



Folleto informativo del manejo de biosólidos y residuos

Control de olores en el manejo de biosólidos

DESCRIPCIÓN

Este folleto proporciona información sobre el control de olores de las instalaciones de producción de biosólidos, y la prevención de olores provenientes de las instalaciones de almacenamiento, distribución y aplicación de los biosólidos. El nivel del detalle se seleccionó con el fin de proporcionar una descripción global del proceso, al personal responsable de la toma de decisiones, incluyendo los encargados de la operación de las plantas de tratamiento de agua residual y el personal gerencial. No se proporciona esta información como una guía de diseño.

Los olores fétidos normalmente se producen en las plantas de tratamiento de aguas residuales, las instalaciones de procesamiento de biosólidos y sitios de reciclaje en donde no se ponen en práctica un manejo y control apropiados. El no reconocer la importancia de los olores y tomar acciones para prevenir las emisiones de olores puede generar quejas, cierres del sistema, modificaciones costosas, y la falta de aceptación del producto final. Cada instalación debe mantener un registro o expediente sistemático de las quejas referentes a los olores (Chlupsa). El diseño de la instalación, la operación, la administración, el control y la cuidadosa atención deben ser adecuados para poder reducir la generación de olores. Los profesionales encargados de la calidad del agua tienen la responsabilidad de mitigar los olores molestos.

Los programas de control de olor más acertados son aquellos que utilizan un enfoque que considere todos los aspectos del sistema y los examine por completo, desde los usuarios del alcantarillado hasta las prácticas de aplicación al terreno. Tal como un buen médico identifica la causa de la enfermedad y no sólo trata los síntomas, un manejo eficaz de olores debe identificar y manejar las fuentes de olores y no sólo tratar de enmascarar o de ocultar los olores desagradables. Además, un enfoque integral que considere todos los aspectos debe incluir la comunicación eficiente con aquellos grupos que puedan ser afectados negativamente por los olores.

Los olores molestos pueden tener efectos perjudiciales desde el punto de vista estético, en los valores de las propiedades, y en la calidad de vida de las comunidades afectadas por ellos. Existen compuestos olorosos que se clasifican como agentes contaminantes tóxicos, pero las emisiones de estos compuestos son restringidas por las normas existentes de calidad del aire y por ello su control no forma parte de esta discusión. Un producto oloroso de biosólidos, o un proceso de tratamiento de biosólidos que genere emisiones de olor, puede ser percibido como no sanitario debido al origen de los sólidos. Poco se conoce de las causas que originan quejas referentes a la salud cuando no se presentan irritaciones o toxicidad (Schiffman

et, al.). Si bien se cuenta con información marginalmente relacionada de otras industrias, no existen datos o información relevante relacionada directamente a los olores producidos por los biosólidos. Se necesita una mayor investigación para identificar los efectos potenciales de los olores de biosólidos en la salud.

Los reclamos con respecto al olor en las instalaciones en operación pueden generar problemas a largo plazo. La oposición pública a nivel local puede retrasar o eliminar programas de expansión o de mejora a las instalaciones necesarias para mejorar de la calidad del agua. La percepción de que programas propuestos de aplicación al terreno generarán olores molestos puede restringir la implementación de un programa valioso y benéfico de reutilización.

¿Por qué los biosólidos generan olores?

Un aspecto interesante de los biosólidos es que constituyen una fuente abundante de alimento para los microorganismos, que incluyen aminoácidos, proteínas y carbohidratos. Estos microorganismos en los biosólidos degradan estas fuentes de energía y se forman compuestos olorosos (Walker, 1991). Las formas orgánicas e inorgánicas del azufre, los mercaptanos, el amoníaco, las aminas y los ácidos grasos orgánicos se conocen como los compuestos causantes de los olores más desagradables asociados con la producción de biosólidos. Estos compuestos son liberados de los biosólidos, típicamente por el calor, la aireación y la digestión. Los olores varían según sea el tipo de sólidos residuales procesados y el método de proceso.

La digestión anaerobia de los residuos primarios del agua residual produce sulfuro de hidrógeno y otros gases que contienen azufre, mientras que

la estabilización alcalina de los sólidos libera al aire el amoníaco junto con otros compuestos volátiles. Los olores del compostaje pueden ser causados por el amoníaco (Walker), las aminas, los compuestos de azufre, los ácidos grasos, los compuestos aromáticos e hidrocarburos tales como los terpenos; estos últimos son provenientes de productos de madera que son utilizados como agentes de abultamiento. Los biosólidos digeridos aeróbicamente y los biosólidos secados al aire, si bien pueden contener muy poco sulfuro de hidrógeno, tienen olores causados por el mercaptano y el sulfuro de dimetilo (Bertucci, Dodd, Hatfield, Williams).

Los cinco factores independientes que son necesarios para la completa investigación del olor son:

1. La intensidad o penetrabilidad - la medida de la intensidad percibida del olor comparado a las concentraciones de un compuesto estándar.
2. El carácter - el cual se relaciona con la asociación mental realizada por la persona que detecta el olor.
3. Los factores hedónicos - el agrado o el desagrado relativo de un olor detectado por la persona.
4. La detectabilidad o cantidad - el número de diluciones requeridas para reducir un olor a su concentración perceptible mínima (Switzenbaum et al., 1997, Walker).
5. La masa - la masa total por unidad de tiempo o el volumen de aire oloroso producido.

APLICABILIDAD

Control del olor en las instalaciones que procesan biosólidos

Las instalaciones procesadoras de biosólidos pueden generar olores durante los procesos de espesamiento, digestión, deshidratación, transporte, almacenamiento, carga de camiones, secado por aire, compostaje, secado térmico, estabilización alcalina, y/o la incineración. Los olores pueden ser de fuentes puntuales o estar presentes en el aire ambiental (por ejemplo, en un cuarto de filtro prensa). Los olores pueden emanar de fuentes puntuales o estar presentes en el medio ambiente debido a fuentes regionales. Una auditoria comprensiva del olor y un modelaje de la dispersión en el aire son la mejor garantía para asegurar que el dinero invertido de capital y operación sean utilizado en forma inteligente. Los dueños de la instalación deben buscar a un consultor que se especialice en el control de olores provenientes de los biosólidos cuando inicien las actividades de inspección para la detección de olores. Una auditoria del olor logrará lo siguiente:

- Cuantificar los olores de cada fuente de emisión.
- Analizar los compuestos causantes del olor.
- Determinar los procesos por los cuales se forman los compuestos causantes del olor.
- Identificar las fuentes más significativas del olor.
- Obtener información para el modelaje de la dispersión de las emisiones de olor.
- Determinar el plan de manejo de olores más eficiente desde el punto de vista económico.

Las prácticas correctas de manejo o los cambios en la operación pueden reducir las emisiones del olor; sin embargo, la contención del olor y el tratamiento en las instalaciones de proceso de biosólidos pueden ser necesarios para controlar los impactos en las zonas receptoras en dirección del viento.

