

Anexo No.3

**Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico – RAS
Título E - TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Fichas de tecnologías de tratamiento de lodos

- 1.L Deshidratación de lodos con equipos electromecánicos
- 2.L Digestión aeróbica de lodos
- 3.L Digestión anaeróbica de lodos
- 4.L Espesador de lodos por gravedad
- 5.L Espesamiento de lodos por flotación con aire disuelto
- 6.L Estabilización alcalina de lodos
- 7.L Lechos de secado de lodos
- 8.L Compostaje de lodos
- 9.L Lombricompostaje de lodos

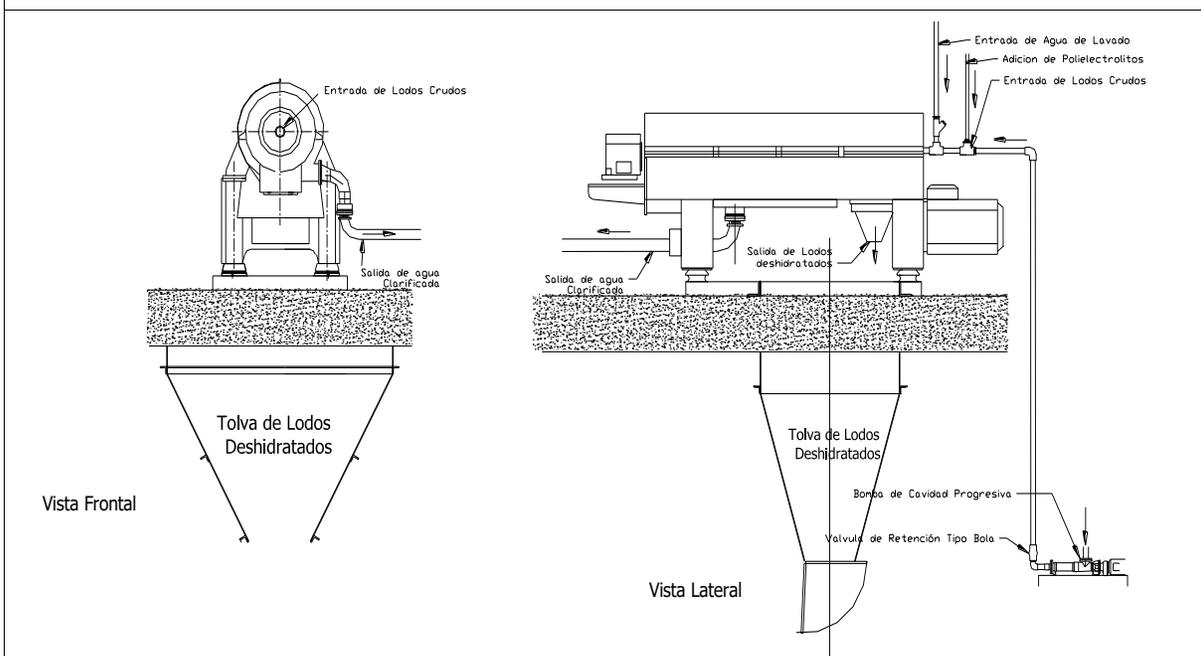
1 - L	FICHA TÉCNICA	DESHIDRATACION DE LODOS CON EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS
Descripción general del sistema		
<p>Estos equipos permiten acelerar el proceso de separación de las fases de agua y sólidos mediante mecanismos tales como la centrifugación y la filtración, y reducir rápidamente el contenido de agua de los lodos, dándole a estos una consistencia pastosa que facilita su transporte y manipulación</p>		
<p>Usualmente se requiere la adición de químicos flocculantes para la deshidratación de los lodos, que generalmente consisten en polielectrolitos. La dosis debe ser cuidadosamente controlada con el fin de mantener el desempeño óptimo del proceso. El agua extraída del proceso de deshidratación es generalmente reciclada a la entrada del sistema de tratamiento.</p>		
<p>A continuación, se describen varios tipos de equipos de deshidratación que existen en el mercado.</p>		
<p>Deshidratadora Centrífuga</p>		
<p>Este equipo permite acelerar la deshidratación del lodo, imprimiéndole a éste una rotación a gran velocidad, la cual genera fuerzas centrífugas que agilizan la separación de las fases líquidas y sólidas.</p>		
<p>El agua es expulsada por la periferia, mientras que un tornillo sin fin mueve los lodos deshidratados hacia el extremo, a través de la abertura localizada allí. A continuación, un tornillo o una banda transportadora externa los transfiere hacia un área de acopio.</p>		
<p>La separación del agua tiene lugar a través del cilindro del rotor, y sale de éste a través de diques de placa ajustables. El líquido clarificado se evacua a través de un ducto situado en la parte inferior, que se conecta a una tubería que lo retorna a las lagunas de estabilización. El panel de control y puesta en marcha permite arrancar y controlar el funcionamiento del decantador.</p>		
<p>Existen variantes de tipo tazón con eje vertical, o tambor con eje horizontal, apropiadas para caudales de lodos más pequeños.</p>		
<p>Filtros Prensa</p>		
<p>El filtro prensa está constituido por una serie de placas verticales con escasa separación entre ellas, y que están revestidas con filtros permeables. Una bomba alimentadora de alta presión llena este espacio entre placas, las cuales se juntan mediante una acción mecánica, forzando a que el agua salga a través de éstas. Posteriormente se descarga de la torta de lodos manualmente. El proceso del filtro prensa es una operación secuencial, donde la acción de apertura y cierre de las placas es generalmente automática. Una variante reciente tiene un proceso de compresión neumático, consistente en placas con membranas que se expanden con la entrada de aire comprimido y presionan la torta de</p>		

