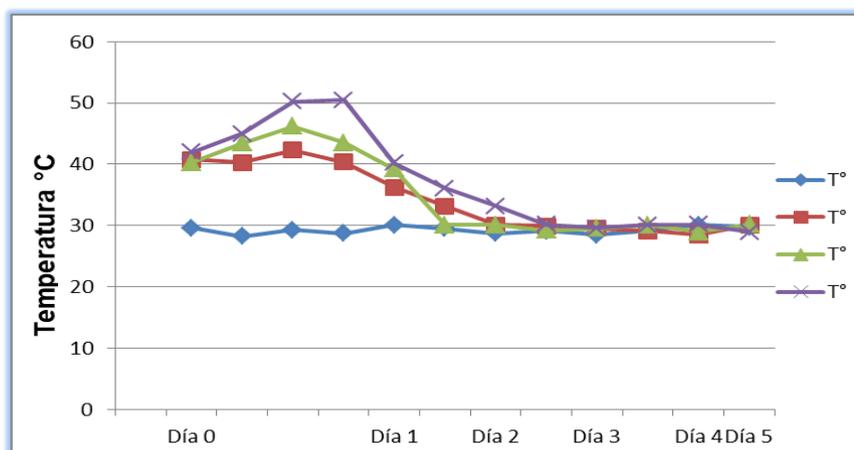


FIGURA 1. Temperatura de lodos tratados alcalinamente
Fuente: autores.

Humedad

Se demostró que el contenido de humedad en los lodos residuales disminuyó con las distintas proporciones de Cal viva (CaO) utilizadas, estos resultados muestran que

las dosificaciones utilizadas son directamente proporcionales a la disminución de la humedad, es decir, a mayor cantidad de alcalinizante mayor es la reducción de humedad en el lodo residual (Figura 2).

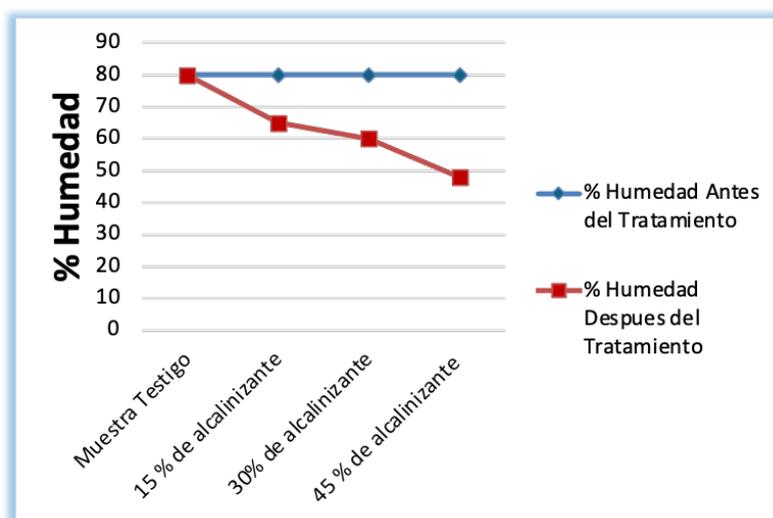


FIGURA 2. Análisis de humedad
Fuente: autores.

pH. Con las dosis de Cal viva (CaO) empleadas el pH aumentó a valores de 12 unidades (Figura 3), cumpliendo con las reco-

mendaciones de EPA para la reducción de patógenos (Velasco et al., 2019).