El beneficio de modelar la dispersión del aire con anterioridad al diseño final no debe ser subestimado. La información obtenida del proceso de modelación puede resultar en cambios de diseño, tales como el aumento de la altura de la chimenea, el incremento de la velocidad del gas dentro de la chimenea, el proporcionar recalentamiento para aumentar la flotabilidad térmica, o el hacer dilución con el aire del medio ambiente (Haug, 1990). Estas medidas de bajo costo pueden reducir significativamente los costos de inversión y de operación, y mejorar la eficacia del proceso.

Así mismo, la comunicación eficaz con las comunidades afectadas es un punto importante para mejorar las actividades de manejo de los olores, y reducir el número de reclamos.

Control del olor en los sitios de aplicación al terreno

La persona o entidad que produce los biosólidos tiene la responsabilidad de realizar el control del olor en los sitios de aplicación al terreno. Aún si la entidad responsable emplea un contratista para realizar las actividades de transporte, almacenamiento o los servicios de aplicación al terreno, los términos del contrato deben incluir prácticas de manejo para reducir al mínimo la producción de olores. Además, el productor de los biosólidos y el contratista deben tener un plan para mitigación de los olores el cual se señalen los lineamientos y las políticas para la documentación y la respuesta a las quejas

referentes al olor. La persona responsable de aplicar los biosólidos al terreno debe tener la autoridad, y la responsabilidad, de rechazar la entrada de biosólidos a sitios que tengan problemas concernientes con el olor.

Los productores de biosólidos deben realizar el esfuerzo necesario para reducir al mínimo los olores en el lugar de uso porque la eficacia a largo plazo de la aplicación al terreno depende de ese esfuerzo. Un aumento dramático en el número de ordenanzas locales que prohíben o restringen el uso de biosólidos ha sido observado en años recientes como resultado de los reclamos referentes al olor. Una encuesta en el ámbito nacional (Biocycle 1999) reveló que los olores en los lugares de aplicación al terreno generalmente fueron el primer problema de operación que generó diversos reclamos, a lo cual siguieron preguntas y, a menudo, el establecimiento de grupos organizados de oposición pública.

Las normas federales referentes a los biosólidos (*Federal Biosolids Regulations*) no regulan los olores porque se creía que dichos olores, provenientes de aplicación al terreno, no tenían ningún efecto dañino en la salud humana. Se ha dicho, sin embargo, que “los olores provenientes de los biosólidos no representan una amenaza a la salud, pero esos olores si están erosionando el apoyo público necesario para fomentar los programas de reciclaje de biosólidos” (Toffey, 1999).

La metodología más efectiva en términos económicos para el control del olor podría ser el examinar las prácticas de operación y de mantenimiento en la instalación de procesamiento. Las condiciones sépticas pueden generar un producto de biosólidos que sea de olor más desagradable de lo necesario. Algunos polímeros se descomponen y forman compuestos que generan olores a altas temperaturas y valores elevados de pH. La digestión anaerobia incompleta puede dar lugar a olores mucho más fuertes a los producidos por

cualquier otro tipo de digestión. La mezcla de lodo crudo y los lodos activados de purga (LAP) antes de almacenar el líquido puede dar lugar a concentraciones más altas del sulfuro de dimetilo (Hentz and Cassel, 2000).

Los métodos para reducir olores en los sitios de aplicación al terreno incluyen:

- El estabilizar, condicionar y manejar correctamente los biosólidos en las instalaciones de tratamiento para reducir al mínimo los olores del producto final.
- El seleccionar emplazamientos remotos y campos que se encuentren alejados de vecinos (USEPA and USDA, 2000).
- El aplicar material bien estabilizado.
- El limpiar diariamente los tanques, camiones y los equipos.
- Siempre que sea posible, el inyectar los biosólidos debajo de la superficie o incorporarlos en el terreno (WEF 1997).
- El minimizar el tiempo durante el cual los biosólidos son almacenados (USEPA and USDA, 2000).
- El reducir la visibilidad de la instalación y aumentar al máximo la distancia entre el área de almacenaje y las viviendas habitadas (USEPA and USDA, 2000).
- El evitar la aplicación al terreno cuando las condiciones del viento favorezcan el transporte de olores a áreas residenciales (USEPA and USDA, 2000).
- El planificar el almacenaje de los biosólidos en el campo considerando la estabilidad, la cantidad, y el tiempo durante el cual los biosólidos van a ser almacenados, además

de considerar la ubicación del lugar con respecto a la proximidad a vecinos y a las condiciones meteorológicas (USEPA and USDA, 2000).

- El evitar la aplicación al terreno cuando se estén organizando actividades al aire libre en áreas residenciales próximas, o alrededor de días festivos tales como el de conmemoración (*Memorial Day*), de la independencia y del trabajo (WEF 1997).
- El desarrollar un plan para el control del olor y capacitar a todo el personal para poder identificar y mitigar los olores.
- El tener una alternativa de manejo de los biosólidos incluyendo el uso de rellenos sanitarios, especialmente para cargas malolientes de biosólidos.

Manejo del proceso

El grado de control de olores que se debe tener en las instalaciones de procesamiento de biosólidos se determina mediante criterios específicos del lugar tales como:

- La proximidad actual y futura del sitio a áreas residenciales o comerciales.
- Los patrones locales de viento, de mezcla de aire y los factores de dispersión (estabilidad del aire).
- La temperatura y la humedad.
- La variabilidad diaria y estacional de los factores anteriormente mencionados.

- La cantidad de biosólidos procesados.

Un modelo automatizado de dispersión del aire que considere las características de magnitud, frecuencia, y duración de los eventos, y esté calibrado y verificado con datos de monitoreo en el sitio, puede ser una herramienta eficaz para predecir el impacto de las emisiones de olor. Este tipo de modelo puede determinar la cantidad y el tipo de control que sean necesarios para prevenir o minimizar el impacto. Para lograr esta tarea con alguna certeza de éxito, se debe llevar a cabo un estudio formal del olor.

Durante la planificación o el diseño preliminar de una instalación propuesta para el procesamiento de biosólidos, se debe realizar un estudio del olor para poder obtener un mejor conocimiento y aplicar las experiencias obtenidas de las operaciones exitosas en instalaciones similares. Para las instalaciones existentes que presentan problemas con el olor, el estudio debe determinar el grado en el cual los procesos unitarios específicos o fuentes dispersas contribuyen al impacto fuera de los límites del sitio. Se debe realizar un programa detallado de muestreo y de monitoreo para determinar niveles máximos permisibles de olores molestos. Las muestras líquidas y de gases pueden ser analizadas con métodos químicos para identificar los compuestos específicos del olor. Tanto las mediciones sensoriales directas de la intensidad del olor como de la fuerza del olor son también útiles para identificar las fuentes de la mezcla compleja de compuestos que típicamente son responsables de quejas debidas a los olores. Las mediciones sensoriales directas son realizadas por un panel de observadores muy capacitados ("narices expertas") quienes analizan y clasifican las muestras de aire en cuanto a la intensidad del olor (escala n-n-butanol) y la fuerza del olor (dilución al límite o escala D/T). Un estudio comprensivo del olor debe proporcionar un entendimiento completo de las

fuentes y la naturaleza de las emisiones del olor, identificar los métodos disponibles para su control, y establecer los criterios para medir la eficacia de la tecnología de control.

