

Rebecca A. Larson

Ingeniería de sistemas biológicos,
University of Wisconsin-Madison

Horacio Aguirre-Villegas

Ingeniería de sistemas biológicos,
University of Wisconsin-Madison

John Shutske

Ingeniería de sistemas biológicos,
University of Wisconsin-Madison

Cheryl Skjolaas

Ingeniería de sistemas biológicos,
University of Wisconsin-Madison

Jeff Nelson

Ingeniería de sistemas biológicos,
University of Wisconsin-Madison

James Schauer

Ingeniería civil y ambiental,
University of Wisconsin-Madison

Kevin Erb

Centro de recursos ambientales,
University of Wisconsin-Madison

Socios sostenibles de la industria láctea

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

CORNELL UNIVERSITY

PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY

UNIVERSITY OF ARKANSAS

UNIVERSITY OF MARYLAND

UNIVERSITY OF MICHIGAN

UNIVERSITY OF WASHINGTON

NORTH CAROLINA AGRICULTURAL
AND TECHNICAL STATE UNIVERSITY

INNOVATION CENTER FOR US DAIRY

USDA ARS DAIRY FORAGE
RESEARCH CENTER

USDA ARS PASTURE AND
WATERSHED MANAGEMENT

USDA ARS NATIONAL LABORATORY
FOR AGRICULTURE AND ENVIRONMENT

USDA NATIONAL AGRICULTURE LIBRARY

Cómo reducir los riesgos asociados a los gases emitidos durante la agitación del estiércol en sistemas de almacenamiento

La agitación del estiércol

Para reducir problemas operativos y ambientales, los sistemas de almacenamiento del estiércol ofrecen flexibilidad al momento de aplicar el estiércol. El estiércol puede estratificarse durante el almacenamiento y formar una corteza en la superficie que causa una acumulación de sólidos en el fondo del sistema de almacenamiento. La agitación mezcla el estiércol almacenado para volver a suspender los sólidos. Esto reduce el bombeo y otros problemas operativos y proporciona una consistencia de nutrientes más uniforme para su uso. Durante el almacenamiento, los microorganismos que se encuentran naturalmente en el estiércol degradan el material orgánico en ausencia del oxígeno (condiciones anaeróbicas), lo cual produce gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), amoníaco (NH₃) y ácido sulfhídrico (H₂S). Estos gases son emitidos por los sistemas de almacenamiento de estiércol durante todo el período de almacenamiento. Se pueden emitir grandes cantidades de estos gases durante la agitación, los cuales pueden haber quedado atrapados dentro del estiércol. La emisión de gases durante la agitación puede hacer que las concentraciones alcancen niveles peligrosos para la salud de personas y animales (Figura 1).

Desde principios de 1960, casi 150 personas han muerto en los EE. UU. debido a incidentes de gas relacionados con el estiércol en espacios confinados (NCERA 2016). De esos casos, alrededor de la mitad ocurrieron en granjas lecheras. En casi el 25% de los casos, la persona afectada fue un joven menor de 16 años. La actividad más común en el momento que la persona murió era realizar reparaciones o mantenimiento en el equipo de manejo de estiércol (el 34% de las muertes), seguida de acciones asociadas con la tentativa de rescatar a otra persona atrapada o sumergida en una fosa de almacenamiento/recepción de estiércol (el 22% de las muertes) (Beaver y Field 2007).



Figura 1. Agitación de un almacenamiento de estiércol desde: a) la perspectiva de un tractor, y b) la perspectiva de la pulverización y el rocío que se puede producir durante la agitación (tenga en cuenta que el rocío no es un buen indicador de la emisión de gases).

Los gases comunes emitidos durante la agitación del estiércol

Los gases se emiten de forma continua desde los sistemas de almacenamiento de estiércol a medida que los compuestos orgánicos se degradan. El estiércol puede emitir una variedad de gases según las características del estiércol y otros compuestos que se pueden agregar. Los gases que generalmente causan más preocupación son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el amoníaco (NH₃) y el ácido sulfhídrico (H₂S). Tabla 1 muestra que las concentraciones de cada gas llevan diferentes niveles de riesgo en base a la toxicidad y su efecto en el cuerpo. Cuando están al aire libre, los gases normalmente se dispersan en la atmósfera durante la agitación. Esto reduce la concentración de gases conforme se dispersan, lo que también reduce los riesgos para los humanos y animales.

El CO₂ y el CH₄ son incoloros e inodoros y tienen el potencial para desplazar el oxígeno en espacios confinados, lo cual produce condiciones que puedan causar asfixia. El desplazamiento de oxígeno a un punto que podría provocar un impacto en la salud humana (cuando hay menos de un 19.5% de oxígeno) es entre las mayores preocupaciones en condiciones donde se impide la dispersión de gases, como en un espacio confinado. Sin un control de

seguridad adecuada, es imposible detectar el CO₂ y el CH₄. Además, el CH₄ puede ser explosivo en concentraciones de 5% a 15% por volumen.