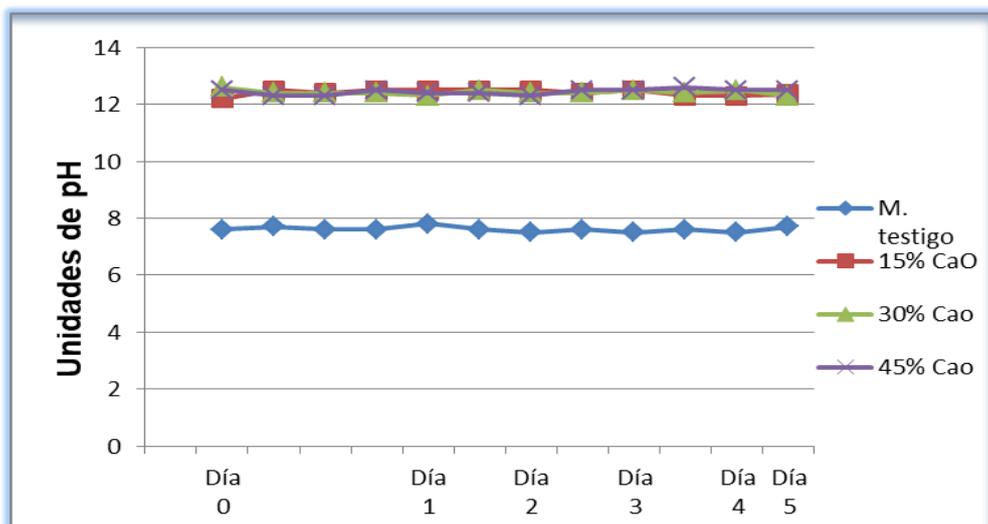


FIGURA 3. Análisis de pH a lodos tratados alcalinamente
Fuente: autores.

Análisis microbiológico

Realizar el análisis con los distintos métodos utilizados para la identificación de microorganismos se obtuvo que la Cal viva en distintas dosificaciones permitió la reducción de microorganismos, tales como las bacterias Gram Positivas y Gram Negativas a los 6 días de su tratamiento. Estos resultados confirman que si el pH se mantiene alto por más de 72 horas, aún sin cumplir el requisito de temperatura, es eficiente para obtener un biosólido que no genere riesgos ambientales y a la salud por microorganismos patógenos; estos datos son congruentes con lo reportado por Grabow et al. (1978), en el que la inactivación por la alcalinidad

del hidróxido juega un papel importante en la eficacia del tratamiento con cal.

La reducción de los microorganismos presentes en las aguas de plantas de tratamiento indirectamente favorece el control de la propagación de genes de resistencia, ya que se ha reportado que las plantas de tratamiento de aguas residuales se han considerado fuentes potenciales de intercambio y liberación de genes de resistencia a los antibióticos al medio ambiente (Hrenovic et al., 2017). Por otro lado, en el agar Plate Count, se realizó el conteo de colonias, que a medida que se aumentaban las diluciones realizadas se observaba la reducción del número de unidades formadoras de colonias, Figura 4.

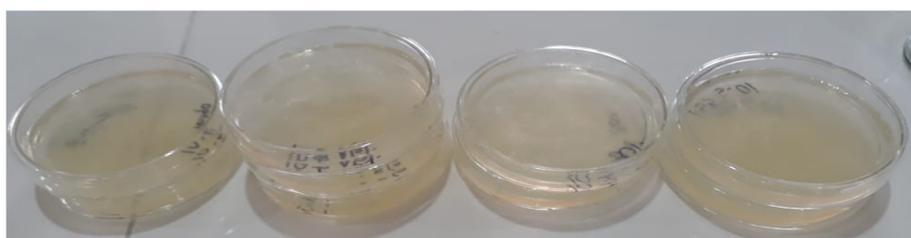


FIGURA 4. Primera inoculación en Agar Plate Count

Fuente: autores.

Los análisis microbiológicos en el Agar Sangre, Agar Mac Conkey y Agar Hektoen para determinar la efectividad del tratamiento alcalino realizado en los lodos residuales generados en la PTAR vía Puerto Mosquito se describen a continuación.

En el Agar Sangre se presentó crecimiento de bacterias Gram Positivas y Gram Negativas, en esta se determinó la reducción de microorganismos con las dosificaciones de 15% y 30%, se evidencia que para la completa eliminación de microorganismos la dosificación de Cal viva a utilizar es 45% en masa, Figura 5.

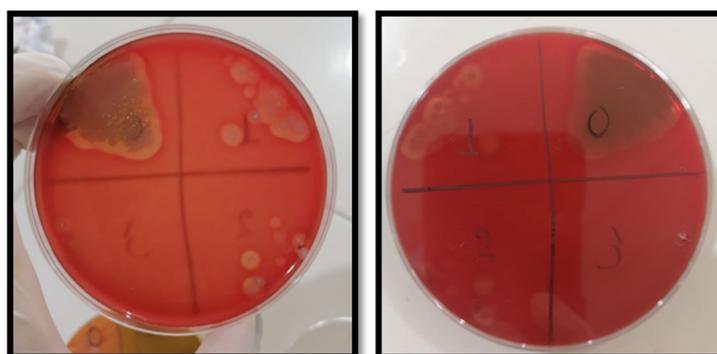


FIGURA 5. Inoculación en Agar Sangre

Fuente: autores.