Las normas locales pueden establecer el grado requerido de control del olor. Generalmente las normas se establecen para prevenir las condiciones molestas fuera de los límites de propiedad de la instalación. Los límites numéricos de concentraciones permisibles de compuestos olorosos se especifican en algunas localidades, mientras que en otras se especifica la frecuencia y/o duración de la detección de los olores fuera de los límites de la instalación como los criterios de violación de las normas.

Fuentes del olor

Los sistemas de alcantarillado que tengan periodos largos de retención pueden generar condiciones sépticas en la planta de tratamiento de aguas residuales y problemas subsiguientes del olor en el manejo de biosólidos y su disposición final. Los procesos de compostaje de pila estática aireada, de hilera, y de procesos dentro de recipientes pueden producir olores desagradables si se producen condiciones anaerobias, y aún en condiciones aerobias. La ventilación con aire a través del material de compostaje ayuda a controlar la temperatura del material, a mantener las condiciones aeróbicas, y a proporcionar un medio que dirige la corriente de aire del extractor a un dispositivo de control del olor. Los procesos de pasteurización alcalina producen amoníaco, así como otros compuestos que producen olores. Las instalaciones a gran escala son frecuentemente estructuras encerradas que son ventiladas a un depurador químico húmedo. Las instalaciones de secado térmico utilizan generalmente depuradores químicos y/o

dispositivos de post-combustión tales como los oxidadores termales regenerativos.

Las instalaciones que procesan biosólidos pueden ser operadas y manejadas para reducir la generación y la emisión de olores. La cantidad y la intensidad de los compuestos olorosos se pueden reducir por medio de:

- Los procedimientos de operación y de mantenimiento para prevenir condiciones anaerobias.
- La adición de agentes oxidantes para prevenir la formación del sulfuro de hidrógeno.
- La selección de polímeros que sean resistentes a la descomposición a altas temperaturas y pH.
- La optimización de todos los procesos de estabilización tales como la digestión anaerobia, la digestión aerobia y la estabilización alcalina.
- La evaluación de los impactos ocasionados por la mezcla de diversos tipos de sólidos y su almacenamiento (Hentz and Cassel).
- La limpieza con depuradores químicos o biofiltros que funcionen en forma apropiada.

El evaluar la optimización de la operación y el mantenimiento puede tener un doble beneficio. Primero, se disminuye la cantidad y la intensidad de los olores generados en el lugar, reduciendo al mínimo los costos del equipo para su control. Segundo, se genera un producto menos oloroso que es más fácil de almacenar, transportar, utilizar o vender.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ALTERNATIVAS

Estado actual

Los métodos actuales para el control de olores provenientes de las instalaciones de producción de biosólidos incluyen los biofiltros, los tanques de lodo activado, los depuradores o limpiadores químicos húmedos, los oxidadores termales regenerativos, y los agentes contrarrestantes o neutralizantes del olor. El método elegido se debe basar en los resultados de una investigación del olor y del tipo de compuestos causantes de olor que estén presentes.

Biofiltros - Descripción

Los biofiltros remueven los olores de una corriente de aire fétida por medio de la adsorción y la absorción de los compuestos sobre una lecho de un medio natural en donde los microorganismos oxidan los compuestos. Las bacterias y otros microorganismos del medio se aclimatan a los compuestos presentes y son suficientes para proporcionar la acción de limpieza; no se requiere ninguna inoculación bacterial o adición química. Los biofiltros se utilizan comúnmente para tratar el aire de todo tipo de operaciones de compostaje.

Biofiltros - Ventajas y desventajas

Ventajas

Los biofiltros proporcionan una reducción significativa de las emisiones totales del olor incluyendo las emisiones de carbono orgánico volátil. Es una tecnología simple que requiere pocas piezas móviles y es de baja energía. Las temperaturas frías del invierno no afectan el funcionamiento del biofiltro. Los biofiltros no son altos y ni tan visibles a los vecinos como sucede con sistemas que requieren chimeneas. Todas las ventajas anteriormente mencionadas son valederas si los biofiltros se diseñan adecuadamente, se mantienen húmedos, y se renuevan periódicamente.

Desventajas

La limitación principal de los biofiltros es el requerir un área grande de terreno para las instalaciones. El tamaño del área superficial para los biofiltros se relaciona directamente con la circulación de aire a ser tratado y la necesidad de proporcionar un período de retención de alrededor de 45 a 60 segundos. El funcionamiento ineficiente del biofiltro se atribuye generalmente a la falta de humedad en el medio filtrante. Otros problemas que pueden inhibir la operación son el flujo en cortocircuito, la reducción del pH, y las altas temperaturas. Una concentración de amoníaco mayor a 35 ppm en la corriente de aire fétido puede causar una acumulación tóxica del amoníaco en el medio, reduciendo la efectividad de la remoción del amoníaco. La necesidad de mantener húmedos los biofiltros conlleva un uso significativo de agua y la necesidad de tratar o de disponer de los líquidos de lixiviado y condensación. Los criterios del diseño no están bien establecidos y los biofiltros pueden no ser apropiados para los olores muy fuertes.

Biofiltros - Criterios de diseño

El medio es una mezcla de materiales que pueden incluir cortezas, virutas de madera, desperdicios del jardín o compostaje agrícola, musgo de turba, arena, roca volcánica pulverizada, o caparazones de ostra.

Los caparazones de ostra, o materiales similares, pueden proporcionar control del pH dentro del medio (Haines et al). La roca, la arena y las cortezas son necesarias para proporcionar y mantener la porosidad en el lecho. El medio se puede mantener húmedo por medio de rociadores de aerosol en el sistema de recolección de aire fétido, y en la parte superior del biofiltro (Haines et al).

En algunas ocasiones, también se agrega agua dentro del filtro a través de una tubería de goteo. El lecho del medio se coloca sobre un sistema de distribución de aire que consiste de una tubería perforada que es instalada dentro del lecho de grava. Una membrana impermeable, tal como los recubrimientos de PAD o PVC, se coloca debajo de la grava para facilitar la recolección y la disposición del lixiviado. El biofiltro se puede construir dentro de un canal o zanja de suelo compactado, o entre bermas de tierra. Si el biofiltro está instalado dentro de una estructura de concreto, ladrillo, plástico o similar, la estructura debe ser diseñada para prevenir el flujo en cortocircuito a lo largo de las paredes laterales, y para resistir la corrosión por el lixiviado ácido.

El tamaño del biofiltro es determinado por la circulación de aire a ser tratado. Con una profundidad del lecho de 3 a 4 pies la tasa aceptable de carga de un biofiltro es de 3 a 4 pies cúbicos por minuto por cada pie cuadrado del lecho. El diseño debe prever la facilidad de remoción porque puede requerirse el reemplazo o el relleno semestral del medio. Las actividades periódicas de mezcla o de reposicionamiento del medio pueden ser necesarias para mantener los valores de diseño de la tasa de flujo de aire y de pérdida de carga a

través del sistema de ventilación de control del olor.

