

Odor Emission Reduction by Alkaline Treatment for Undigested Sludge Stabilization from Wastewater in Arequipa-Peru

José Valverde-Ortiz, Magister¹, Jose Guzmán, Ing.², Gretel Gutiérrez-Calderón, Magíster³, Holman Aliaga, Ing.⁴
Piero Chávez, Ing.⁵, Aliro Estay, Ing.⁶

¹Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa - Perú, jvalverdeor@unsa.edu.pe,

²Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa - Perú, jguzmanmo@unsa.edu.pe,

³Universidad Politécnica de Valencia, Valencia - España, ggutcal@doctor.upv.es,

⁴SUEZ - Perú, holman.aliaga@agbar.pe, ⁵SUEZ - Perú, pierogiovanni.chavez.ext@agbar.pe,

⁶SUEZ - Perú, aliro.estay@agbar.pe

Abstract - Odor emissions in wastewater treatment facilities are one of the most relevant issues to address to protect the image and acceptance of the plant in areas that may cause annoyance to passers-by or nearby neighborhoods. The waste from the treatment process consists of sludge, which is generally treated in the plant through stabilization procedures with anaerobic, aerobic, thermal drying, or other systems. If the sludge is not digested (stabilized), the emanation of odors can become extremely high and aggressive for the neighborhood and workers of the Plant. In this study, the solution is proposed to control the odors emanating from undigested sludge that is transported to an external facility to the wastewater treatment plant for drying in the sun for about 30 days by permanent turning with machinery to reduce their humidity from 82% to 40%. Then, the dried sludge is disposed of in a monofil as final disposal. Being an undigested sludge, in its drying process, gas emissions with annoying odors were generated for workers and drivers of vehicles that travel along the road surrounding the area. To determine odor levels, both at emission points and receptors in areas surrounding the facility, before, during, and after the investigation, dynamic olfactometry tasks have been carried out using the European standard UNE-EN 13725 for odor dispersion measurement and modeling protocols. With this information, the odor intensities were determined under the scale of the VDI 3882 standard. This study proposes an alkaline treatment of the sludge with the addition of quicklime (CaO) useful at 85% for the stabilization of the undigested sludge and reduction in odor generation. Lime dosage tests were carried out in the laboratory and the appropriate dosage for odor control was determined. Large-scale pilot tests were performed out on the drying platform, controlling the pH levels in the treated sludge remaining above 12 for up to 72 hours to inhibit the emission of gases from microbial activity. The dosage of lime at the beginning of the drying process gave the expected result, generating a stabilization of the sludge and reducing the period of solar drying, which drastically reduced the emission of odoriferous gases. The odor control objective was endorsed by the reduction in odor perception from level 5 (very strong) to level 2 (weak), inside and outside the facility. The gas microsensors registered a considerable difference between the concentration of gases in the sludge treatment platform, the monofil, and the surrounding areas, being much smaller and less noticeable for internal and external users of the plant.

Keywords- Odours, odors, sewage-sludge, dynamic-olfactometry, alkaline-treatment, lime, gas-microsensors.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.244>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Reducción de Emisión de Olor por Tratamiento Alcalino para Estabilización de Lodos no Digeridos de Aguas Residuales en Arequipa-Perú.

Odor Emission Reduction by Alkaline Treatment for Undigested Sludge Stabilization from Wastewater in Arequipa-Peru

José Valverde-Ortiz, Magister¹, Jose Guzmán, Ing.², Gretel Gutiérrez-Calderón, Magister³, Holman Aliaga, Ing.⁴
Piero Chávez, Ing.⁵, Aliro Estay, Ing.⁶

¹Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa - Perú, jvalverdeor@unsa.edu.pe,

²Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa - Perú, jguzmanmo@unsa.edu.pe,

³Universidad Politécnica de Valencia, Valencia - España, ggutcal@doctor.upv.es,

⁴SUEZ - Perú, holman.aliaga@agbar.pe, ⁵SUEZ - Perú, pierogiovanni.chavez.ext@agbar.pe,