1 - L	FICHA TÉCNICA	DESHIDRATACION DE LODOS CON EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS
--------------	--------------------------	---

lodos. Esto produce una torta con un mayor contenido de sólidos.

Filtros Banda

Consisten en una banda sin fin que se mueve continuamente. Mediante una caja de distribución colocada en un extremo se alimenta la banda con el lodo, que pasa entre unos rodillos ubicados en serie, los cuales tienen diámetros que decrecen gradualmente de tal forma que se ejerce presión sobre estos lodos, y mientras el agua sale a través de las bandas, la torta de lodos deshidratados sale al final de la banda. En algunos diseños, se usan pistones hidráulicos para incrementar la presión a medida que el filtro banda rota alrededor de los rodillos. La banda es lavada antes de ser alimentada nuevamente con lodo crudo. A diferencia del filtro prensa, este es un proceso continuo.



Sistemas de Pretratamiento necesarios

Los lodos generalmente deben tener un proceso de espesamiento, que aumenten los contenidos de sólidos a entre 2 y 10%, antes de entrar a los equipos de deshidratación mecánicos.

Aplicabilidad

Los equipos mecánicos de deshidratación permiten obtener una torta relativamente seca, con concentraciones de sólidos entre 20 y 35%. Debido a la complejidad de los equipos y sus necesidades de operación y mantenimiento, solo se recomienda su implementación en sistemas que atiendan más de 12000 suscriptores.

Ventajas y desventajas

Ventajas:

- La reducción de humedad permite reducir los costos de transporte y disposición final y valorizar los biosólidos producidos.