Los biofiltros son ampliamente reconocidos como un método eficaz de bajo costo para el tratamiento de olores clasificados como de intensidad baja o moderada. Un biofiltro operado y mantenido eficientemente puede reducir los olores en más de un 95% (Schiffman et al) (Boyette and Bergstedt). En algunos casos, los biofiltros han eliminado las quejas debidas a los olores (Alix). En otros casos, la combinación de una mejor operación de compostaje y la renovación de los biofiltros ha dado como resultado la reducción de los reclamos por olores (Haines et al).

Biofiltros - Operación y mantenimiento

Es importante mantener los biofiltros húmedos para que la comunidad microbiana permanezca saludable y eficaz. Es deseable que los biofiltros operen con un índice de humedad tan cercano al 100 por ciento como sea posible. También es importante mantener suficientes espacios vacíos y evitar la canalización del aire que de lugar al flujo en cortocircuito dentro del medio. Las cantidades grandes de polvo y de material particulado en el aire fétido se acumulan en el medio del biofiltro y acortan su tiempo de reemplazo. Además, la contrapresión en los sopladores aumenta la necesidad de mantenimiento. Se debe mantener un rango de temperaturas adecuadas para conservar los organismos microbianos saludables y en funcionamiento. El aire de temperatura alta (130-140 grados F) de los procesos de compostaje contiene altas concentraciones de amoníaco que pueden ser tóxicas para los microorganismos. Los valores típicos de la vida útil de un biofiltro van de uno a siete años, con reemplazo del medio cada dos años. Los operadores deben desarrollar un protocolo de

monitoreo del funcionamiento del biofiltro para la evaluación rutinaria de la eficacia de control del olor.

Tanques de lodo activado - Descripción

De modo similar a los biofiltros, los tanques de lodos activados utilizados para el tratamiento secundario en las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales pueden remover olores fétidos por medio de la adsorción, la absorción, la condensación y la oxidación microbiana.

Tanques de lodo activado - Ventajas y Desventajas

Ventajas

Esta puede ser una alternativa muy efectiva desde el punto de vista económico para las instalaciones que funcionan con tanques de aireación (Bowker). Los costos de inversión y los gastos operacionales son generalmente reducidos. Estos sistemas han estado en operación por más de 40 años, y más de 25 instalaciones han utilizado esta tecnología. Este sistema es efectivo en el tratamiento de olores clasificados como de intensidad mediana a alta. Los tanques de lodo activado son simples, requiriendo mínimas consideraciones para su operación y mantenimiento (WEF MOP 24).

Desventajas

La preocupación referente a la corrosión del soplador ha sido el impedimento principal para el uso de los tanques de lodo activado. Sin embargo, los filtros de entrada y la tubería de acero son los puntos más comunes para la corrosión. Se han presentado eventos de acumulación de una sustancia parecida al alquitrán o una capa grasosa en los componentes internos de los sopladores, y el volumen de aire fétido a ser tratado puede exceder la demanda de los tanques de aireación. Este método puede no ser apropiado para los olores clasificados como de intensidad muy fuerte (WEF MOP 24).

Criterios de diseño - Tanques de lodo activado

El aire fétido es ventilado por medio de un sistema dedicado de soplador y de difusor, o por medio del sistema de distribución de aire. El difusor de aire fétido debe estar sumergido por lo menos ocho pies para alcanzar una alta eficiencia de remoción del olor. Los equipos del soplador y del difusor deben ser diseñados para tolerar la naturaleza corrosiva de la corriente de aire. El uso de acero inoxidable, de PVC, y de colectores de humedad minimiza la corrosión. El volumen de aire fétido puede ser reducido usando cubiertas planas con empaquetaduras en los tanques, o con el uso de recintos individuales para los equipos de deshidratación o de mezcla. Las cubiertas de entrada previenen la acumulación de partículas en los difusores de burbuja fina. Las biotorres de nitrificación de lecho profundo también se utilizan para el control de olor (Lutz et al).

Operación y mantenimiento - Tanques de lodo activado

Cuando ya existe un sistema de aireación difundida, se estima que el incremento de los costos de operación y mantenimiento es muy reducido. Los sopladores y los filtros de aire deben ser limpiados periódicamente y se deberá monitorear el sistema para detectar los compuestos causantes de los olores.

Depuradores químicos húmedos

Los depuradores químicos húmedos (*wet chemical scrubbers*) son el mejor método para el tratamiento de las emisiones del olor de la alta intensidad y grandes volúmenes. Generalmente se utilizan en instalaciones de estabilización alcalina, en instalaciones de secado de biosólidos y en incineradores. Existen diversos tipos de depuradores húmedos, entre los cuales los de uso más común en las instalaciones de biosólidos son los de lecho empacado, los de neblina y los de tipo Venturi. Todos están diseñados para hacer un contacto máximo entre los compuestos olorosos en la corriente de aire fétido y una solución química de limpieza. Los compuestos son absorbidos y luego oxidados por medio de productos químicos. El funcionamiento de un sistema de limpieza húmedo depende de la solubilidad de los olores en la solución limpiadora. Esto se debe determinar mediante pruebas, o por medio de experiencia previamente obtenida en otras instalaciones (Heller and Heller). Sistemas de etapas múltiples son utilizados para tratar los olores del compostaje, y más comúnmente el aire de ventilación de las instalaciones de pasteurización alcalina. Los sistemas de etapas múltiples utilizan agua o ácido en la primera etapa para remover el amoníaco, seguida por el

cloro o una mezcla cáustica y cloro en la segunda etapa para remover compuestos que contienen azufre.

Ventajas y desventajas - Depuradores químicos húmedos

Ventajas

Un sistema de depuración de dos o tres etapas puede remover una amplia variedad de compuestos causantes de olores. Estas unidades tienen un consumo variable de químicos, y han demostrado ser eficientes y confiables.

Desventajas

Existe un potencial de emisión de compuestos clorados y partículas por la chimenea de escape de los depuradores, así como la posibilidad de emisión de un olor de cloro si la alimentación química no se controla correctamente. Los productos químicos, la energía y el mantenimiento pueden ser costosos, y se requieren cantidades grandes de agua. Los productos químicos gastados deben ser desechados correctamente, y se requiere la reducción de la dureza del agua.

Criterios del diseño - Depuradores químicos húmedos

Los tres tipos más comunes de depuradores húmedos son los depuradores de lecho

empacado, los depuradores de neblina y los depuradores Venturi.