⁶SUEZ - Perú, aliro.estay@agbar.pe

Resumen - Las emisiones de olores en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales son uno de los temas más relevantes a atender para resguardar la imagen y aceptación de la planta en zonas que pueden causar molestia a transeúntes o vecindades cercanas. Los residuos del proceso de tratamiento están constituidos por los lodos, los cuales generalmente son tratados en planta mediante procedimientos de estabilización con sistemas anaerobios, aerobios, secado térmico u otros. En el caso que los lodos no sean digeridos (estabilizados), la emanación de olores de los lodos puede llegar ser extremadamente altos y agresivos para los receptores y trabajadores de la Planta. En el presente estudio, se plantea la solución para controlar los olores emanados por los lodos no digeridos que son transportados hacia una instalación externa a la planta de tratamiento de aguas residuales para su secado al sol, en la que permanecen por unos 30 días sometidos a volteo con maquinaria para reducir su humedad desde 82% hasta 40%. Luego, con esta humedad, es dispuesto en una celda de seguridad (monorelleno) como disposición final. Al ser un lodo sin digerir, en su proceso de secado, se generaba emisión de gases con olores molestos para trabajadores y conductores de vehículos que transitan por la carretera aledaña a la zona. Para determinar los niveles de olor, tanto en los puntos de emisión como en los receptores en zonas circundantes a la instalación, antes, durante y después de la investigación, se han realizado tareas de olfatometría dinámica usando la norma europea UNE-EN 13725 para los protocolos de medición y modelación de la dispersión de olores. Con esta información se determinó las intensidades de olores bajo la escala de la norma VDI 3882. El presente estudio propuso un tratamiento alcalino del lodo con la adición de cal viva (CaO) útil al 85% para la estabilización del lodo no digerido y la consecuente disminución de generación de olores. Se realizaron pruebas de dosificación de cal pulverizada en laboratorio y se determinó la dosis adecuada para control de los olores. Se realizaron pruebas piloto a gran escala en la plataforma de secado controlando en todo momento que los niveles de pH en el lodo tratado se mantengan por encima de 12 hasta por 72 horas para inhibir la emanación de gases producto de la actividad microbiana. La dosificación de cal al inicio del proceso de secado dio el resultado esperado, generando una estabilización del lodo y reduciendo el periodo de secado solar, lo cual disminuyó drásticamente la emisión de gases odoríferos.

El objetivo de control de olores fue refrendado por la reducción en la percepción del olor de un nivel 5 (muy fuerte) a un nivel 2 (débil), en el interior y al exterior de la instalación. Los microsensores de gases registraron una diferencia considerable entre la concentración de gases en la plataforma de tratamiento de lodos, el monorelleno y las zonas aledañas, siendo estas últimas mucho menores y menos perceptibles para los usuarios internos y externos de la planta.

Palabras clave- Olores, Lodo-de-depuradora, Olfatometría-dinámica, Tratamiento-Alcalino, Cal, Microsensors-de-gases.

Abstract - Odor emissions in wastewater treatment facilities are one of the most relevant issues to address to protect the image and acceptance of the plant in areas that may cause annoyance to passers-by or nearby neighborhoods. The waste from the treatment process consists of sludge, which is generally treated in the plant through stabilization procedures with anaerobic, aerobic, thermal drying, or other systems. If the sludge is not digested (stabilized), the emanation of odors can become extremely high and aggressive for the neighborhood and workers of the Plant. In this study, the solution is proposed to control the odors emanating from undigested sludge that is transported to an external facility to the wastewater treatment plant for drying in the sun for about 30 days by permanent turning with machinery to reduce their humidity from 82% to 40%. Then, the dried sludge is disposed of in a monofil as final disposal. Being an undigested sludge, in its drying process, gas emissions with annoying odors were generated for workers and drivers of vehicles that travel along the road surrounding the area. To determine odor levels, both at emission points and receptors in areas surrounding the facility, before, during, and after the investigation, dynamic olfactometry tasks have been carried out using the European standard UNE-EN 13725 for odor dispersion measurement and modeling protocols. With this information, the odor intensities were determined under the scale of the VDI 3882 standard. This study proposes an alkaline treatment of the sludge with the addition of quicklime (CaO) useful at 85% for the stabilization of the undigested sludge and reduction in odor generation. Lime dosage tests were carried out in the laboratory and the appropriate dosage for odor control was determined. Large-scale pilot tests were performed out on the drying platform, controlling the pH levels in the treated sludge remaining above 12 for up to 72 hours to inhibit the emission of gases from microbial activity. The dosage of lime at the beginning of the drying process gave the expected result, generating a stabilization of the sludge and reducing the period of solar drying, which drastically reduced the emission of odoriferous gases. The

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.244>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

odor control objective was endorsed by the reduction in odor perception from level 5 (very strong) to level 2 (weak), inside and outside the facility. The gas microsensors registered a considerable difference between the concentration of gases in the sludge treatment platform, the monofil, and the surrounding areas, being much smaller and less noticeable for internal and external users of the plant.