1 - L	FICHA TÉCNICA	DESHIDRATACION DE LODOS CON EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Los equipos de deshidratación mecánicos son considerablemente más compactos que los lechos de secado, que es la alternativa más utilizada. 		
Desventajas:		
<ul style="list-style-type: none"> • Los costos son sustancialmente más altos comparados con alternativas tales como lechos de secado • Los equipos de deshidratación mecánicos son relativamente complejos, y requieren personal especializado para su montaje y mantenimiento. 		
Aspectos de diseño		
<p>La selección del equipo de deshidratación se basa en el análisis de costos de transporte y disposición final de los biosólidos, o del mejoramiento del precio al cual se venden, contra los costos de inversión y operación de los equipos. En este análisis se tiene en cuenta la humedad que se obtiene con cada equipo, y los tratamientos previos que haya tenido, que influyen en el proceso de deshidratación y la calidad del biosólido para el uso previsto.</p>		
<p>Los filtros prensa son los que alcanzan mayor concentración de sólidos en la torta, seguidos por los filtros banda y finalmente las centrifugas. La dosis de polímero para un lodo dado, depende de la fuerza de corte impartida por el equipo durante la floculación del lodo y por el tiempo que éste es retenido dentro del equipo. Generalmente las centrifugas requieren las mayores dosis de polímero, mientras que los filtros prensa son los que requieren las menores.</p>		
<p>Para la aplicación de polielectrolitos existen sistemas de dosificación que preparan la solución y realizan la dosificación, de acuerdo a sistemas de programación y control que pueden ser automatizados.</p>		
Rendimientos esperados		
Rendimientos de deshidratación de alrededor del 90%.		
Generación de efectos		
<p>Por ser sistemas cerrados, la emisión de olores es reducida. Los motores que accionan los equipos por lo general tienen potencias moderadas y no tienen importantes emisiones de ruidos.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Los equipos de secado de lodos reducen notablemente las necesidades de personal dedicado a la manipulación de lodos y biosólidos, pero requieren actividades de ajuste y mantenimiento por parte de personal especializado.</p>		
Referencias bibliográficas		
Valencia G. 2000. Digestión Aeróbica. CEPIS. Colombia.		
<p>Lindberg M., Y Deutsch J. 2006. <i>Comparison of Sludge Digestion Methods for High Organic Hanford Tank. Hanford Group, Inc. And the U.S. Department of Energy. Hanford Group. Estados Unidos.</i></p>		
<p>Izrail T. <i>Technological Improvements for the Aerobic Digestion of Sludge. Water & Wastes Digest. Estados Unidos.</i></p>		

1 - L	FICHA TÉCNICA	DESHIDRATACION DE LODOS CON EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS
<p>Barbusinski K., y Filipec K. 2002. <i>Aerobic Sludge Digestion in the Presence of Hydrogen Peroxide and Fenton's Reagent. Polish Journal of Environmental</i>. Estados Unidos.</p> <p>Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Ed.4ª AECOM Press & McGraw Hill Professional</i>. Estados Unidos.</p>		