Los *depuradores de lecho empacado* distribuyen con una ducha el líquido lavador sobre un lecho de medio plástico que tiene un área superficial extensa para promover el contacto de las gotas y de la película dentro de la cámara de reacción. El aire fétido se ventila a través del medio plástico en la misma dirección que la corriente, o en contracorriente al flujo líquido. La ventaja del depurador de lecho empacado es que la concentración de la solución de lavado puede variar de acuerdo a los niveles fluctuantes de olor. Estas unidades son generalmente el método menos costoso para tratar olores de alta intensidad en las instalaciones de deshidratación y almacenamiento. Los *depuradores de neblina* utilizan el aire comprimido para atomizar una corriente del líquido de lavado y un patrón controlado de ventilación dentro de la cámara de reacción para promover el contacto sin el uso de un medio. Las ventajas de los depuradores de neblina incluyen el consumo más bajo de agua y la capacidad de manejar un amplio rango de flujos. Las desventajas de los depuradores de neblina son los costos de operación y mantenimiento del compresor de aire, la necesidad de un área más amplia, y las pequeñas aperturas de las boquillas de inyección que requieren reducir la dureza del agua y lavados ocasionales con ácido (Heller and Heller). Los *depuradores Venturi* son similares a los depuradores de neblina en lo referente a la operación, pero atomizan una corriente de alta presión del líquido limpiador sin la utilización de aire comprimido. El tipo del líquido limpiador utilizado depende de los componentes causantes de los olores a ser tratados. Una combinación de hidróxido de sodio y de hipoclorito de sodio es eficaz para los olores de sulfuro, mientras que el ácido sulfúrico diluido es efectivo para los olores de amoníaco.

El enfriamiento efectivo de los gases de los depuradores es también necesario para la remoción del amoníaco (Horst et al, 1997).

Operación y mantenimiento - Depuradores químicos húmedos

Los depuradores húmedos requieren bombas, compresores, válvulas, e instrumentación, por lo cual los costos de operación y de mantenimiento son significativos. Se requiere el mantenimiento y la calibración ocasionales del sistema de suministro de sustancias químicas, los inyectores de distribución del líquido y los sensores del potencial REDOX y de pH. El mantenimiento del sistema puede ser realizado normalmente sin la interrupción del tratamiento. Sin embargo, los depuradores de neblina pueden requerir de un mayor mantenimiento del inyector debido al uso de boquillas de rocío más finas.

La variación en las concentraciones y los componentes del olor en el aire procesado dificultan la operación del depurador y reducen su efectividad. Se ha determinado que el mejorar las operaciones de compostaje, específicamente el mezclado y la aireación uniformes, da como resultado una menor variabilidad en las concentraciones de bisulfuro de dimetilo en el aire que entra al depurador. Se requieren ajustes menores y poco frecuentes de la operación para mantener condiciones óptimas de depuración (Murray et al, 1991).

Oxidadores termales regenerativos

Los oxidadores termales regenerativos (*regenerative thermal oxidizers*, RTO) utilizan altas temperaturas para incinerar compuestos

transportados por aire en una cámara de combustión con un período corto de retención. Esta tecnología se utiliza generalmente para los secadores térmicos de biosólidos, los incineradores, o el aire de evacuación de los tanques de almacenamiento de biosólidos.

Ventajas y desventajas - Oxidadores termales regenerativos

Ventajas

Los oxidadores termales regenerativos se utilizan comúnmente para el control de la emisión de compuestos orgánicos volátiles, un proceso que en forma secundaria remueve los olores. El área requerida para este equipo es compacta en comparación con la requerida para los depuradores húmedos o los biofiltros. Están bien adaptados para el tratamiento de corrientes de aire de volumen bajo y alta concentración. Los oxidadores termales regenerativos son más eficientes en el uso de energía que los dispositivos convencionales de post-combustión, requiriendo solamente del 10 al 20 por ciento de la energía de estos. Frecuentemente el rendimiento térmico es del 90 al 95 por ciento, y el uso de gas del digestor puede reducir los costos del combustible.

Desventajas

Existen relativamente pocas aplicaciones de los oxidadores termales regenerativos que sean específicas para el control de los olores provenientes de los biosólidos. Los operadores han reportado que estas unidades tienen un costo de combustible significativo. El sistema

es solamente económico para el tratamiento de corrientes de aire de alta intensidad que sean difíciles de tratar.

Criterios del diseño - Oxidadores termales regenerativos

La temperatura requerida en la cámara de combustión es de 1,350 a 1,600 grados Fahrenheit, con un tiempo de retención dentro del rango de 0.3 a 3 segundos. Es también importante configurar el sistema para proporcionar suficiente turbulencia y oxígeno para la combustión eficiente (Heller and Heller, 1999). Los oxidadores termales regenerativos pueden ser alimentados con petróleo o gas natural, y los intercambiadores de calor recuperan buena parte del calor del gas de combustión para el precalentamiento del aire entrante.

Operación y mantenimiento - Oxidadores termales regenerativos

El funcionamiento y el mantenimiento del sistema para el control del olor utilizando oxidadores termales regenerativos son muy costosos. Las altas temperaturas dan lugar a costos significativos de combustible y un frecuente mantenimiento y/o reemplazo de la instrumentación.

Agentes contrarestantes, neutralizadores y oxidantes

Estos productos se utilizan para reducir el impacto de olores de fuentes dispersas, tales como áreas de tratamiento de biosólidos o pilas de almacenamiento, y de fuentes puntuales como las chimeneas de ventilación. Aceites esenciales y compuestos registrados se utilizan como agentes que enmascaran olores y como agentes de neutralización de olores. Generalmente, estos materiales no son tóxicos y no representan un peligro a los seres humanos ni al ambiente. Pueden ser dispersados en forma de neblina fina en el aire en las instalaciones de proceso o ser agregados a las corrientes residuales líquidas.

Los agentes oxidantes liberados en el agua residual reaccionan con compuestos causantes de olores para formar un compuesto más estable y sin olor.

Ventajas y desventajas - Agentes contrarestantes, neutralizadores y oxidantes

Ventajas

El uso de agentes contrarestantes y agentes neutralizantes se puede iniciar rápidamente con un costo bajo de inversión. El uso de estos agentes en la corriente residual puede reducir substancialmente los olores en los lugares de trabajo, especialmente alrededor de los equipos de espesamiento y de deshidratación. En algunas instalaciones la adición del permanganato de potasio, un agente oxidante, reduce temporalmente los olores en el producto de biosólidos (Pisarczyk and Rossi), haciendo que los vecinos estén menos propensos a

oponerse a la aplicación al terreno. Se ha detectado una mejora en la deshidratación en algunas instalaciones cuando se utiliza permanganato de potasio.

Desventajas

Es posible que el olor de algunos agentes neutralizantes pueda ser percibido como uno desagradable. La eficacia de los agentes neutralizantes se limita al área en donde son dispersados. Los agentes oxidantes pueden actuar como bactericidas e inhibir procesos biológicos. La presencia de las sustancias no olorosas que reaccionan con el oxidante aumenta enormemente el costo de tratamiento (WEF). Los agentes oxidantes no son siempre eficaces y en algunos casos son costosos. Para este método sólo se cuenta con una base de datos limitada y es poca la información referente a la eficiencia de remoción de olores.