I. INTRODUCCIÓN

Las emisiones y contaminantes de olor en una zona de tratamiento de secado de lodos de depuradora y de un monorrelleno de lodos, pueden tener impacto en el medio ambiente circundante y en los residentes cercanos [1], y pueden generar oposición pública en desmedro de la reputación de una instalación de tratamiento de aguas residuales [2].

Las emisiones producidas por los lodos en el proceso de depuración en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), generalmente se controlan por los procesos de estabilización con métodos como la digestión anaeróbica, la digestión aeróbica, el tratamiento alcalino, el secado térmico o el compostaje [3]; pero el lodo crudo, es decir, no sometido a la estabilización entrara en proceso de putrefacción generando malos olores [4].

En muchos estudios se ha demostrado que el procesamiento de los lodos en las plantas de tratamiento de aguas residuales está notablemente relacionado a las mayores emisiones olorosas, por lo que debe realizarse el control de los olores durante todo el tren de procesamiento de los lodos hasta llegar a su disposición final [5].

En Arequipa, Perú, el año 2016 inició operación la Planta de tratamiento de Aguas Residuales [6]. Producto de la depuración de las aguas residuales, diariamente se retira un promedio de 250 toneladas de lodo no digerido (lodo crudo o no estabilizado) con 80 a 82% de humedad, el cual es trasladado 20km. a las afueras de la ciudad para su tratamiento de deshidratación solar en una plataforma de hormigón armado de 40,000 m² con un proceso de volteo del lodo con uso de maquinaria. El proceso de deshidratación toma unos 30 días en promedio, hasta llegar a un contenido de humedad de 40%; luego el lodo es depositado en un monorrelleno como disposición final. El monorrelleno tiene capacidad para recibir los lodos producidos durante la vida útil de la PTAR.

La presente investigación, estudia y plantea la solución a la problemática de generación de olores de los lodos no digeridos procesados en la plataforma de secado, y del monorrelleno donde son depositados una vez que se logra el grado de sequedad adecuado del lodo.

Para la reducción en la generación de olores de lodos, la cal es una alternativa usada en algunas PTAR, como en los Estados Unidos donde se emplea para el tratamiento de lodos en aproximadamente el 20% de las plantas de tratamiento de aguas residuales porque es un proceso simple y económico. La cal, hace que el pH de los lodos de depuradora se eleve por encima de 12 para la inactivación de patógenos logrando la reducción de olores [7].

La aplicación de cal a los lodos de una depuradora aplicados de manera adecuada es un medio para controlar el crecimiento microbiano y reducir el potencial de olores desagradables.

La incorporación y mezcla de la cal y el lodo debe ser el adecuado para evitar un crecimiento microbiano que conduce a

la emanación de olores [8].

La aplicación de cal en la torta de lodos se puede realizar de manera simple y efectiva con equipos no especializados para realizar el mezclado en los lodos para el procesamiento de secado [9].

La cal está disponible comercialmente en dos formas: cal viva y cal hidratada, y debemos decidir cuál escoger para este estudio y como usarla en la plataforma de secado. Pruebas de laboratorio revelaron que la cal líquida controla de manera efectiva la reactivación de microorganismos fecales. En una prueba a gran escala con cal líquida sola con dosis entre 3% a 9% en peso, logra un control satisfactorio de la reactivación fecal y control de olor [10].

Es importante considerar que el olor emitido por los lodos de PTAR es susceptible a la buena operación de la instalación en la línea de lodos y las condiciones ambientales de la zona [11].

El control de estabilización de lodo está definido como el porcentaje de reducción de los sólidos volátiles, respecto a los sólidos totales, en un intervalo de 40 a 50% [12], la referencia nacional nos da la pauta para determinar cómo lodo residual estabilizado, a aquel cuya porción de sólidos volátiles es igual o menor del 60% de los sólidos totales [13].

Para medir la presencia de gases olorosos y para definir las fuentes de emisión, se utiliza olfatometría dinámica o microsensors de gases. El monitoreo continuo de la calidad del aire es fundamental para el control ambiental, y los sensores no invasivos son una herramienta adecuada para el monitoreo in situ. El principal desafío asociado con el uso de conjuntos de sensores radica en establecer una relación entre las señales multivariadas medidas por los sensores y las métricas estándar que se usan tradicionalmente para evaluar la calidad de las mezclas de gases y niveles de olores producidos. Los sensores pueden usarse como dispositivos de alerta sobre la emanación y presencia de olores en las instalaciones de una instalación de tratamiento de lodos de PTAR [14].