Otros gases que se deben vigilar son el NH₃ y el H₂S, que son tóxicos y tienen efectos en la salud humana en concentraciones relativamente bajas. El NH₃ puede ser muy irritante para los ojos, las vías respiratorias y otras membranas mucosas (Tabla 2) y se emite del estiércol durante el almacenamiento y la agitación.

El H₂S es el gas más peligroso cuando se agitan los sistemas de almacenamiento de estiércol, ya que pueden causar efectos en la salud humana (incluso la irritación respiratoria, un edema pulmonar y la muerte) en bajas concentraciones (Tabla 3). En concentraciones tan bajas como 0.001 ppm, el H₂S puede tener un fuerte olor a huevo podrido. Aunque este es un buen indicador de la presencia de H₂S en niveles bajos, uno no se debe depender del olor para detectar este gas. En concentraciones un poco más altas, el H₂S puede comenzar a afectar el nervio olfativo, que es responsable del sentido del olfato, lo que evita que los humanos huelan este gas muy tóxico. El H₂S se puede acumular en el aire estancado que no se dispersa, lo cual resulta en un aumento de concentración, especialmente durante los momentos en que hay poco o ningún movimiento de aire. Los niños pueden encontrar

niveles de exposición más altos debido a su proximidad a la fuente de H₂S. Los niños también tienen un riesgo de exposición adicional, ya que tienen vías respiratorias de menor diámetro y una mayor proporción de área de superficie de pulmón a peso corporal (ATSDR 2014). Aunque el H₂S no se acumula en el cuerpo, la exposición crónica de bajo nivel a lo largo del tiempo puede conducir a una variedad de trastornos físicos y neurológicos, incluso un potencial significativo de lesiones y daños a los ojos (ATSDR 2014).

Condiciones que aumentan el riesgo relacionado con los gases de estiércol

Cómo manejar el riesgo

El riesgo para la salud de personas y animales producido por los gases de estiércol depende de varios factores. Esto incluye, pero no se limita a la concentración del gas y la duración de la exposición. Para manejar el riesgo asociado con los gases del estiércol, la primera estrategia debe ser eliminar el peligro por completo. Si el peligro no se puede eliminar completamente, se deben utilizar protecciones y advertencias, por ejemplo, capacitaciones y educación sobre la seguridad, para protegerse contra el peligro. Por último, utilice equipo de protección personal para reducir el riesgo personal (Figura 2). En el caso de los gases de estiércol, es importante minimizar los factores que aumentan la producción de gas y su concentración.

Tabla 1. Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) estándar ocupacional.

Gas	Promedio ponderado en un tiempo de 8 horas (ppm)*	Concentración límite aceptable (ppm)**	Notas adicionales
Amoniaco (NH ₃) ^a	50	--***	--
Dióxido de carbono (CO ₂) ^a	5,000	--***	--
Ácido sulfhídrico (H ₂ S) ^b	--***	20	Pico máximo aceptable de 50 ppm sobre la concentración límite por 10 minutos si no se produce ninguna otra exposición medible
Metano (CH ₄)	--***	--***	No hay límites de exposición de OSHA; asfixia simple; los niveles de oxígeno deben mantenerse por encima del 19.5%.

*Concentración media durante un período de 8 horas.

**Máxima concentración en un momento dado.

***Aunque no haya un estándar vigente, todavía puede haber un riesgo; los estándares para un gas específico no siempre incluyen cada categoría.

^aOSHA 2016.

^bOSHA 2006.

Tabla 2. Progresión de la toxicidad por amoniaco (Michigan Department of Environmental Quality 2006).

Propiedad	Concentración de amoniaco en el aire (ppm)
Olor detectable	0.04-53
Irritación de ojos y nariz.	50-100
Tos fuerte	50-150
Disfunción de las vías respiratorias	150
Letal en 30 minutos	2,500-4,500*
Letal inmediatamente	5,000-10,000*

*Hasta el 2006, el informe citado no encontró ningún incidente de muerte como resultado de la exposición al amoniaco relacionado con el estiércol en las instalaciones de ganado permitidas.

Esto ayudará a minimizar el riesgo. Si bien el riesgo se puede reducir, es probable que no pueda eliminarse por completo. Así que también es importante incorporar medidas de seguridad (por ejemplo, cercas, equipos de monitoreo, etc.) y proporcionar advertencias y capacitación a aquellos que puedan estar expuestos a los gases. Cuando esto no sea suficiente, también proporcione equipo de protección personal a aquellos que ingresan a espacios confinados.

