

Caracterización de los compuestos orgánicos volátiles emitidos en el proceso de secado de lodos provenientes del tratamiento de lixiviados en el Relleno Sanitario Antanas

Juan José Moran Cortes

Manuel Alejandro Ortiz Díaz

Estudiantes de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana

Juan Carlos Narváez Burgos

Profesor de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana

En este trabajo, desarrollado para el curso de Diagnóstico de la calidad del aire del programa de Ingeniería Ambiental, se llevó a cabo un estudio básico de caracterización cualitativa de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) emitidos a partir del proceso de secado de los lodos provenientes del sistema de tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Antanas de la ciudad de Pasto (Nariño), manejado por la empresa EMAS By Veolia. Para su desarrollo se hizo dos campañas de muestreo, cuyas características climáticas tuvieron diferencias que fueron contrastadas con las concentraciones encontradas en las muestras captadas. El objetivo principal del estudio fue caracterizar los COV a partir de la concentración identificada en cada muestra de aire tomada a partir de la superficie del proceso de secado; para ello se utilizó una bomba impelente que permitió la captura de la muestra de aire en bolsas herméticas. Posteriormente, se envió la muestra al laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Mariana, donde se utilizó el Cromatógrafo de Gases acoplado a Espectrometría de Masas de referencia Shimadzu GCMS-QP2010-SE, con el cual se hizo una inyección directa de la muestra de aire. Los resultados obtenidos permitieron identificar los tipos de COV presentes en el aire, posiblemente como resultado de los procesos de secado de lodos. Como conclusión, se puede afirmar que los factores ambientales, específicamente las condiciones climatológicas, tienen una relativa correlación con la presencia de COV; sin embargo, para afirmar lo anterior con mayor criterio, el experimento debe tener en cuenta más campañas de muestreo para contar con correlaciones de alta significancia y con índices de correlación más precisos.

En los últimos años, la disposición final de residuos sólidos se ha convertido en un tema de gran preocupación para la sociedad, debido a su impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana. Los lixiviados generados por los rellenos sanitarios son un importante problema ambiental, ya que contienen una gran cantidad de contaminantes químicos y biológicos que pueden afectar tanto la calidad del agua como del aire y del suelo y, condicionar el hábitat de la flora y fauna. Su gestión adecuada es fundamental para minimizar los riesgos ambientales asociados con los rellenos sanitarios. A partir de las técnicas utilizadas para su tratamiento, se genera diversos tipos de lodos, dispuestos en áreas de secado cubiertas que permiten la evaporación de la humedad para reducir el contenido de agua de los lixiviados y facilitar su disposición final; sin embargo, el secado de lodos también puede generar emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, lo que aumenta los riesgos para la salud ambiental.

Este reporte se basa en la necesidad de conocer los tipos de gases y la forma como son emitidos durante el proceso de secado de lodos de lixiviados en los rellenos sanitarios.

Este estudio básico utiliza técnicas cromatográficas para el análisis de los gases y su composición, que presentan alto grado de precisión para la identificación y cuantificación de los componentes volátiles en una muestra.

Materiales y Métodos

En este estudio se empleó lodos residuales provenientes del tratamiento de lixiviados en un Reactor Biológico Secuencial Discontinuo para procesos de nitrificación (aerobia) y desnitrificación (anaerobia), el cual se ubica en el Relleno Sanitario Antanas. Los lodos obtenidos fueron sometidos a un proceso previo de remoción de carga orgánica en un reactor de lodos activos. Este proceso permitió obtener lodos residuales con una carga orgánica reducida en un 70 %. A partir de este punto, los lodos fueron sometidos a un proceso de secado en el relleno sanitario Antanas de la ciudad de Pasto, Nariño, manejado por la empresa EMAS By Veolia.

Figura 1

Área de estudio: pilas de secado de lodos de lixiviados



Fuente: Juan José Moran Cortes.

Como se puede evidenciar en la Figura 1, se realizó la toma de muestra por inmisión de aire desde el proceso de secado mediante dos campañas o muestreos con características climáticas diferentes. Para la toma directa de la muestra se utilizó una bomba impelente de muestreo de aire acoplada a una cámara de vacío que contiene una bolsa hermética que aloja la muestra y la preserva hasta la entrega en laboratorio (Ver Figura 2).