En el presente estudio se utilizó olfatometría dinámica para medir la concentración de olores y los niveles de emisión tanto en la plataforma de secado como en la celda monorrelleno, y se ha realizado el modelamiento de dispersión para ver los impactos de inmisión en las zonas circundantes de la instalación, la cual queda en una zona desértica, alejada de la población, pero cercana a una carretera interprovincial.

Para el monitoreo de la emisión de gases se utilizó microsensors en campañas o periodos semanales; y finalmente se ha medido los niveles de olor después de la aplicación a gran escala tanto en emisión como en inmisión.

II. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA LA REDUCCIÓN DE OLORES

El plan de trabajo consideró los pasos a seguir para desarrollar la investigación partiendo de una línea base con niveles de olores en emisión e inmisión, luego se realizaron las pruebas en laboratorio con diferentes dosificaciones de cal en la torta de lodos. Finalmente se hizo dosificaciones a gran escala en la propia plataforma de secado y se midió los impactos en el abatimiento de los olores. Se realizó la medición de olores luego de la aplicación de lodos y en base a los resultados se determinó la efectividad de la solución planteada para esta instalación.

La primera etapa del trabajo consistió en reconocer el área de trabajo, en este caso, la zona donde se procesa el lodo, es decir, la plataforma en la que se somete a secado solar el lodo proveniente de la PTAR, así como la celda de seguridad donde los lodos deshidratados al 40% son finalmente dispuestos, ambos componentes se encuentran en la misma instalación. La zona es de característica desértica, y la población más cercana está a unos 20 Km. de distancia de la instalación; sin embargo, una carretera interprovincial pasa muy cerca.

A. Materiales y Métodos

1) Olfatometría

Para medir la concentración de olor en las fuentes de emisión: plataforma de secado y celda de seguridad, se utilizó la olfatometría dinámica y se realizó un modelo de dispersión para valorar el alcance de las molestias generadas por los olores molestos de la instalación. Para la determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica¹ y el modelamiento de dispersión de olores se ha utilizado la Norma europea UNE-EN 13725 "Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica" [15].

Para determinar la concentración y puntos de emisión de olor se realizó la evaluación en campo utilizando la norma alemana VDI 3882 [13]. que establece una escala de intensidad de olor en base a la calificación de panelistas en campo. Tabla 1.

TABLA 1
ESCALA DE INTENSIDAD DE OLOR EN CAMPO

Valor	Intensidad de olor
0	No perceptible
1	Muy débil
2	Débil
3	Perceptible
4	Fuerte
5	Muy Fuerte
6	Extremadamente fuerte

Fuente: VDI 3882 (The German standard Olfactometry Determination of Odour Intensity)

2) Pruebas de dosificación

La cal está disponible comercialmente en dos formas: cal viva y cal hidratada. Para el presente estudio, se ha definido el uso de cal viva debido a su mayor eficiencia en control microbiológico reportado en estudios previos [17] además de la mayor disponibilidad por los grandes volúmenes requeridos.

Se descartó la aplicación de cal granulada porque dificulta la dosificación y la mezcla con los tractores. Si la mezcla no es adecuada, el pH puede disminuir y hacer que los microorganismos crezcan y generen olores desagradables [8].

Las tareas se iniciaron con pruebas en el laboratorio interno de la Planta. Se decidió utilizar cal pulverizada, y se realizaron pruebas con ratios Peso cal/Peso materia seca del lodo (p/p), en un ratio de 20%, 25%, 28%, 31% y 34% p/p

¹ SUEZ WATER ADVANCED SOLUTIONS PERÚ S.A.C. - ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL MEDIANTE OLFATOMETRÍA

Cada ensayo utilizó 4kg. de lodo al 80% de humedad y se mezcló mecánicamente durante 30 minutos. Las lecturas de pH se tomaron al inicio y a las 24, 72 y 120 horas, además se controló el parámetro de sólidos volátiles como indicador de la estabilización en la mezcla final.

El abatimiento de los olores en las muestras fue evaluado por un equipo de 5 personas seleccionadas para los trabajos de olfatometría, definiendo que la dosis más efectiva es de 28% y 31% p/p.

3) Prueba a gran escala

Con los resultados de laboratorio, se determinó la aplicación de cal pulverizada en dosis de 28% y 31% p/p, y se realizó la prueba piloto a gran escala en la plataforma de secado, en dos pilas de lodo y se procedió al mezclado o volteo durante 1 hora con maquinaria. El volteo de lodos mezclados con cal se realizó durante 21 días hasta alcanzar el 40% de humedad en el lodo tratado. Se tomaron muestras compuestas del lodo de acuerdo con la norma nacional RM-093-2018-VIVIENDA [18], al primer, tercer y quinto día para control del pH y se analizó sólidos volátiles en la mezcla final.