Factores que aumentan la producción de gas

A medida que aumenta la temperatura del estiércol, también aumenta la actividad de microbios y la producción de gas. Para el H₂S, este aumento puede ser significativo cuando las temperaturas del estiércol aumentan, lo cual puede producir concentraciones peligrosas para la salud (Figura 3). Es probable que este riesgo aumente durante los períodos cálidos como el verano o un otoño cálido cuando

Tabla 3. Progresión de la toxicidad del ácido sulfhídrico (OSHA 2017).

Concentración (ppm)	Síntomas/Efectos
0.00011-0.00033	Concentraciones típicas.
0.01-1.5	Umbral de olor (cuando algunos empiezan a notar el olor a huevo podrido). El olor se vuelve más ofensivo a 3-5 ppm. Por encima de 30 ppm, el olor se describe como dulce o empalagosamente dulce.
2-5	La exposición prolongada puede causar náuseas, lagrimeo en los ojos, dolor de cabeza o pérdida de sueño. Puede causar problemas en las vías respiratorias (constricción bronquial) en algunos pacientes con asma.
20	Posible fatiga, pérdida de apetito, dolor de cabeza, irritabilidad, mala memoria, mareos.
50-100	Conjuntivitis leve ("ojo de gas") e irritación en las vías respiratorias después de 1 hora de exposición. Puede causar malestar digestivo y pérdida de apetito.
100	Tos, irritación en los ojos, pérdida del olfato después de 2 a 15 minutos de exposición (fatiga olfativa). Respiración agitada, somnolencia después de 15-30 minutos. Irritación en la garganta después de 1 hora. Incremento gradual de la gravedad de los síntomas durante varias horas. Después de 48 horas la persona puede morir.
100-150	Pérdida del olfato (fatiga olfativa o parálisis).
200-300	Conjuntivitis aguda e irritación en las vías respiratorias después de 1 hora de exposición. Puede producirse un edema pulmonar debido a la exposición prolongada.
500-700	Tambaleos, colapso en 5 minutos de exposición. Daño grave a los ojos en 30 minutos. Muerte después de 30-60 minutos.
700-1,000	Inconsciencia rápida, "caída" o colapso inmediato en 1 a 2 respiraciones, la respiración se detiene, produce la muerte en pocos minutos.
1,000-2,000	Muerte casi instantánea.

aumenta la producción y la concentración de gases. Agitar el estiércol cuando las temperaturas sean más bajas reducirá este riesgo. Las investigaciones muestran que el estiércol que se encuentra menos 64 grados Fahrenheit (18 grados centígrados) reduce en gran medida las emisiones de H₂S (Andriamanohiarisoamanana et al. 2015), pero las temperaturas bajas no pueden garantizar condiciones seguras. Hay muchos factores que afectan la producción de gas, incluso el contenido de azufre y el pH. Si bien la temperatura es un elemento importante en las emisiones de H₂S, el pH del estiércol también es un factor significativo. A medida que se disminuye el pH del estiércol, hay más sulfuro disuelto en forma de H₂S (Figura 4). Esto aumenta las concentraciones en el aire circundante. Aunque el aumento del pH puede reducir las emisiones de H₂S y, por lo tanto, el riesgo, sería difícil de lograr en la práctica sin un costo significativo. La producción de H₂S está relacionada con el contenido de azufre en el estiércol. En general, cuanto mayor sea el contenido de azufre

en el almacenamiento de estiércol, mayor será la producción potencial de H₂S. Para estiércoles líquidos y de lodos de todos los animales de ganado y aves de corral, el rango promedio de más de 22,000 muestras fue de 0.6 libras a 3.2 libras (0.3-1.5 kg) de azufre total por mil galones (Laboski y Peters 2012). Los valores máximos medidos superaron las 450 libras (204 kg) por mil galones, lo que indica que hay una amplia gama posible de azufre en el estiércol. El ganado requiere azufre en sus dietas, pero el exceso de azufre en la dieta puede ser tóxico para los animales y como resultado produce estiércol con niveles más altas en azufre. Más azufre puede llegar hasta un sistema de almacenamiento de estiércol a través de otros subproductos de la granja, como el escurrimiento de ensilaje, los alimentos podridos y los aditivos al acolchamiento. Por ejemplo, el yeso (CaSO₄•2H₂O) contiene altas cantidades de azufre y cuando se agrega al acolchamiento para los animales y luego se transfiere a los almacenamientos de estiércol, se ha demostrado que aumenta la producción de H₂S (Hile y Fabian-Wheeler 2014). Un análisis de laboratorio puede determinar el contenido de azufre en los aditivos para la alimentación animal y en las raciones mixtas totales para garantizar que no se excedan las tasas recomendadas.