2 - L

FICHA
TÉCNICA

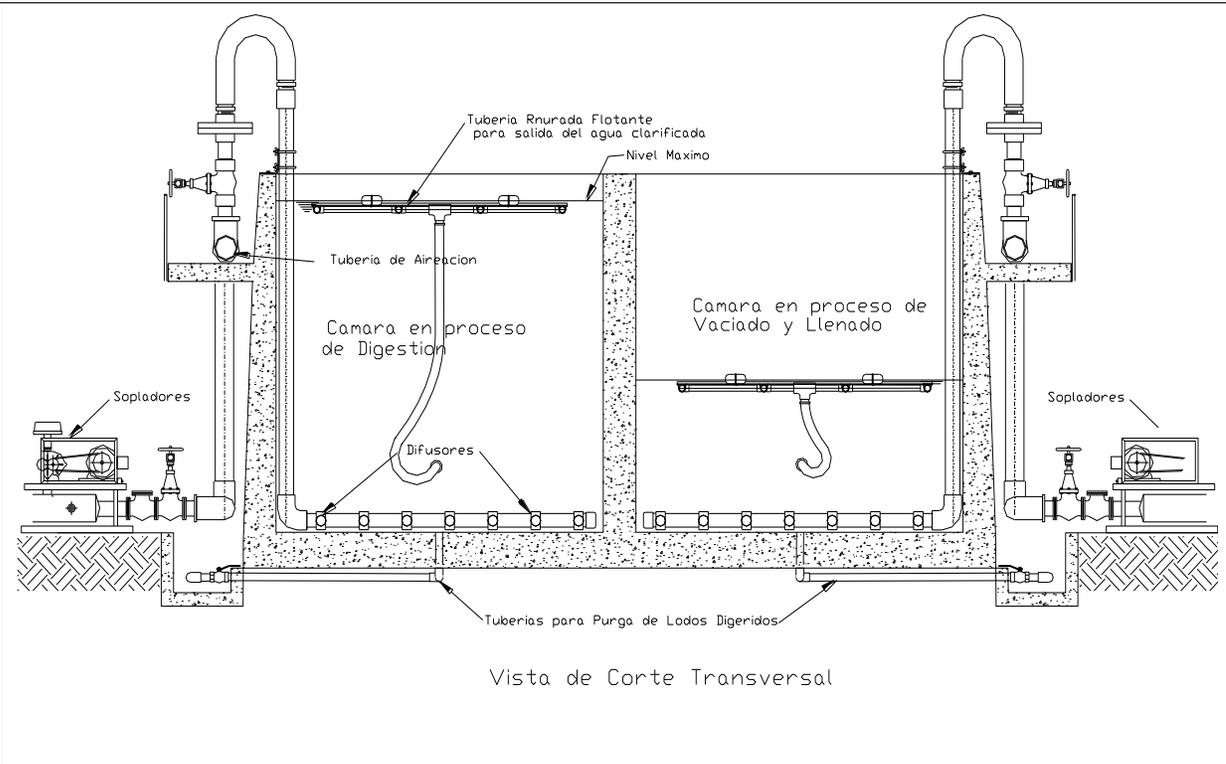
DIGESTION AEROBICA DE LODOS

Descripción general del sistema

Consiste en la degradación biológica de la materia orgánica presente en el agua residual gracias a la actividad microbiológica en condiciones aerobias. El proceso es similar al de lodos activados con aireación extendida, en la cual se promueve la prelación entre los mismos microorganismos para reducir su volumen. Los lodos tratados por este sistema deben ser deshidratados en otros procesos.

Este proceso se puede realizar mediante un digestor de flujo continuo, o por un sistema secuencial tipo SBR. El digestor de flujo continuo consiste en un tanque donde se realiza el proceso de aireación, seguido de un sedimentador donde se separa el agua clarificada de los lodos, los cuales son retornados al digestor o salen hacia un sistema de deshidratación.

En el digestor secuencial, se alternan en un tanque procesos de aireación con decantación. Al final de esta última se extraen los lodos por una salida de fondo y el agua clarificada por una salida cerca de la superficie. A diferencia del proceso continuo, en el proceso secuencial se pueden tener fases anóxicas para remover nutrientes, y es posible ajustar el suministro de oxígeno a las necesidades, las cuales varían de acuerdo a la etapa de tratamiento que se desarrolla, mediante un sistema de automatización que prende y apaga los difusores para mantener el oxígeno disuelto en un rango. El OD se mide en oxidímetros en línea y envía la señal a un PLC para prender o apagar sopladores. El proceso de digestión toma de 10 a 20 días, por lo cual generalmente se requieren varios tanques para poder llevar a cabo los procesos completos en cada uno antes de volverlo a cargar. Esto depende también de la frecuencia de purga de lodos que se tenga en la planta de tratamiento.