Muestra compuesta: $N = V^{0.5}/2$

Donde:

N: Número de muestras puntuales

V: Volumen (m^3) de la pila de lodo.

Con los resultados de la prueba piloto, se decidió aplicar una dosis de 31% p/p de cal pulverizada a cada nueva pila conformada por el lodo que llegaba a la plataforma de secado. La mezcla se llevó a cabo con dos tractores durante 1 hora en la mañana y tarde, se tomaron muestras 3 días después de la aplicación para controlar el pH, y adicionalmente el parámetro de sólidos volátiles en la mezcla final.

4) Microsensores para gases

Para el control de la efectividad de la aplicación de cal en el control del olor, una vez se completó el total de pilas en tratamiento alcalino en la losa de secado, se instaló una estación de medición de gases con microsensores en partes por billón (ppb) marca CAIRPOL-CAIRSENS durante 1 semana en cada punto de monitoreo para establecer cuantitativamente la generación de los gases Sulfuro de hidrógeno (H_2S), Amoníaco (NH_3) y Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs).

Para establecer los puntos de monitoreo de inmisión a escala local (0.5-4 Km), se siguieron los criterios técnicos para equipos de monitoreo de aire establecidos en el protocolo nacional de calidad ambiental del aire, DS_010-2019-MINAM, 2018 [19]. Las estaciones de monitoreo, Tabla 2, se ubicaron alrededor de la plataforma de secado y al costado del edificio administrativo de la instalación, a una distancia de 500 m. de la plataforma.

TABLA 2
ESTACIONES DE MONITOREO DE OLORES.

Estación de monitoreo	Ubicación
EM-01	50 m. al este de plataforma de secado
EM-02	40 m. al oeste de plataforma de secado
EM-03	700 m. al oeste de la plataforma de secado edificio administrativo planta

Fuente: Elaboración propia.

5) Validación de eficacia del ensayo.

Para validar la eficacia sostenida del tratamiento alcalino a gran escala se definió realizar un monitoreo mensual de cada pila de lodo tratado antes de su disposición final. Para garantizar la representatividad de cada muestra se utilizó la fórmula de muestra compuesta [18], y el análisis de estabilización (*SMEWWALPHA AWWA WEF PART.2540g 23rd Ed 2017 fixed and volatile solids in solid and semisolid*) e higienización (*SMEWW 23rd Ed 2017 part 9221 F1 APHA AWWA WEF Multiple tube fermentation Technique for Members of the Coliform group Echerichia Coli Procedure* y *SMEWW 9260-B Salmonella Sp*) del lodo tratado a cargo de un laboratorio certificado.

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Línea Base – Fuentes de olor

Antes de implementar el tratamiento químico se determinó que la mayor concentración y la principal fuente de emisión de olores es la plataforma de secado de lodo con un nivel de 5 según VDI 3882, valor similar a la intensidad percibida en el edificio administrativo y exterior de planta. La Tabla 3 muestra los resultados de olfatometría dinámica. Donde se corrobora una alta generación de olor en la losa de secado, debido al material y superficie de exposición.

El lodo no estabilizado con 10 días de residencia en la plataforma de secado presenta mayor generación de olor en comparación al lodo fresco, debido al avanzado proceso de putrefacción de la materia orgánica contenida.

B. Dispersión de olores

En la Fig. 1 se muestra la instalación de tratamiento de lodos. El modelamiento de dispersión de olores, Fig. 2, teniendo como foco la plataforma de secado de lodos, mostró una tendencia de inmisión de hasta 1.5 uoE/m³ percentil 98 a 4000 metros al norte, 2250 metros al este, 2100 metros al sur y 7500 metros al oeste. Se determina que la curva isodora 1.5 uoE/m³ no llega a los centros urbanos vecinos; sin embargo, las instalaciones administrativas (EM-03) de la planta están dentro del foco de mayor incidencia de olores.