Figura 2

Bomba de muestreo de aire manual acoplada a cámara de vacío



Fuente: Juan José Moran Cortes.

El muestreo se inició estableciendo las condiciones meteorológicas que permitieron conocer el estado del tiempo durante la toma de muestras, que tuvo una duración de siete minutos por cada una, recolectando así cinco muestras puntuales.

Cabe resaltar que el quipo funciona a través de una bomba impelente, la cual genera el vacío dentro de la cámara de PVC, haciendo que este permita el paso del aire, capturando cualquier partícula o gas presente en el aire dentro de la bolsa de muestreo de aire, acoplada dentro de la cámara de PVC.

La cámara de vacío se utiliza para crear un ambiente controlado para la recolección de muestras, reduciendo el riesgo de contaminación y asegurando condiciones de prueba consistentes.

Para el análisis de los gases presentes en el proceso de secado se utilizó un cromatógrafo de gases acoplado a Espectrometría de Masas, de referencia Shimadzu GCMS-QP2010 SE, manejando una columna SHRXI-5MS que cuenta con una longitud de 30 m y un diámetro interno de 0,25 micrómetros. Esta columna está basada en un tipo de sílica de alta pureza, con una fase estacionaria de dimetilpolisiloxano (5 % fenil) y está diseñada para ser utilizada en análisis de compuestos orgánicos. Es capaz de separar compuestos con una amplia gama de polaridades y es especialmente útil para el análisis de compuestos semivolátiles. La temperatura de inyección fue de 250 °C y la temperatura del horno se mantuvo en 40 °C. Se utilizó un modo de inyección *splitless* y un flujo total de 14 μL /minuto. Se aplicó una rampa de 40 °C/5 minutos, seguida de una tasa de aumento de temperatura de 15 °C/min y una última tasa de 250 °C/min. El espectrómetro de masas operó en un rango de 35 a 500 masas (g/mol) /carga (iones) /m/Z.

Resultados

En total, se desplegó dos campañas; cada una de ellas con cinco muestras de aire; a cada una de las muestras se le hizo tres inyecciones intercaladas en el cromatógrafo de gases GCMS-QP2010 SE para determinar el comportamiento de los gases emitidos en las pilas de secado, además del comportamiento climatológico de la zona con la ayuda de la estación meteorológica de referencia 'Davis Vantage Pro 2351' de las dos campañas de muestreo, como se evidencia en la Tabla 1.

Tabla 1

Condiciones climáticas de interés para análisis de resultados en área de estudio

Fecha	17/04/2023	25/04/2023	Unidades
Tiempo	7:00 a 8:00 a. m.	10:00 a 11:00 a. m.	-
Temp Out	10,6	14,35	°C
Out Hum	99	95	%
Wind Speed	0,2	1,35	m/s
Wind Dir	ENE	NNW	-
Solar Rad	41,5	358,5	W/m ²

El día 17 de abril de 2023 se realizó la primera campaña. La temperatura promedio fue de 10,6 grados centígrados. Se debe tener en cuenta que una temperatura baja puede reducir la tasa de volatilización de sustancias químicas y gases, ya que la energía térmica necesaria para que se produzca la evaporación y la volatilización es menor. Además, la alta humedad relativa del aire (99 %) puede disminuir la velocidad de evaporación y, por tanto, reducir la tasa de volatilización.

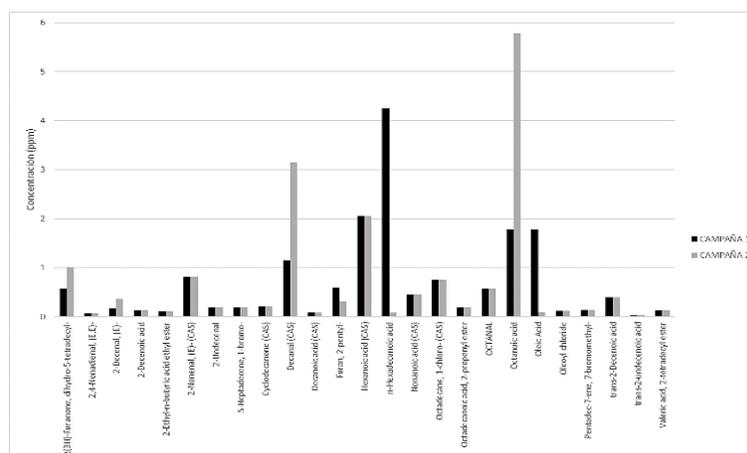
Por otro lado, la radiación solar en el día 1 de muestreo fue moderada (41,5W/m²). Esta puede impulsar la volatilización de sustancias químicas y gases, ya que proporciona la energía necesaria para que se produzca la evaporación y posibles procesos de convección desde la superficie de las pilas de secado.