2 - L	FICHA TÉCNICA	DIGESTION AEROBICA DE LODOS
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
Se recomienda el tránsito de los lodos por un espesador para obtener concentraciones de sólidos de alrededor de 2.5%.		
Aplicabilidad		
La digestión aeróbica se aplica principalmente en pequeñas plantas de tratamiento, especialmente en zonas suburbanas cuando no existe mucho espacio y se quiere evitar la emisión de olores. Se recomienda para sistemas que atiendan a partir de 2500 suscriptores.		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de operación. • No produce olores ofensivos. • Hay una reducción sustancial del volumen de lodos. • Tienen menor inversión de capital que el digestor anaeróbico. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los costos de energía son relativamente altos. • La reducción de lodos es inferior al del digestor anaeróbico. • Los lodos producidos son difíciles de sedimentar. 		
Aspectos de diseño		
<p>El proceso de digestión aeróbica de lodos tiene 3 etapas. En la primera los sólidos suspendidos volátiles son solubilizados por enzimas y otros mecanismos. En la segunda etapa estos sólidos son consumidos por los microorganismos, dando origen a un aumento de éstos y de la materia celular, y el consumo de oxígeno se incrementa considerablemente.</p> <p>Cuando los sólidos volátiles escasean, especialmente el carbono orgánico, se llega a la tercera etapa, donde los microorganismos se consumen entre sí y se puede hablar de una auto oxidación. En esta etapa se puede eliminar casi todo el carbono orgánico, excepto el contenido en las membranas celulares. En esta etapa el oxígeno requerido se reduce principalmente por la respiración endógena. Los lodos activados de reactores aeróbicos están compuestos principalmente por material celular y la duración de la primera etapa es reducida.</p> <p>Este proceso es similar al de un tratamiento de lodos activados por aireación extendida, en el cual se tiene una gran cantidad de biomasa, que puede llegar a 2.5% contra poco más de 0.5% en estos.</p> <p>En el diseño de la aireación se debe tener en cuenta la cantidad de oxígeno que se suministra al digestor para los procesos de degradación de la materia orgánica y de respiración endógena, y que es función de la cantidad de sólidos volátiles destruidos. Se estima que se necesitan 2 kg de oxígeno por kg de materia volátil destruida. Este rendimiento disminuye con temperaturas por debajo de 15°C.</p> <p>El sistema de aireación debe ser suficiente para mantener una concentración de oxígeno disueltos de 1 a 2 mg/L, y mantener los lodos en suspensión. Los tipos de aireación más</p>		

2 - L	FICHA TÉCNICA	DIGESTION AEROBICA DE LODOS
<p>utilizados son los difusores de burbuja fina y gruesa, las turbinas mecánicas y de chorro, y los sistemas combinados. Para lograr la mezcla adecuada, en los aireadores de turbina se requiere una potencia volumétrica de 0.75 a 1.5 vatios por metro cúbico, y en la aireación con difusores se requiere un caudal de aire de 20 a 40 m³/s por m³ de digestor.</p>		
<p>Usualmente se diseñan los digestores aeróbicos con tiempos de detención hidráulica de 15 días en el caso de lodos activados, y de 20 días cuando estos se mezclan con lodos primarios. Las cargas orgánicas utilizadas están entre 1.6 y 3.2 Kg de sólidos suspendidos volátiles por m³ por día, para reducciones de 35 a 50% de éstos. La cantidad de oxígeno necesario varía entre 1.6 a 1.9 kg por kg de DBO removido en lodos primarios, y puede llegar a cerca de 2.3 Kg cuando se requiere remover nitrógeno.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>El proceso de digestión aeróbica permite reducir los sólidos volátiles entre un 35 y 50%.</p>		
Generación de efectos		
<p>El sistema de digestión aeróbica no tiene emisión de olores, y reduce la producción de lodos. Puede haber considerable ruido debido al uso de sopladores.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Las actividades de operación y mantenimiento dependen del tipo de digestor utilizado. En el caso de un digestor de flujo continuo las actividades se relacionan con la supervisión de los procesos y el mantenimiento de los equipos hidráulicos y neumáticos. En un digestor secuencial se requiere un importante grado de control y automatización.</p>		
Referencias bibliográficas		
<p>Valencia G. 2000. Digestión Aeróbica. CEPIS. Colombia.</p> <p>Lindberg M., Y Deutsch J. 2006. <i>Comparison of Sludge Digestion Methods for High Organic Hanford Tank. Hanford Group, Inc. And the U.S. Department of Energy. Hanford Group.</i> Estados Unidos.</p> <p>Izrail T. <i>Technological Improvements for the Aerobic Digestion of Sludge. Water & Wastes Digest.</i> Estados Unidos.</p> <p>Barbusinski K., y Filipec K. 2002. <i>Aerobic Sludge Digestion in the Presence of Hydrogen Peroxide and Fenton's Reagent. Polish Journal of Environmental.</i> Estados Unidos.</p> <p>Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Ed.4ª AECOM Press & McGraw Hill Professional.</i> Estados Unidos.</p>		