Fig. 1 Instalación de tratamiento y disposición final de lodos

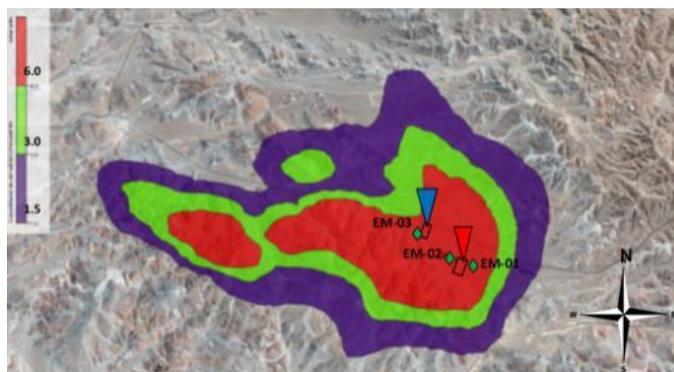


Fig. 2 Modelamiento de curvas isodoras zona de tratamiento de lodos 2018. Marcador rojo: Losa de secado (punto de inmisión). Marcador azul: receptor interno. 3 puntos de monitoreo de olores interno.

C. Pruebas de dosificación.

El registro de medición de pH en lodo tratado con cal en laboratorio nos evidencia que en dosis superiores a 28% p/p, la mezcla mantiene un pH sobre 12 incluso después de las 72 horas desde la aplicación; así también en todos los casos reportados se alcanza una estabilización del lodo final.

TABLA 3
RESULTADOS DE EVALUACIÓN POR OLFATOMETRÍA DINÁMICA ANTES DE TRATAMIENTO QUÍMICO CON CAL

	Concentración de olor (uoE/m ³)	Flujo (m ³ /h.m ²)	Emisión puntual (uoE/h.m ²)	Area (m ²)	Emisión puntual 10 ⁶ (uoE/h)
Lodo con 10 días de tratamiento solar	13217	12.9	170543	10500	9450
Lodo fresco	8222	12.44	102282	9450	967

Fuente: Estudio de olfatometría dinámica – SUEZ (2018)

La dosificación de cal pulverizada en pilas de lodo al 28% y 31% p/p, alcanzó la estabilización del lodo a valores de pH mayores a 12 más allá de 72 horas después de la aplicación, Tabla 4. Esta estabilización por tratamiento químico donde los biosólidos son bien mezclados recién disminuyen el pH en 3 unidades luego de 28 días [8], garantizando la inactivación de microorganismos y reduciendo la generación de olores por descomposición de la porción volátil del lodo.

TABLA 4
RESULTADOS DE PRUEBA PILOTO. TRATAMIENTO ALCALINO, CONTROL DE PH Y ESTABILIZACIÓN

Tratamiento	pH > 12			Estabilización Sólidos volátiles <60% 72h
	1 h	72h	120h	
28% p/p	12.85	12.47	12.16	60.1
31% p/p	12.87	12.54	12.12	58.9
Blanco	6.57	6.51	6.75	78.4

Fuente: Elaboración propia.

D. Prueba de Sitio

Después de 25 días se completó la aplicación de cal a todas las nuevas pilas de lodo conformadas en la losa. Los controles evidenciaron que el lodo alcanzó la estabilización y el pH se mantiene por encima de 12 hasta 72 horas después de la aplicación de cal.

Fue necesario aumentar 1 tractor para la mezcla de cal con lodo y volteo, ya que el periodo y efectividad de mezcla está directamente relacionado con la reducción de olores y su ofensividad. Producto de este tratamiento se evidenció una reducción de hasta el 14% de humedad en el lodo durante los primeros tres días desde la aplicación. El tiempo total de residencia del lodo en la plataforma de secado se redujo de 30 a 21 días, disminuyendo así el área de emisión puntual de olores.

E. Control de olor - estaciones de microsensores

En la tabla 5 se presenta los valores de intensidad de olor registrados por los panelistas, antes y después del tratamiento alcalino en los lodos. Se evidencia una disminución considerable de la percepción de olor en la oficina administrativa hasta un valor 2 (débil) que, según consulta a los usuarios del edificio no genera molestias ni presencia de vectores en el área.

Los valores en la losa de tratamiento han disminuido en menor proporción, de 5 (muy fuerte) a 3 (perceptible); sin embargo, el olor ha cambiado, de un característico olor a materia en descomposición a un olor con predominancia de tonos químicos, debido a la alta presencia de amoníaco como producto de la estabilización alcalina del lodo.

La percepción en el exterior de planta disminuyó considerablemente a 2 (débil) eliminando así molestias en usuarios de las vías aledañas.

TABLA 5.
EVALUACIÓN DE INTENSIDAD DE OLORES EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS, ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO - VDI 3882

Componente	Intensidad de olor VDI3882 antes de tratamiento)	Intensidad de olor VDI3882 después de tratamiento
EM-01 - Losa	5.0	3.0
EM-02 - Losa	5.0	3.0
EM-03 - Of. administrativa	4.8	2.0
Exterior de planta	4.8	2.0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6, se muestran los resultados de mediciones promedio de las franjas horarias día y noche divididas entre las 6:00am a 18:00 horas, para cada estación.