El amoníaco (NH₃) se produce a partir del amonio (NH₄) durante el almacenamiento, por lo tanto, a mayor concentración de NH₄, mayores son las emisiones de NH₃. A medida que aumenta el pH, el equilibrio se desplaza de modo que la mayor parte del NH₄/NH₃ presente en el estiércol se encuentra en forma de NH₃, el cual se puede emitir como un gas. Además, a medida que aumenta la temperatura del estiércol, también aumentan las emisiones de NH₃.



Figura 2. Jerarquía de seguridad.

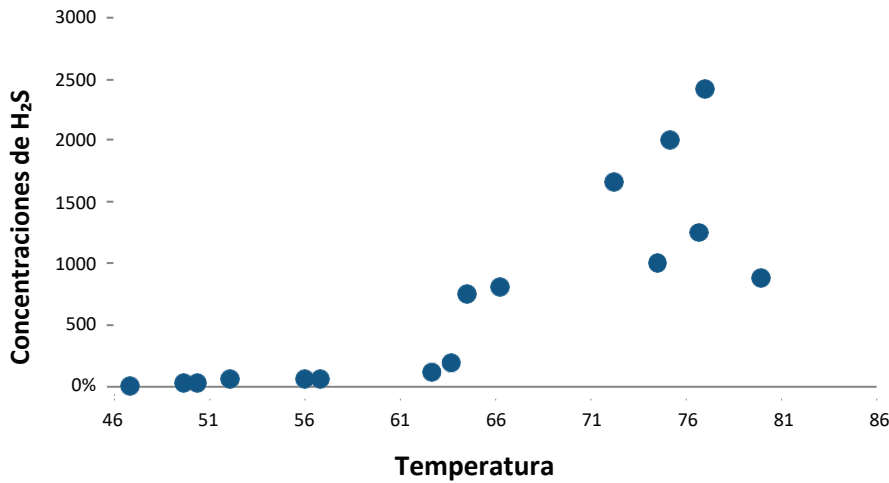


Figura 3. Impacto de la temperatura en la producción de H₂S (Andriamanohiarisoamanana et al. 2015). **NOTA:** Este es un ejemplo de un sistema específico y las concentraciones pueden variar a diferentes temperaturas en función de otros factores influyentes.

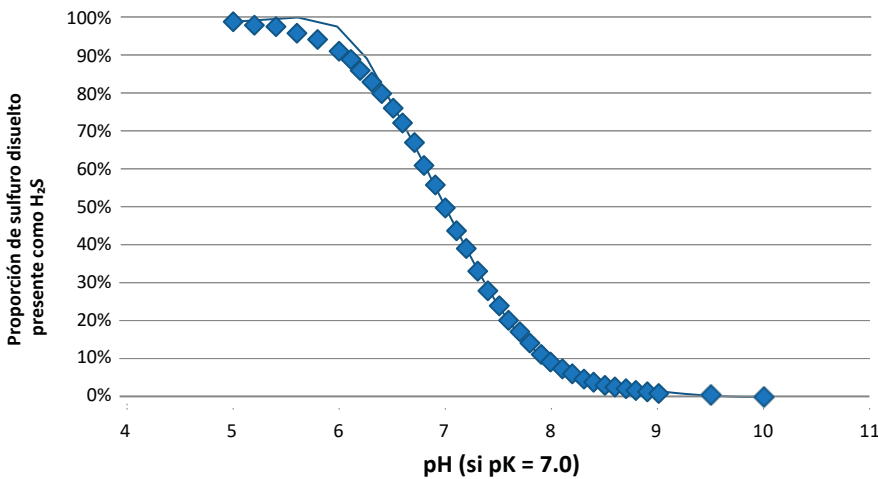


Figura 4. Proporción de sulfuro disuelto presente como H₂S (USEPA 1974).

Factores que disminuyen la dispersión de gas

Los gases se emiten durante toda la duración del almacenamiento de estiércol. Y con una dispersión adecuada en la atmósfera, las concentraciones se reducen a niveles inferiores los que puedan causar efectos adversos para la salud de los seres y los animales (Figura 5). Cuando la dispersión es limitada, los gases pueden concentrarse y causar daño (Figura 6). Hay muchos factores que pueden limitar la dispersión de gases. Nunca asuma que una situación está libre de riesgos, incluso cuando las condiciones favorecen la mayor dispersión al aire libre.