Criterios del diseño - Agentes contrarestantes, neutralizadores y oxidantes

Los aceites esenciales y compuestos registrados se dispersan en la corriente de aire fétido en forma de vapor o neblina fina. Se proporciona una cámara de reacción para mantener un contacto y tiempo de residencia, o se utiliza el conducto de gases o la chimenea de escape para aplicar el agente. A algunos productos se les atribuye la capacidad de polimerizar y precipitar moléculas de olor de la corriente de aire. Algunas veces los agentes neutralizantes se rocían en forma continua en las zonas con olores tales como la vecindad de los tanques y áreas de carga de camiones o de almacenamiento.

Otro diseño utiliza agentes oxidantes tales como el cloro, el hipoclorito, el dióxido de cloro, el peróxido de hidrógeno o el permanganato de potasio para prevenir condiciones sépticas y olores resultantes del sulfuro de hidrógeno. Una cantidad pequeña de oxidante se mezcla con el agua residual o con los sólidos del agua residual. Una dosis de permanganato de potasio del 0.3% puede reducir el nivel de percepción del olor (*threshold odor number*) de 1500 a 200. La dosificación requerida de permanganato de potasio depende del pH. Se necesita menos permanganato de potasio en un rango de pH de 5 a 7 unidades que a un pH de 9 (Pisarczyk and Rossi, 1992).

Operación y mantenimiento - Agentes contrarrestantes, neutralizadores y agentes oxidantes

Una vez que se determina la dosificación apropiada, las actividades de operación y mantenimiento son relativamente sencillas. Se requiere mantenimiento rutinario de las bombas, los inyectores de aerosol y los sistemas automatizados.

DESEMPEÑO

La siguiente tabla muestra la eficiencia de la remoción de una variedad de tecnologías utilizadas para el control de olores. En los últimos 5 años se ha optimizado el diseño y la operación de los biofiltros, y el proceso se entiende mucho mejor que en el pasado. La mayoría de los trabajos relacionados con los biofiltros se refieren a las actividades realizadas en las instalaciones de compostaje, pero debido a su bajo costo estos también están siendo evaluados para su uso en las instalaciones de secado térmico.

Como es el caso de cualquier equipo para el control de olores, la eficiencia de la remoción es solamente un aspecto de la eficacia de todo el sistema. El modelaje del olor identifica receptores del olor y determina la probabilidad de detectar los olores fuera del sitio de generación.

TABLA 1 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN REPORTADAS

Sistema	H ₂ S	NH ₃	Unidades de olor (D/T)
Biofiltro	>98%	>80 %	>95%
Lodos activados (burbuja gruesa)	<85-92%	>90 %	90-95%
Lodos activados (burbuja fina)	>99.5%	NA	>99.5%
Depuradores húmedos	>95%	>95 %	<80-99%
Oxidadores termales regenerativos	NA	NA	>95%
Agentes químicos oxidantes	>99% ¹	NA	Hasta el 99%
Agentes contrarrestantes y neutralizantes	30%	30%	NA

¹ La concentración de sulfuro de hidrógeno es medida sobre el transportador a la salida de la centrífuga.

Fuente: Schiffman et al; Williams, Ostojic & O'Brien; Giggey et al; Solomon, LeBeau & Milligan; Pisotti; Singleton et al; Vaith et al; Ficek

COSTOS

Los costos para el control del olor varían significativamente de un emplazamiento a otro y de una tecnología a otra. En la instalación de compostaje del distrito de calidad de agua de Hoosac (*Hoosac Water Quality District*) el biofiltro representó menos del 3% del costo de inversión, y el reemplazo del medio fue cerca del 7% del costo de operación y mantenimiento (Alix, 1998). Los depuradores húmedos de fases múltiples y los oxidadores termales regenerativos pueden representar del 30% al 50% de los costos de inversión y de funcionamiento de una instalación procesadora de biosólidos. Los costos del permanganato de potasio son de un millón de dólares por año en una instalación que deshidrata e incinera 60

toneladas secas por día, lo cual corresponde a \$45 por tonelada seca.

La siguiente tabla compara los factores de costo de cada tecnología. Las instalaciones que procesan biosólidos deben presupuestar además, fondos para realizar una investigación extensa de los olores, utilizar el modelaje de olor cuando sea posible, evitar condiciones sépticas en el agua residual y los sólidos, evaluar los polímeros y las prácticas de mezcla de líquidos y de almacenamiento, mantener los registros de reclamos y de condiciones de olores fétidos, e incorporar términos en los contratos de aplicación al terreno para asegurar que se utilicen las mejores prácticas de manejo.

TABLA 2 COSTO RELATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS EMPLEADAS PARA EL CONTROL DE OLORES

Sistema	Costo general	Costo de inversión de capital	Operación y mantenimiento	Electricidad o combustible	Suministros y compuestos químicos	Efectividad
Biofiltro	Moderado	Moderado, pero se necesita bastante terreno	Moderado	Bajo	Necesidad de agua	Alta, mayor del 95% en compostaje
Tanques de lodos activados	Bajo, si ya existe el sistema	Bajo, si ya existe el sistema	Bajo si ya existe el sistema; se pueden correr los sopladores	Bajo si existe el sistema y la instalación de procesamiento de biosólidos está cerca	Bajo	Alta, del 90 al 95% para el H ₂ S y el amoníaco
Depuradores químicos húmedos	Alto	Alto, hasta 50% de los costos totales de la planta	Alto, requiere múltiples equipos de alta velocidad e instrumentación	Alto, debe transportar el agua a presiones altas	Alto por los costos de compuestos químicos y la demanda de agua	Alta, <80% a 99%. Maneja residuos de la estabilización alcalina y todos los olores de la planta
Oxidadores termales regenerativos	Alto	Moderado	Alto debido al equipo de altas temperaturas	Alto, excesivas demandas térmicas	Alto, petróleo o gas	Buena para compuestos orgánicos con olor de los incineradores y los secadores térmicos
Agentes oxidantes	Varía de moderado a alto	Bajo	Bajo, solo el manejo de materiales	Bajo; necesidad de pequeñas bombas	Alto, el permanganato de potasio puede ser costoso	Varía de una planta a otra
Agentes contra-restantes y neutralizantes	Moderado	Entre moderado y bajo	Varía de una planta a otra	Bajo	Alto, generalmente usa compuestos registrados	Varía, pero podría ayudar en el sitio final de disposición

REFERENCIAS

Otros folletos informativos relacionados

Estabilización alcalina de biosólidos

EPA 832-F-00-052

Septiembre de 2000

Compostaje en recipientes

EPA 832-F-00-061

Septiembre de 2000

Aplicación al terreno de biosólidos

EPA 832-F-00-064

Septiembre de 2000

Deshidratación por centrifugación y
espesamiento

EPA 832-F-00-053

Septiembre de 2000

Deshidratación en filtros prensa

EPA 832-F-00-057

Septiembre de 2000

Deshidratación en filtros de banda horizontales

EPA 832-F-00-058

Septiembre de 2000

Otros folletos informativos de la EPA pueden
obtenerse en la siguiente dirección de Internet:

<http://www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm>

1. Alix, Charles M., "Retrofits Curb Biosolids
Composting Odors" Biocycle Magazine,
June, 1998.

2. Basset, D.J., Dedovic-Hammond, S., Haug,
R.T. "A Unique Approach to
Implementation of Biofiltration for
Odor/VOC Control."