3 - L

FICHA
TÉCNICA

DIGESTIÓN ANAEROBICA DE LODOS

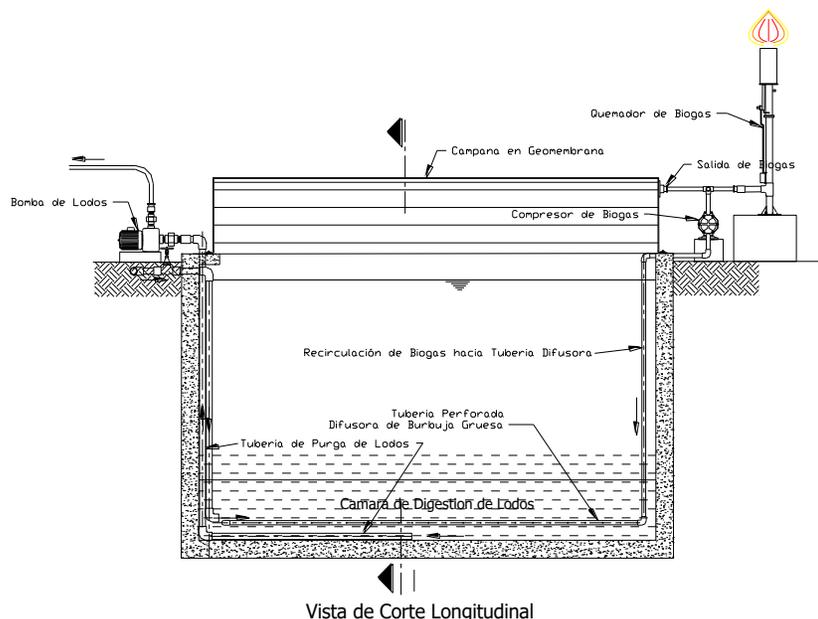
Descripción general del sistema

El lodo crudo procedente de procesos aeróbicos contiene una cantidad considerable de compuestos orgánicos, que al descomponerse generan malos olores. El propósito de la digestión de lodos es reducir su volumen degradando anaeróbicamente estos compuestos, y mitigar los problemas de patógenos y malos olores durante su manipulación y disposición final.

La digestión anaerobia es un proceso bacteriano que se realiza en ausencia del oxígeno. El proceso puede ser de digestión mesofílica cuando la temperatura está en el rango de 25 a 37°C por un periodo de 15 a 35 días, o termofílica en la cual el lodo se fermenta en tanques en una temperatura mínima de 55°C durante alrededor de 7 días. Este tiempo de retención más corto implica una reducción en el tamaño de los tanques, pero consume energía necesaria para calentar el lodo. Si la temperatura cae por debajo de 25°C, la eficiencia del proceso declina de forma importante. La temperatura alcanzada en la digestión termofílica produce una reducción substancial de patógenos.

La digestión anaerobia genera biogás, constituido en aproximadamente dos terceras partes por metano, que se puede utilizar como fuente de calor, especialmente para la digestión termofílica. Para su utilización como carburante de motores se requiere su lavado y sacado, con el objeto de eliminar constituyentes tales como anhídrido sulfuroso y vapor de agua.