Las cubiertas de almacenamiento de estiércol pueden incluir cubiertas impermeables (por ejemplo, de plástico) y permeables (por ejemplo, las cubiertas de biomasa y la corteza natural que puede formarse a partir de los sólidos de estiércol). Las cubiertas pueden reducir la emisión de gases de los sistemas de almacenamiento de estiércol. Aunque son útiles para retener el nitrógeno y el carbono en el estiércol y reducir las pérdidas de gases, las cubiertas de almacenamiento pueden producir una mayor acumulación de gases dentro del estiércol. Estos gases pueden emitirse durante la agitación, lo que aumenta los riesgos de exposición para personas y animales.

El riesgo aumenta cuando se reduce la dispersión de gases. Por ejemplo, cuando no hay viento o durante las inversiones térmicas. Cuando hay poco movimiento del aire, las concentraciones de gas pueden aumentar hasta casi alcanzar el punto de emisión cerca de la superficie. En condiciones típicas, la temperatura disminuye a medida que la distancia desde la superficie de la Tierra aumenta. Durante las inversiones térmicas, una capa de aire más densa y más fría está cerca de la superficie de la Tierra con una capa de aire más caliente sobre ella. Las inversiones térmicas pueden reducir en gran medida el movimiento del aire convectivo y atrapar contaminantes cerca de la superficie de la Tierra. Si bien las inversiones térmicas y las faltas de viento aumentan el riesgo, es casi imposible especificar las condiciones climáticas exactas que son suficientes para reducir las concentraciones por debajo de lo que es peligroso para la salud humana. Incluso en condiciones ventosas puede haber situaciones donde las concentraciones pueden ser peligrosas para la salud, por lo tanto, siempre se recomienda el monitoreo de los gases, sin importar de las condiciones climáticas.

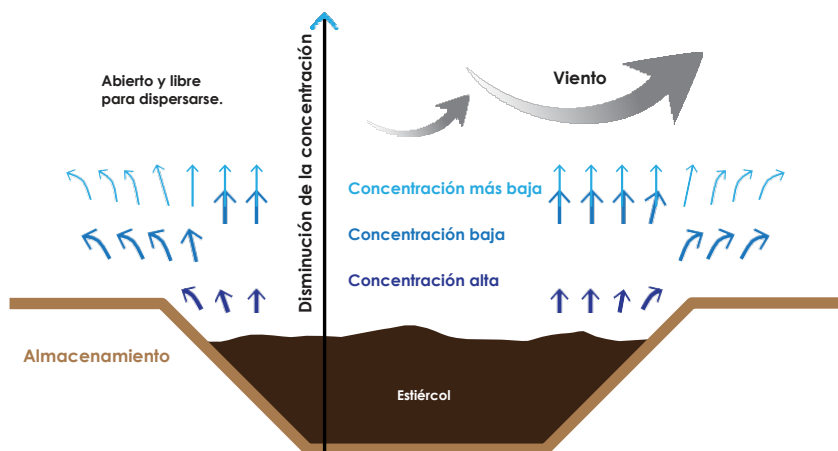


Figura 5. Almacenamiento abierto de estiércol.

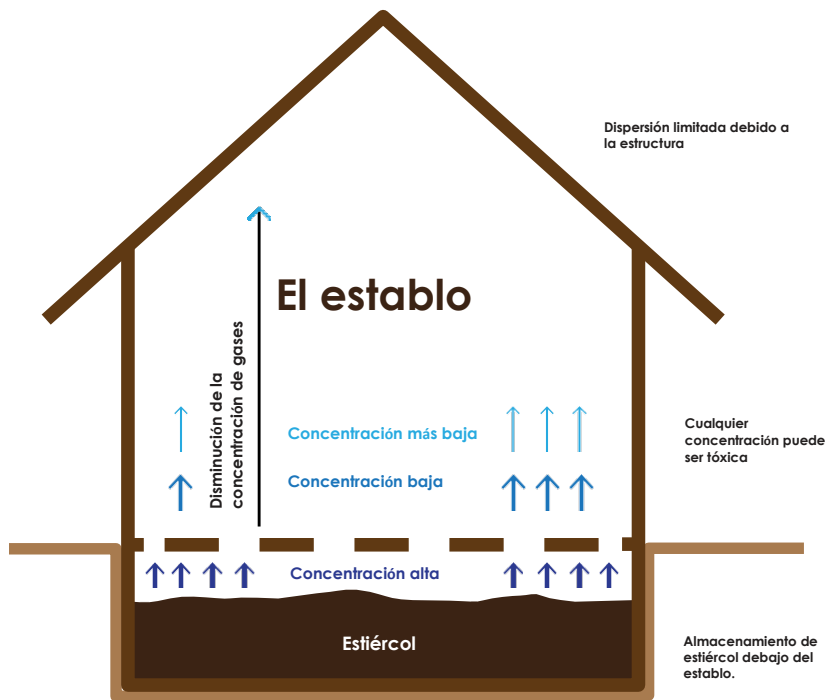


Figura 6. Almacenamiento de estiércol debajo del establo con dispersión reducida de gases.