3. Bertucci, J.J.; Sawyer, B., Calvano, J.; Tata,
P.; Zenz, D.R.; Lue-Hing, C.; "The
Application of Odor Measurement
Technologies to Large-Scale Odor
Evaluation Studies." Odor and Volatile
Organic Compound Emission Control for
Municipal and Industrial Treatment
Facilities Proceedings. Florida Water
Environment Association. Jacksonville.
1994.

4. Biosolids Field Storage Guide (draft,) 2000,
USDA, USEPA, WEF.

5. Bonnin, C., Coriton, G., Brailey, D.,
Rogalla, F. "Biological odor removal."
WEFTEC '95 68th Annual Conference &
Exposition Proceedings. Volume5. Miami
Beach. 1995.

6. Bowker, Robert. WEF MOP 24 "Septage
Handling." Chapter 7 Odor Control. 1997.

7. Bowker, Robert P.G. "Activated sludge
Diffusion; Clearing the air on an overlooked
odor control technique." Water Environment
and Technology, WEF Feb. 1999.

8. Boyette, R.A and Bergstedt, Loren,
"Wastewater Treatment Plant Odor Control
Using a Biofiltration System in Diluth, MN"
The ninth International Conference on Cold
Regions Engineering Sponsored by the
American Society of Civil Engineers,
September, 1998.

9. Brown, T.M. "Multiple Contracts Provide
for Complete Regenerative Thermal
Oxidizer Odor Control." Odor and Volatile
Organic Compound Emission Control for
Municipal and Industrial Treatment

- Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
10. "The Cairox(R) Solution System: Case History The Perfect Solution to Complaints about Wastewater Treatment Plant Odors." Carus Chemical Company. 1997.
 11. Callery, A.G.; Kulas, A.; Sweeney, J. "Biofilters: How Well Do They Work with Thermal Biosolids Dryers." 10th Annual Residuals & Biosolids Management Conference: 10 years of Progress and a Look Toward the Future Proceedings. Rocky Mountain Water Environment Association. Denver. 1996.
 12. Chlupsa, Henry J. "Evaluation, Abatement and Monitoring of Odors at the Yonkers Joint Wastewater Treatment Plant Yonkers, New York." WEF 1997 Control of Odors and VOC Emissions Specialty Conference. Houston.
 13. Cranny, P.C. "New Advancements in Odor Control Using Essential Oil Technology." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
 14. Dodd, K.M.; Novy, V.A.; Caballero, R.C. "Total Control of Odors and VOCs from In-Vessel Composting." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
 15. Fergen, R.; DiFiore, R.S.; Davis, P.A.; Saurer, P. "Modifications of the Class A Alkaline Stabilization Process to Enhance Heat Release, Odor Control, Handling Characteristics and Nutrient Value." 10th Annual Residuals & Biosolids Management Conference: 10 years of Progress and a Look Toward the Future Proceedings. Rocky Mountain Water Environment Association. Denver. 1996.
 16. Ficek, Kenneth J. "Potassium Permanganate Controls Sewage Odors." Carus Chemical Company.
 17. Giggey, M.D.; Dwinal, C.A.; Pinnette, J.R.; O'Brien, M.A. "Performance Testing of Biofilters in a Cold Climate." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
 18. Goldstein, Nora. "Longer Life for Biofilters." Biocycle Magazine, July 1999.
 19. Haines; Welch; Brandt; and Alpert. "Biosolids Composting Facility Processing and Odor Control Improvements, a Case Study." WEF/AWWA Joint Residuals and Biosolids Management Conference, 1999.
 20. Hansen, N.G.; Rasmussen, H.H.; Rindel, K. "Biological Air Cleaning Processes Exemplified by Applications in Wastewater Treatment and Fish Industry." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida, Water Environment Association. Jacksonville. 1994.

21. Hatfield, N.L.; Burnham, J.C. "Characterization of Odors in Untreated and EQS Processed Dewatered Municipal Wastewater Sludges." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
22. Haug, Roger T, "An Essay on the Elements of Odor Management" Biocycle Magazine, October, 1990 23.
23. Heist, J.A.; Hansen, N.G.; and Rasmussen, H.H. "Control of Odor Emissions from Wastewater Treatment Plants in a Bioscrubber." WEFTEC '95 68th Annual Conference & Exposition Proceedings. Volume 5. Miami Beach. 1995.
24. Heller, Kenneth J. and Heller Jon D., "Odor Control Alternatives for Wastewater Treatment Plants and Collection Systems" 1999.
25. Hentz, L.H. "The Chemical, Biological, and Physical Origins of Biosolids Emissions: A Review." (Undated)
26. Hentz, Lawrence H.; Murray, Charles M.; Thompson, Joel L.; Gasner, Larry L.; and Dunson, Jr., James B. "Odor Control Research at the Montgomery County Regional Composting Facility." Water Environment Research. Volume 64. Number 1. 1992.
27. Hentz, L.H. and Toffey, W.E. "Biosolids Air Emissions are Good Indicators of Process Conditions." 10th Annual Residuals & Biosolids Management Conference: 10 years of Progress and a Look Toward the Future Proceedings. Rocky Mountain Water Environment Association. Denver. 1996.
28. Hentz, Jr., Lawrence H.; Toffey, William E.; and Schmidt, C.E. "VOCS, HAPS and Odor Compounds: Understanding the Synergy Between Composting and Air Emissions." "Biocycle." March 1996.
29. Hentz, Jr., Lawrence H, Cassel, Alan F. "Separating Solids Solves Odor Emission Problems" Biosolids Technical Bulletin, July August, 2000.
30. Horst, William G, Matterhorn, Frank, Vold, Stephen H, Walker, John M., "Controlling Compost Odors" Biocycle Magazine, November, 1991.
31. Kolton-Shapira, R. "Biofilters in Action." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
32. LeBeau, A.; and Milligan, D. "Control of Hydrogen Sulfide Gas from a Wastewater Lift Station Using Biofiltration." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.