Para la primera campaña, a través del análisis cromatográfico se detectó diversas sustancias orgánicas en el aire adyacente a las pilas dispuestas en las piscinas de secado, con concentraciones que van desde 0.026 a 4.242 partes por millón (ppm) (Ver Figura 3). Los compuestos con las concentraciones más altas fueron el ácido hexanoico (2.053 ppm), el ácido octanoico (1.780 ppm) y el ácido oleico (1.770 ppm). También se detectó diversos aldehídos, como el decanal (1.148 ppm), el nonenal (0.814 ppm) y el 2-furancarboxaldehído (0.267 ppm), así como ácidos carboxílicos como el ácido heptanoico (0.698 ppm) y el ácido nonanoico (0.449 ppm).

La segunda campaña se realizó el día 25 de abril de 2023, encontrando diversas concentraciones de COV, similares a las halladas en la primera campaña. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés, 2023), los COV son compuestos químicos que tienen un alto nivel de vaporización a temperatura ambiente y que pueden generar efectos negativos en la salud y el medio ambiente. La distribución de componentes moleculares COV que se reportó en las campañas 1 y 2, se presenta en la Figura 3.

Figura 3

Contraste de componentes encontrados en campaña



Además, se encontró otros compuestos como ésteres, alcoholes y cetonas, aunque en concentraciones menores. Estos resultados sugieren que el aire que fluye sobre la superficie de las pilas de secado de lodos contiene una variedad de COV:

- 2-Nonenal, (E)-: irritante tóxico para las vías respiratorias a 1,5 ppm o más (NIH Chemical Identifier Resolver)
- Ácido heptanoico: sin límite de exposición ocupacional establecido (OSHA Occupational Chemical Database)
- Ácido tiosulfúrico (H₂S₂O₃), S-(2-am): peligroso para la salud y tóxico si se inhala a 10 ppm o más (NIH Chemical Identifier Resolver)
- Nonanal: irritante respiratorio tóxico a 5 ppm o más (NIH Chemical Identifier Resolver)
- Ácido nonanoico: sin límite de exposición ocupacional establecido (base de datos de productos químicos ocupacionales de OSHA)
- Ácido trans-2-decenoico: sin límite de exposición laboral establecido (Base de datos de productos químicos ocupacionales de OSHA)
- 3-Heptadeceno, (Z)-: sin límite de exposición ocupacional establecido (OSHA Occupational Chemical Database)
- Ácido 2-octenoico: sin límite de exposición ocupacional establecido (base de datos de productos químicos ocupacionales de OSHA)
- 2-Undecenal: irritante respiratorio tóxico a 11 ppm o más (NIH Chemical Identifier Resolver)
- Ácido 9,12-octadecadienoico (Z, Z)-: sin límite de exposición laboral establecido (base de datos de productos químicos ocupacionales de OSHA)
- Ácido 6-octadecenoico, (Z)-: sin límite de exposición laboral establecido (base de datos de productos químicos ocupacionales de OSHA).

En la Tabla 2 se evidencia las concentraciones de los elementos comunes que presentaron variaciones entre campañas.

Tabla 2

Concentración de COV con diferencias entre campañas de muestreo

Campaña 1 (ppm)	Campaña 2 (ppm)	Molécula Analito según tiempo
0.57	1.01	2(3H)-Furanone, dihydro-5-tetr
0.17	0.37	2-Decenal, (E)-
1.15	3.15	Decanal (CAS)
0.59	0.31	Furan, 2-pentyl-
4.24	0.09	n-Hexadecanoic acid
1.78	5.78	Octanoic acid
1.77	0.09	Oleic Acid

Estos gases son perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente, debido a sus efectos tóxicos, irritantes y/o cancerígenos.