Prácticas recomendadas y seguras

Es difícil predecir las emisiones de gases generadas por el estiércol y las condiciones ambientales. Por lo tanto, se recomienda monitorear para alertar a los trabajadores u otras personas de condiciones tóxicas cerca de las instalaciones de almacenamiento de estiércol. Los monitores deben emitir una alerta de forma audible, visual y vibratoria. Si bien la asfixia es poco probable en el borde de una fosa de estiércol donde el aire se mueve libremente, el monitoreo de oxígeno alertará a los trabajadores cuando las concentraciones caigan por debajo de los niveles seguros (menos de un 19.5% de oxígeno). Los incidentes anteriores sugieren que la exposición de los trabajadores a concentraciones tóxicas de H_2S es de mayor preocupación.

Hay tres tipos generales de sistemas de medición: sensores ópticos, sensores de óxido metálico y sensores electroquímicos. Los sensores ópticos generalmente cambian de color para indicar la concentración del gas y se pueden comprar a precios muy bajos. Los sensores de óxido metálico suelen utilizarse como sensores permanentes o para la detección remota. Los sensores electroquímicos están disponibles en monitores de uno o múltiples gases, tienen un tiempo de respuesta relativamente rápido y están diseñados para ser fáciles de usar.

Los monitores de gases múltiples permiten al operador monitorear simultáneamente el oxígeno, el H_2S , el CH_4 y el NH_3 . Si bien es deseable monitorear diferentes gases al mismo tiempo, estos sistemas son más costosos que los monitores de un sólo gas que miden gases específicos. Incluso cuando se usa un monitor de gases múltiples, usar también los monitores personales de un sólo gas brindaría una mayor protección para las personas que trabajan en áreas de alto riesgo y para lugares con varios trabajadores. Los monitores de un sólo gas se pueden comprar por \$150 o más y están diseñados para sujetarse a la persona al punto o justo debajo de la altura de respiración. Se pueden comprar monitores de gases

múltiples o de un sólo gas adicionales y colocarlos alrededor del sitio en áreas de alto riesgo o cerca de los controles de un agitador o tractor.

Si suena la alarma de un monitor, las personas en el área deben alejarse inmediatamente del área de riesgo y no regresar hasta que las mediciones muestren que ya no existe un riesgo para la salud. Cuando una alarma suena repetidas veces en un área, incluso después de que no hay más riesgo para la salud, es importante volver a evaluar los sistemas y tratar de eliminar o reducir de nuevo el peligro. Para aquellos que trabajan en áreas de alto riesgo, se recomiendan respiradores pequeños autocontenidos que contengan una botella de aire comprimido y respirable. En caso de que una alarma avise a un trabajador sobre condiciones inseguras, esta botella respiradora proporcionará suficiente aire limpio mientras el trabajador se va a un área segura. Incluso si hay disponible un respirador de escape, se recomienda que los trabajadores abandonen el área inmediatamente si una alarma personal se activa. Los trabajadores no deben volver a entrar en el área hasta que se determine que es seguro. Es importante tener en cuenta que cualquier tipo de respirador que protege contra los contaminantes aéreos conlleva cierto riesgo.

Las personas que usan un respirador deben ser autorizadas por un profesional de salud calificado y el empleador debe cumplir con otros requisitos de un programa de protección respiratoria que incluye prueba de ajuste, capacitación y selección adecuada de respiradores. Las máscaras antipolvo, respiradores de cartucho para pesticidas y otras **máscaras** que filtran los contaminantes del aire **no proporcionan ninguna protección** contra el H_2S o situaciones de deficiencia de oxígeno.

Se deben tomar precauciones adicionales cuando una granja usa un sistema de almacenamiento de estiércol debajo del establo, también conocido como fosa profunda.

Este tipo de almacenamiento de estiércol puede producir concentraciones peligrosas de gas en el establo, especialmente durante la agitación. Esto aumenta los riesgos para la salud animal y humana (Figura 6). Es muy recomendable que los animales y las personas salgan del establo antes de agitar un almacenamiento de estiércol debajo del establo mientras dure la agitación. También se recomienda tener ventilación adicional para estos sistemas.