33. Lee, Jong S.; Quijano, Carlos; Hagan, David C.; and Raben, Craig A. "Comprehensive Odor Control System Design is Key to Wastewater Treatment Plants Near Residential Areas." WEF 1997 Control of Odors and VOC Emissions Specialty Conference. Houston.
34. Lutz, M.P.; Davidson, S.J.; and Stowe, D.W. "Control of Odor Emissions at the Littleton/Englewood Wastewater Treatment Plant." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
35. McDonald, H.S.; Clinton, T.A.; Demir, J.; Bertolero, A.M.; and Bailey, J.P. "Reducing Odor/VOC Emissions and Pilot Testing of High Performance Carbon and a Hydrogen Peroxide Mist Tower." WEFTEC '95 68th Annual Conference & Exposition Proceedings. Volume 5. Miami Beach. 1995.
36. McGinley, C.M.; and Mann, J. "International Standard Methods of Olfactometry and Associated Methods Used by Major Sewerage Districts for the Assessment of Stationary and Ambient Odors." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
37. Murray, Charles M. Thompson, Joel L., Ireland, James S., "Process Control Improvements at Composting Sites" Biocycle Magazine, December, 1991 38.
38. Nelson, M. Goff; and Utter, S. "Reduction of Offensive Odors Through Biofiltration – A Case Study." 10th Annual Residuals & Biosolids Management Conference: 10 years of Progress and a Look Toward the Future Proceedings. Rocky Mountain Water Environment Association. Denver. 1996.
39. Nowak, Mickey J. "Fast-Track Odor Control: A Chemical Solution Stifles Odors, Neighbor's Complaints at Regional Treatment Plant." "Operations Forum." Volume 10. Number 6. August 1996.
40. Ostojic, N., O'Brien, M., "Control of odors from sludge composting using wet scrubbing, biofiltration and activated sludge treatment." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
41. O'Brian, Joseph E. "Design for Change." "Operations Forum", WEF, July 1999.
42. Pisarczyk, Kenneth S. and Rossi, Laurie A. "Sludge Odor Control and Improved Dewatering with Potassium Permanganate." Presented at the 55th Annual Conference of the Water Pollution Control Federation. St.Louis, Missouri. 1992.
43. Pisotti, D.A. "Evaluation and Comparison of Biofiltration and Conventional Odor Control Technologies." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.

44. Ponte, Manual, P.E. "A Survey of OdorControl Techniques Being Utilized for Composting and Chemical Stabilization of Biosolids." The 4th Joint WEF & AWWA Conference Biosolids & Residuals Management. Kansas City. 1995.
45. Porter, R.C., Hoydysh, W.G., Barfield, E.T."Odors: Demonstrating Compliance at Publicly-Owned Treatment Works." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
46. Richardson, B. "Automated Control of Hydrogen Peroxide in Odor Control Technology." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
47. Rosenfeld, P., "Characterization, Quantification, and Control of Odor Emissions from Biosolids Application to Forest Soil." Ph.D. Dissertation.University of Washington, Seattle, WA.1999.
48. Yonkers Joint WWTP. Process compatibility testing D. Odor. In Specifications for Furnishing and Delivering Liquid Emulsion type polymer (40-50 percent active) for Centrifuge dewatering of sludge. Yonkers Joint SSTP,Ludlow Dock, South Yonkers, NY. 1997.
49. Rudolph, Donald J., P.E. "Solution to Odor Problem Gives Unexpected Savings." Carus Chemical Company. 1992.
50. Schmednecht, D.A.; Sereno, D.J.; and Haug, R.T. "Optimizing Chemical Odor Scrubbers: ORP vs. Chlorine Concentration." WEFTEC '95 68th Annual Conference & Exposition Proceedings. Volume 5. Miami Beach. 1995.
51. Schiffman, S.S, Walker, J.M., Dalton, P. Lorig, T.S., Raymer, J.H., Shusterman, D., Williams, C.M. "Potential Health Effects of Odor from Animal Operations, Wastewater Treatment, and Recycling of Byproducts" Journal of Agromedicine, November or December, 2000.
52. Singleton, B.; Kant, W.; Rosse, P.; Centanni, F.; and Lanzon, D. "H2S and VOC Removal Using a Modular Design Biofilter." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
53. Singleton, B.; and Milligan, B. "Removal of H2S, Methyl Mercaptan, Dimethyl Sulfide with Biofiltration." WEFTEC '95 68th Annual Conference & Exposition Proceedings. Volume 5. Miami Beach. 1995.
54. Solomon, M. "Soil Filter Beds: The West Coast Experience." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
55. Stillwell, S.A.; Hans, D.E.; and Katen, P.C., "Biological Scrubbing of Foul Air in

- Activated Sludge Treatment Reduces Odors and ROGs from Headworks and Primary Clarifiers." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
56. Switzenbaum, Michael S., Moss, Lynne H., Epstein, Eliot, Pincince, Albert B. 1997. Water Environment Research Foundation Defining Biosolids Stability: A Basis for Public and Regulatory Acceptance Project 94-REM-1.
 57. Toffey, William, Presentation at the 1999 Biosolids Tekcon, PWEA, State College, PA.
 58. Torres, E.M.; Devinny, J.; Basrai, S.; Stolin, B.; and Webster, T. "Study of Feasibility of Biofiltration to Control VOC and Odorous Emissions from Wastewater Treatment Plants." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
 59. Turk, A.; Mozaffari, J.; and Mahmood, K. "Caustic-Impregnated vs Ammonia-Injected Activated Carbon for Odor Control." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.
 60. USEPA and USDA "A Guide for Recommended Practices for Field Storage of Biosolids and Other Organic By-products Used in Agriculture and Soil Resource Management." Draft 2000.
 61. Vaith, K.; Cannon, M.; and Heydon, J. "Comparison of Packed Tower Scrubbers, Mist Scrubbers, and Biofilters for Hydrogen Sulfide Scrubbing." WEFTEC '95 68th Annual Conference & Exposition Proceedings. Volume 5. Miami Beach. 1995.
 62. Vella, P.A. "Improving Odors, Dewatering, and Incineration of Biosolids with Chemical Oxidation." 10th Annual Residuals & Biosolids Management Conference: 10 years of Progress and a Look Toward the Future Proceedings. Rocky Mountain Water Environment Association. Denver. 1996.
 63. Walker, John M., "Control of Composting Odors" Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects" Published by Ohio Agricultural Research and Development Center, The Ohio State University, Wooster, Ohio (undated).
 64. Walker, John M., "Fundamentals of Odor Control" Biocycle Magazine, September, 1991.
 65. WEF MOP 24 "Septage Handling." Chapter 7 Odor Control, 1997.
 66. Williams, T.O. "Biofiltration for Control of Odorous Emissions & VOCs from Wastewater & Sludge Processing Facilities." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.

67. Wolstenholme, P., Piccolo, S., Finger, R., Yee, S., Endres, J. "Comprehensive Odor and VOC Performance Tests on Biofilters." Odor and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities Proceedings. Florida Water Environment Association. Jacksonville. 1994.

68. Wu, Nerissa, "Using Odor Modeling to Evaluate Odor Control and Improve Public Acceptance", 14th Annual Residuals and Biosolids Management Conference, WEF, Boston, MA 2000

INFORMACION ADICIONAL

Post Buckley Schuh & Jernigan, Inc.
Larry Hentz, V.P. Wastewater Program
Manager
One Town Center, Suite 302
4201 North View Drive
Bowie, MD 20716

National Biosolids Partnership
Peter S. Machno, Ph.D.
601 Wythe Street
Alexandria, VA 22313

Steve T. Welch
Assistant Executive to the Director
University Area Joint Authority
1576 Spring Valley Road
State College, PA 16801

U.S. EPA,
John Walker
Mail Code 4204

401 M St., S.W.
Washington, DC 20460

City of Los Angeles
Ray Kearney
12000 Vista Del Mar
Playa Del Rey, CA 90293

Para mayor información, contactarse con:

Municipal Technology Branch, U.S. EPA
Mail Code 4204,
200 Pennsylvania Avenue, NW
Washington, D.C., 20460