Luego de 24h a condiciones aeróbicas ($35 \pm 2^\circ\text{C}$) se procedió al análisis del agar Mac Conkey, en donde se verificó el aislamiento de coliformes con presencia de bacilos entéricos Gram Negativos fermentadores y no fer-

mentadores de lactosa en el lodo residual sin tratamiento; de la misma manera se determina que a medida que aumenta la dosificación empleada se permite la completa eliminación de este tipo de Coliformes, Figura 6.

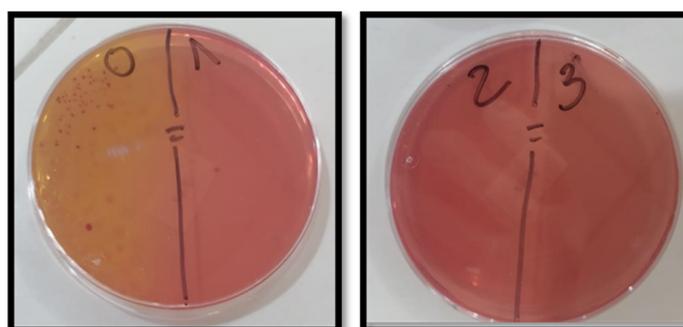


FIGURA 6. Inoculación en Agar Mac Conkey

Fuente: autores.

Se procedió al análisis del agar Hektoen, donde se verificó el aislamiento de *Salmonella Spp.* Y *Shigella Spp.* Por sus características morfológicas en el lodo residual sin tratamiento, el cual correspondía al cuadrante de 0 tratamiento, se observó un

crecimiento significativo. A medida que aumentaba la dosis de tratamiento con la cal se disminuyó el número de microorganismos presentes, lo cual es indicativo de un uso favorable de la cal como tratamiento, Figura 7.

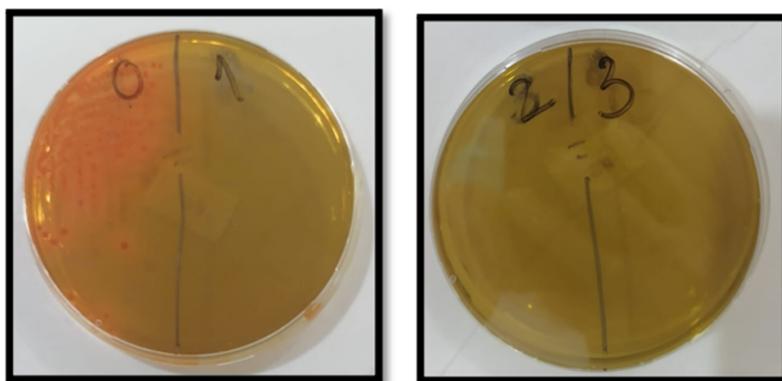


FIGURA 7. Inoculación en Agar Hektoen

Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

En resumen, el tratamiento alcalino de lodos residuales con Cal viva (CaO) es efectivo para la reducción de patógenos y disminución de humedad, aunque presenta desafíos en la formación de grumos y el mantenimiento de temperaturas elevadas. La estabilidad del pH es crucial para la efectividad del proceso.

Cada una de las dosificaciones de Cal viva (CaO) empleadas en los lodos residuales generados en la PTAR vía Puerto Mosquito son eficaces para la reducción de microorganismos patógenos; sin embargo, se demostró que a mayor cantidad de alcalinizante es mayor la reducción de microorganismos, permitiendo alcanzar la disminución total de bacterias Gram Positivas y Gram Negativas, presentes en el Agar Sangre. No obs-

tante, a partir de una concentración de 15% p/p el pH no es una variable para tener en cuenta para la disminución de microorganismos.