Es importante identificar un plan de respuesta en caso de emergencia (incluso una ruta de escape) antes de agitar o trabajar cerca de cualquier almacenamiento de estiércol. Este plan debe discutirse con todos los que trabajan en la instalación, incluyendo los contratistas externos que podrían venir al lugar para realizar sus trabajos. Si un trabajador queda incapacitado durante una situación de emergencia, se deben implementar procedimientos para retirar de manera segura al trabajador caído. Los procedimientos no deben involucrar el ingreso de otra persona al área de peligro potencial sin un aparato de respiración completamente autocontenido, ya que esto podría resultar en exposición adicional. Señales de advertencia apropiadas también deben usarse para advertir a las personas sobre el riesgo de gases,

especialmente durante la agitación. Se recomienda comunicarse con el departamento de bomberos local antes de agitar o vaciar los almacenamientos de estiércol para garantizar que el departamento esté al tanto de los riesgos potenciales y posea la capacitación y el equipo necesario si se necesita una respuesta.

Espacios confinados

Debido a la complejidad y los riesgos asociados con el manejo y el equipo de almacenamiento del estiércol, especialmente en espacios confinados, es muy recomendable que las reparaciones, el mantenimiento, el desbloqueo de sistemas obstruidos y otros trabajos se realice desde una ubicación segura fuera del espacio confinado. Si eso es imposible, el trabajo que implica el ingreso a un espacio confinado debe ser realizado por personas con las calificaciones, capacitación técnica y equipo de seguridad pertinentes para completar el trabajo de manera segura.

El ingreso seguro a espacios confinados donde los gases de estiércol o la deficiencia de oxígeno están presentes o pueden estar presentes (es decir, todas las estructuras de almacenamiento de estiércol) requiere al menos:

- Equipo de monitoreo y prueba de aire continuo (se recomienda un monitor electrónico calibrado de cuatro gases).
- Ventiladores, sopladores, tubería, etc., para diluir o eliminar gases tóxicos y aumentar los niveles de oxígeno a un nivel de seguridad medido.
- Equipo de rescate personal (arneses, cables, sistemas de cabrestantes, etc.).
- Equipo de protección respiratoria (se requiere un respirador con suministro de aire, como un aparato de respiración autocontenido para cuando hay niveles de oxígeno por debajo de 19.5% o niveles de gas que son Inmediatamente Peligrosos para la Vida y la Salud (IDLH, por sus siglas en inglés). El nivel de IDLH para el ácido sulfhídrico es 100 ppm.

Información adicional

Impacto del yeso en las camas sobre la producción de H₂S – <http://extension.psu.edu/animals/dairy/health/facilities/gypsum-bedding/safety-risk-from-manure-storages-of-dairy-cows-bedded-with-gypsum>.

Grabación del seminario en línea sobre gases del estiércol – <http://fyi.uwex.edu/agsafety/2016/09/13/manure-gas-safety-webinar/>.

Consejos de seguridad sobre el almacenamiento de estiércol en espacios no confinados – <http://fyi.uwex.edu/agsafety/confined-spaces/manure-storagehandling/non-enclosed-manure-storage-tips/>.

Cómo prevenir las muertes de trabajadores agrícolas en fosas de estiércol – <https://www.cdc.gov/niosh/docs/90-103/>.

Espacios confinados de National Agricultural Safety Database (NASD) – <http://nasdonline.org/browse/12/confined-spaces.html>.

Investigaciones y agenda de Extension para espacios agrícolas confinados – <https://extension.entm.purdue.edu/grainsafety/pdf/Agricultural%20Confined%20Spaces%20White%20Paper.pdf>.

Detalles sobre el monitoreo de gases del estiércol – http://www.public-health.uiowa.edu/gpcah/wp-content/uploads/2015/08/Manure-Pit-Gas-Selection_Use-7_31_15.pdf.

Fuentes

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2014. "Medical Management Guidelines for Hydrogen Sulfide." Atlanta, Georgia: CAS# 7783-060-4, UN# 1053, <https://www.atsdr.cdc.gov/mmg/mmg.asp?id=385&tid=67>.

Andriamanohiarisoamanana, Fetra J., Yushi Sakamoto, Takaki Yamashiro, Seiichi Yasui, Masahiro Iwasaki, Ikko Ihara, Osamu Tsuji, y Kazutaka Umetsu. 2015. "Effects of handling parameters on hydrogen sulfide emission from stored dairy manure." *Journal of Environmental Management* 154: 110-116.

Beaver, Randy L., and William E. Field. 2007. "Summary of Documented Fatalities in Livestock Manure Storage and Handling Facilities-1975-2004." *Journal of Agromedicine* 12(2): 3-23.

Committee on Agricultural Safety and Health Research and Extension (NCERA). 2016. *Research and Extension Agenda for Agricultural Confined Spaces*. Washington, D.C.: USDA-NIFA. <http://articles.extension.org/sites/default/files/ConfinedSpaces.pdf>.