Por ejemplo, el ácido hexanoico puede ser tóxico para el sistema nervioso y puede causar daño hepático en concentraciones elevadas tales como de 50 ppm (Andrinolo y Sedán, como se cita en Giannuzzi, s.f.). El 2-nonenal es conocido por ser un compuesto odorante fuerte y desagradable, también considerado como un compuesto irritante para los ojos, la piel y las vías respiratorias. El decanal también puede ser irritante para la piel y los ojos y, se ha demostrado que tiene efectos negativos sobre el sistema nervioso central. El octadecano clorado es conocido por ser tóxico para la vida acuática y también para la salud humana, si se inhala o se ingiere. Finalmente, el ácido octanoico es un irritante conocido de los ojos y la piel y, puede ser tóxico si se inhala o se ingiere en grandes cantidades.

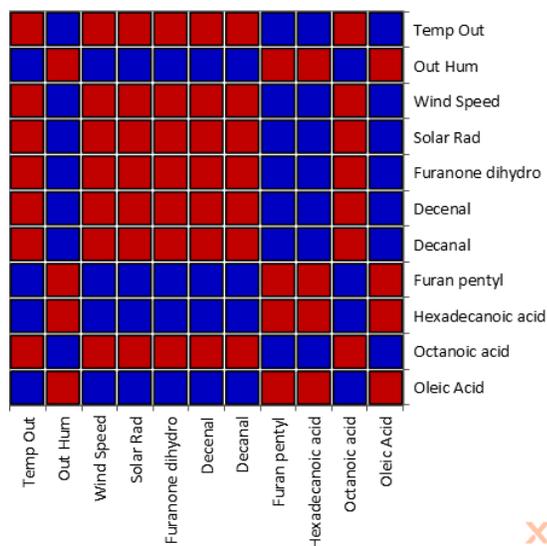
Es importante tener en cuenta que la exposición a gases peligrosos puede tener diferentes efectos en algunas personas y, el nivel de toxicidad puede depender de varios factores, como la duración y la frecuencia de la exposición. Es primordial seguir los protocolos y las pautas de seguridad adecuados y, consultar con un profesional calificado para obtener más información sobre gases peligrosos específicos y su manejo seguro.

El análisis de correlación realizado a las variables estudiadas, **no** cuenta con valores significativos, debido a que los datos obtenidos en las campañas generan series de dos datos, por lo cual la significancia en las pruebas estadísticas es muy baja ($P\text{-valor} > 0,9$).

A continuación, en la Figura 4 se aprecia las correlaciones existentes entre los COV, que presentan cambios entre campañas y, las variables estudiadas.

Figura 4

Correlograma de variables de estudio (oscuro directamente proporcional y gris inversamente proporcional)



En resumen, en el día 2 de muestreo, la temperatura y la radiación solar fueron los principales factores que podían afectar la volatilización de metales pesados y gases COV en el proceso de secado de lodos de lixiviados en rellenos sanitarios. La velocidad del viento también podía tener un efecto positivo en la tasa de evaporación y volatilización. Sin embargo, la humedad relativa del aire, aunque alta, no pareció un factor limitante importante, en este caso.

La Figura 4 permite diferenciar en color oscuro, las variables que cuentan con una correlación inversamente proporcional y, en color claro las correlaciones directamente proporcionales. Así las cosas, la temperatura (Temp Out) logra relacionarse de forma inversa con la humedad (Out Hum). Sin embargo, el viento y la radiación

solar (insolación) se comportan de forma directamente proporcional.

Con relación a los COV encontrados, la temperatura favorece la concentración de compuestos de diez carbonos (decenal y Decanal). Por el contrario, el furan pentyl, el ácido decanoico y el ácido oleico, disminuyen su concentración cuando la temperatura se eleva.

Basado en los resultados obtenidos y las posibles correlaciones causales entre variables calculadas a través del método Spearman, se puede concluir que el secado de lodos de lixiviados genera concentraciones variables de COV, posiblemente en función del comportamiento de variables ambientales (meteorológicas) representativas para la volatilización molecular, como la temperatura y la insolación.

Referencias

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2023). El impacto de los compuestos orgánicos volátiles en la calidad del aire interior. <https://espanol.epa.gov/cai/el-impacto-de-los-compuestos-organicos-volaticos-en-la-calidad-del-aire-interior>.

Giannuzzi, L. (coord.). (s.f.). Toxicología general y aplicada. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/136451/CONICET_Digital_Nro.bao8e6b2-f914-4716-b32a-afc26533f7b7_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y