La evaluación de gases medido en partes por billón - ppb, generadores de olores, muestra que los compuestos de azufre y nitrosos, los cuales son mayormente responsables de los problemas de olor molesto [20], y los VOCs, son considerablemente menores en el edificio administrativo (EM-03) respecto a los puntos EM-01 y EM-02 ubicados alrededor de la plataforma de secado.

Así también, se aprecia que los valores (ppb) para los tres gases son mayores durante el día en el punto EM-01 debido a la tendencia del viento hacia el este, lo cual cambia durante la noche cuando el mayor valor está en el punto EM-02, al oeste de la plataforma.

La información proporcionada por los microsensores es confirmada por los panelistas en el edificio administrativo, al oeste de la plataforma de secado, quienes según la evaluación en campo en base a la escala de intensidad de olor VDI 3882 reportan una considerable disminución de la percepción de olores durante las horas de trabajo, calificándolo con una intensidad 2, (weak), el mismo valor es registrado para la percepción en el exterior de planta. Los valores son siempre más bajos durante la noche debido a la detención de trabajos de volteo y descarga de lodos.

TABLA 6.
REGISTRO DE GASES EN PPB EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Microsensor	H ₂ S (ppb) 0-20ppm			NH ₃ (ppb) 0-25ppm			VOCs (ppb) 0-16 ppm		
Límite detección certificado	0.03 ppm / 30 ppb			0.5ppm / 500 ppb					
% error	±30								
Estación de monitoreo	EM-01	EM-02	EM-03	EM-01	EM-02	EM-03	EM-01	EM-02	EM-03
Periodo Día	31.8	21.4	9.0	12385.2	5441.0	75.7	1042.4	643.7	329.1
yi-y Día	11.1	0.7	-11.7	12364.5	5420.2	55.0	1021.7	622.9	308.3
Valor Máximo Día	35.2	30.5	10.3	17565.8	9372.6	117.7	1140.8	1074.5	466.1
Periodo Noche	19.7	25.7	8.7	4345.7	9291.8	57.6	582.0	776.4	423.5
yi-y Noche	1.7	7.6	-9.3	4327.6	9273.7	39.6	564.0	758.3	405.4
Valor máximo noche	25.9	32.7	10.5	14935.2	12484.3	70.7	830.6	1022.6	486.4

Fuente: Elaboración propia

F. Sostenibilidad del ensayo a gran escala.

El monitoreo mensual arrojó resultados satisfactorios para todas las muestras de lodo tratado evaluadas entre enero del 2018 hasta enero del 2022 para los parámetros de estabilización e higienización de lodo.

CONCLUSIONES

El tratamiento con cal para la mitigación de olores en lodos no digeridos ha demostrado ser muy eficaz para la reducción de olores y vectores en la planta de tratamiento de lodos de manera sostenible siempre y cuando se repita el procedimiento descrito para aplicación a gran escala.

La dosificación establecida efectiva es de 31% p/p, la cual a la vez es dependiente de la capacidad de realizar una buena mezcla de cal con el lodo mientras este aun este fresco, la actividad química es evidente con el incremento del pH y temperatura de la mezcla.

La reducción de olores fue de 60.%, de muy fuerte(5) a débil (2), según la evaluación de intensidad de olor en campo (VDI3882) para el punto de oficinas internas y exterior de planta, esto fue corroborado por la significativa diferencia registrada por los microsensores para los gases estudiados comparando la losa de sacado con el edificio administrativo.

Si bien aún se mantienen valores de intensidad perceptibles (3) en la losa de secado, se verificó una reducción del 30% del tiempo de secado del lodo en la plataforma lo cual disminuye drásticamente la superficie de exposición y emisión de olores, así también incrementa la eficiencia en el uso de la infraestructura.

El tratamiento implementado generó un mejor ambiente de trabajo y eliminó el malestar manifestado por algunos de los usuarios de la vía aledaña, contribuyendo a la buena imagen del operador de la planta.