Hile, Mike, and Eileen Fabian-Wheeler. 2014. *Safety Risk from Manure Storages of Dairy Cows Bedded with Gypsum*. Penn State Extension Publication No. G-112. University Park, PA. http://extension.psu.edu/animals/dairy/health/facilities/gypsum-bedding/safety-risk-from-manure-storages-of-dairy-cows-bedded-with-gypsum/extension_publication_file.

Laboski, Carrie A.M., and John B. Peters. 2012. *Nutrient application guidelines for field, vegetable, and fruit crops in Wisconsin*. University of Wisconsin-Extension Publication No. A2809. Madison, WI. <http://learningstore.uwex.edu/assets/pdfs/A2809.pdf>.

Michigan Department of Environmental Quality. 2006. *Concentrated Animal Feedlot Operations (CAFOs): Chemicals Associated with Air Emissions*. CAFO subcommittee of the Michigan Department of Environmental Quality (MDEQ), Toxics Steering Group (TSG) Concentrated Animal Feedlot Operations (CAFOs). http://www.michigan.gov/documents/CAFOs-Chemicals_Associated_with_Air_Emissions_5-10-06_158862_7.pdf.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 2006. *Standard - 29 CFR, 1910.1000, Table Z-2*. https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9993&p_search_type=CLOBTEXTPOLICY&p_search_str=%7bhhydrogen+sulfide%7d#ctx1.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 2016.
Standard - 29 CFR, 1910.1000, Table Z-1. https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=standards&p_id=9992.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 2017.
Hydrogen Sulfide, Hazards. <https://www.osha.gov/SLTC/hydrogensulfide/hazards.html>.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1974.
Process Design Manual for Sulfide Control in Sanitary Sewerage Systems. USEPA Technology Transfer, Washington, D.C.

Agradecimientos

Este material está basado en trabajo que cuenta con el apoyo del Instituto nacional de alimentos y agricultura, del Departamento de agricultura de los Estados Unidos, conforme a la adjudicación número 2013- 68002-20525. Cualquier opinión, resultado, conclusión o recomendaciones expresadas en esta publicación son de lo(s) autor(es) y no refleja necesariamente la opinión del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

© 2019 Junta de Regentes de University of Wisconsin System y University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension. Todos los derechos reservados.

Autores: Rebecca A. Larson, profesor auxiliar, ingeniería de sistemas biológicos, Horacio Aguirre-Villegas, científico auxiliar, ingeniería de sistemas biológicos, John Shutske, profesor, ingeniería de sistemas biológicos, Cheryl Skjolaas, director interino, UW Center for Agricultural Safety and Health, Jeff Nelson, docente auxiliar, ingeniería de sistemas biológicos, James Schauer, profesor, ingeniería civil y ambiental y Kevin Erb, director del programa de capacitación de profesionales de la conservación, Environmental Resource Center. Las publicaciones de Cooperative Extension están sujetas a la revisión por sus pares.

Revisores: David W. Kammel, ingeniería de sistemas biológicos, University of Wisconsin-Madison; Mark Hagedorn, Eau Claire County, University of Wisconsin-Extension; Ted Bay, Grant County, University of Wisconsin-Extension

Diseño gráfico: Elizabeth Rossi, University of Wisconsin Environmental Resources Center.

University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension, en cooperación con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y los condados de Wisconsin, publica esta información para promover el objetivo de las leyes del Congreso del 8 de mayo y el 30 de junio de 1914. Como empleador que brinda igualdad de oportunidades en el empleo y acción afirmativa (EEO/AA, por sus siglas en inglés), la University of Wisconsin-Extension proporciona igualdad de oportunidades de empleo y en sus programas, incluyendo los requisitos del Título VI, el Título IX y de la ley federal sobre personas con discapacidades (ADA, por sus siglas en inglés). Si usted tiene una discapacidad y necesita esta información en un formato alternativo (braille, materiales impresos con letra grande, cintas de audio, etc.), favor de contactar a Oedi@uwex.uwc.edu. Para pedir acomodaciones para la comunicación en un idioma distinto al inglés, favor de contactar a languageaccess@extension.wisc.edu

Las solicitudes de derechos de autor deben dirigirse a Cooperative Extension Publishing en 432 N. Lake St., Sala 227, Madison, WI 53706; pubs@uwex.edu; o (608) 263-2770 (711 para servicio Relay).

Esta publicación está disponible en la oficina de UW-Extension de su condado (counties.uwex.edu) o en Cooperative Extension Publishing. Para hacer un pedido, llame gratis al 1-877-947-7827 o visite nuestro sitio web en learningstore.uwex.edu.



United States
Department of
Agriculture National Institute
of Food and
Agriculture

Números de publicación: UWEX A4131-06
GWQ 078