La adición de cal aumenta la temperatura de los lodos tratados (46°C - 50°C), especialmente a una concentración del 45%. A pesar de ello, estas temperaturas no se mantienen el tiempo mínimo recomendado por la EPA para la eliminación de patógenos.

Así mismo, se puede concluir que al mantener el pH por encima de 12 unidades sin tener en cuenta la variedad de temperatura, se evidencia la disminución de humedad con las dosificaciones proporcionadas a cada tratamiento, observándose que la proporción de 45% es quien tiene mejor eficacia comparada con las demás.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Nayibe Tatiana Sánchez-Álvarez: metodología, investigación, análisis de datos, escritura y borrador original. Roymar Alejandro Vargas-Blanco: administrador del proyecto, supervisión, investigación, conceptualización, análisis de datos, escri-

tura, revisión y edición. Pablo Alberto-Herrera: logística, revisión y edición. Ingris Yohana Hernández-Martínez: metodología, análisis de datos, revisión y edición. Rossember Saldaña Escorcia: metodología, análisis de datos, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Se realiza un agradecimiento especial a la Universidad Popular del Cesar, Seccional de Aguachica y a la PTAR vía puerto mosquito, Aguachica, Cesar, que prestó asistencia en la investigación en la parte

técnica, financiera, logística, intelectual, para la realización de este proyecto de investigación ejecutado como plan de trabajo de prácticas del estudiante.

LITERATURA CITADA

Ayala, E. A. (2020). *Aprovechamiento de lodos residuales provenientes de las PTAR para la reducción del impacto ambiental*. Universidad Científica del Sur. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1502>

Behnami, A., Zoroufchi, K., Pourakbar, M., Yeganeh, M., Esrafil, A., & Gholaami, M. (2024). Biosolids, an important route for transporting poly- and perfluoroalkyl substances from wastewater treatment plants into the environment: A systematic review. *Science of The Total*

Environment, 925, 171559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171559>

Calixto, N. J., Bonilla, C., y Carillo Soto, G. A. (2022). *Tratamientos de aguas residuales* Universidad Francisco de Paula Santander; Ecoe Ediciones S.A.S.

Castillo, J. G., Balarezo, L. D., Vines, M. B., y Zambrano, H. A. (2020). Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Revista Riemat*, 5(1), 23–27. <https://doi.org/10.33936/riemat.v5i1.2499>

- Decreto 1287 (2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. *Diario Oficial No. 49.208 de 10 de julio de 2014*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Presidencia de la República de Colombia.
- Grabow, W. O., Middendorff, I. G., & Basson, N. C. (1978). Role of lime treatment in the removal of bacteria, enteric viruses, and coliphages in a wastewater reclamation plant. *Applied and Environmental Microbiology*, 35(4), 663–669. <https://doi.org/10.1128/aem.35.4.663-669.1978>
- Hrenovic, J., Ivankovic, T., Ivekovic, D., Repec, S., Stipanicev, D., & Ganjto, M. (2017). The fate of carbapenem-resistant bacteria in a wastewater treatment plant. *Water Research*, 126, 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.09.007>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1998). *NTC-ISO 5667-13. Gestion ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Parte 13. Guia para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas*. Icontec.
- Khabiri, B., Ferdowsi, M., Buelna, G., Jones, J. P., & Heitz, M. (2022). Bioelimination of low methane concentrations emitted from wastewater treatment plants: a review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(3), 450–467. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1940830>
- Malaviya, P., & Singh, A. (2016). Bioremediation of chromium solutions and chromium containing wastewaters. *Critical Reviews in Microbiology*, 42(4), 607–633. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2014.974501>
- Saldaña, R. y Castillo, J. K. (2021). Alternativas para la estabilización de lodos generados en estaciones depuradoras de aguas residuales desde un enfoque sistémico: una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 175–194. <https://doi.org/10.22490/21456453.4504>
- Torres, P., Madera, C. y Silva, J. (2009). Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista EIA*, 6(11), 21–37. <https://doi.org/10.24050/reia.v6i11.402>
- Trejos, M. y Agudelo, N. (2012). *Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “Comestibles La Rosa” como alternativa para la generación de biosólidos*. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/2775>
- Velasco, F., Molano, A. F. y Pramparo, L. M. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(26), 17–26. <https://doi.org/10.31908/19098367.1150>



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.