REFERENCIAS

- [1] S. Gao *et al.*, “Characterization and influence of odorous gases on the working surface of a typical landfill site: A case study in a Chinese megacity,” *Atmospheric Environment*, vol. 262, p. 118628, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.ATMOSENV.2021.118628.
- [2] T. Zarra, V. Naddeo, V. Belgiorno, M. Reiser, and M. Kranert, “Odour monitoring of small wastewater treatment plant located in sensitive environment,” *Water Science and Technology*, vol. 58, no. 1, pp. 89–94, Jul. 2008, doi: 10.2166/WST.2008.330.
- [3] M. Mahamud, A. Gutiérrez, and H. Sastre, “Biosólidos generados en la depuración de aguas: (II). Métodos de tratamiento,” *Ingeniería del agua*, vol. 3, no. 3, pp. 45–54, Jul. 1996, doi: 10.4995/IA.1996.2703.
- [4] J. Parr, E. Epstein, G. W. -A. and Environment, and undefined 1978, “Composting sewage sludge for land application,” *Elsevier*, Accessed: Feb. 13, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304113178900164>
- [5] R. M. Fisher, J. P. Alvarez-Gaitan, and R. M. Stuetz, “Review of the effects of wastewater biosolids

- stabilization processes on odor emissions,” *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 49, no. 17, pp. 1515–1586, Sep. 2019, doi: 10.1080/10643389.2019.1579620.
- [6] C. Innovation, “La Enlozada Waste Water Treatment Plant in Arequipa, Peru,” pp. 42–45, 2018.
- [7] K. R. Krach, B. R. Burns, B. Li, A. Shuler, C. Cole, and Y. Xie, “Odor control for land application of lime stabilized biosolids,” *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, vol. 8, no. 3–4, pp. 369–378, 2008, doi: 10.1007/s11267-007-9147-5.
- [8] K. R. Krach, B. Li, B. R. Burns, J. Mangus, H. G. Butler, and C. Cole, “Bench and full-scale studies for odor control from lime stabilized biosolids: The effect of mixing on odor generation,” *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 14, pp. 6446–6455, 2008, doi: 10.1016/j.biortech.2007.11.077.
- [9] “Lime-Stabilized Sludge | Alice B. Outwater | Taylor & Francis Group.” <https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781003070054-8/lime-stabilized-sludge-alice-outwater?context=ubx&refId=e1880420-f65a-46a4-8083-f38a47bf5925> (accessed Feb. 06, 2022).
- [10] Z. K. Erdal, D. L. Wagoner, C. Quigley, T. C. Mendenhall, and S. K. Neely, “Maintaining Class B Biosolids Post-Dewatering Through Lowlevel Lime Dosing,” *Proceedings of the Water Environment Federation*, vol. 2004, no. 12, pp. 228–243, 2012, doi: 10.2175/193864704784138539.
- [11] G. Jiang, D. Melder, J. Keller, and Z. Yuan, “Odor emissions from domestic wastewater: A review,” *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 47, no. 17, pp. 1581–1611, Sep. 2017, doi: 10.1080/10643389.2017.1386952.
- [12] L. Metcalf, H. Eddy, and G. Tchobanoglous, “Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse,” 1991, Accessed: Feb. 13, 2022. [Online]. Available: <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/1979505>
- [13] “Resolución Ministerial N° 128-2017-Vivienda - Gobierno del Perú.” <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/12302-128-2017-vivienda> (accessed Feb. 13, 2022).
- [14] W. Bourgeois, A. Romain, ... J. N.-J. of E., and undefined 2003, “The use of sensor arrays for environmental monitoring: interests and limitations,” *pubs.rsc.org*, doi: 10.1039/b307905h.
- [15] UNE-EN_Norma Española, “UNE-EN 13725 Norma española,” 2004.
- [16] VDI_3882_Odour_Methodology_Guideline, “Department of Environment Protection, Perth, Australia,” no. March, 2002.
- [17] B. Mignotte-Cadiergues, A. Maul, ... A. H.-W. S. and, and undefined 2001, “The effect of liming on the microbiological quality of urban sludge,” *iwaponline.com*, Accessed: Feb. 13, 2022. [Online].

Available: <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/43/12/195/9398>

- [18] “RM 093 2018 Vivienda | PDF.”
<https://es.scribd.com/document/374126161/RM-093-2018-VIVIENDA> (accessed Feb. 12, 2022).
- [19] “Decreto Supremo N° 10-2019-MINAM - Gobierno del Perú.”
<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/363557-10-2019-minam> (accessed Feb. 13, 2022).
- [20] C. Bonnin, A. Laborie, H. P.-W. S. and Technology, and undefined 1990, “Odor nuisances created by sludge treatment: problems and solutions,” *iwaponline.com*, vol. 22, no. 12, pp. 65–74, 1990, Accessed: Feb. 13, 2022. [Online]. Available: <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/22/12/65/23792>