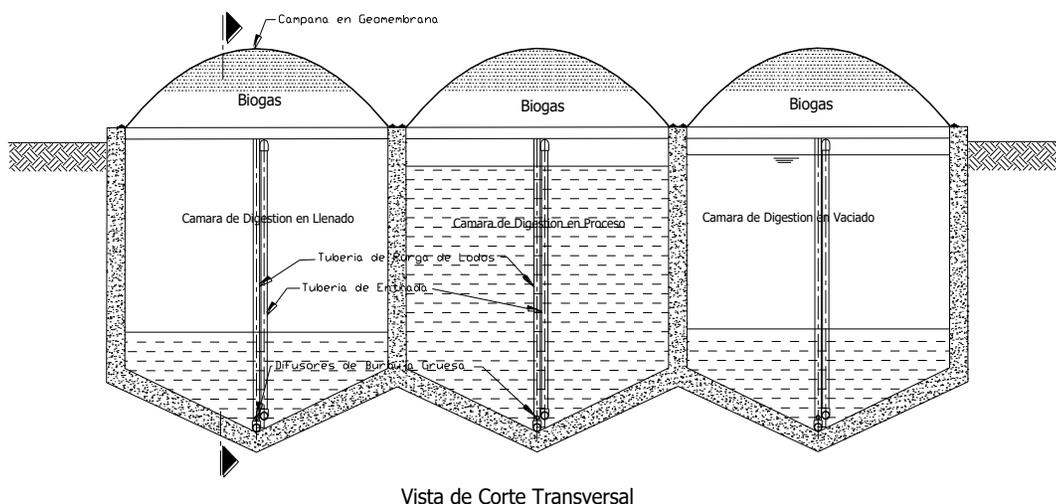
El lodo digerido a menudo contiene compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos, principalmente metales pesados, además de patógenos, por lo cual se requiere medidas sanitarias especiales para su manejo.



3 - L

FICHA
TÉCNICA

DIGESTIÓN ANAEROBICA DE LODOS



Sistemas de Pretratamiento necesarios

Este proceso se aplica a lodos crudos, sin tratamientos previos.

Aplicabilidad

La digestión anaeróbica es apropiada para lodos de origen orgánico, principalmente los que proceden de sistemas de lodos activados, y se recomienda para sistemas que atiendan de 1000 usuarios en adelante.

Ventajas y desventajas

Ventajas:

- El lodo digerido es más manejable, tiene menor volumen y es más apropiado para su utilización en el mejoramiento agrológico de los suelos.
- El metano generado es un subproducto valioso.

Desventajas:

- El proceso de digestión toma un largo plazo, de hasta 30 días, lo que implica una estructura de grandes dimensiones.

Aspectos de diseño

La estructura donde se lleva a cabo este proceso generalmente consiste en un tanque cerrado, con fondo y cubierta en forma cónica, de tal forma que se facilite la recolección tanto de los lodos digeridos como del biogás. En ocasiones tiene dispositivos mecánicos para facilitar la recolección de lodos digeridos, o para obtener una mezcla completa que acelere el proceso de digestión. Los motores eléctricos pueden ocasionar explosiones del metano, por lo cual en muchas ocasiones se prefiere mezclar el lodo haciendo recircular el metano hacia el digestor a través de difusores de burbuja gruesa.

3 - L	FICHA TÉCNICA	DIGESTIÓN ANAEROBICA DE LODOS
<p>La digestión anaeróbica mesofílica puede alcanzar una reducción de sólidos volátiles en los lodos de entre 35 y 50%, y una producción de biogás de alrededor de 1 m³ por Kg de este material eliminado, el cual contiene de 60 a 70% de metano y de 30 a 40% de dióxido de carbono. La digestión termofílica puede remover hasta un 70% de este material. Estos resultados se disminuyen con la presencia de sustancias tóxicas inhibidoras. Para obtener condiciones termofílicas es posible utilizar la combustión del biogás generado por el mismo reactor.</p>		
<p>Mientras el tratamiento mesofílico usualmente asegura la remoción de más del 99% de coliformes (una reducción de 2 órdenes de magnitud), el tratamiento termofílico generalmente remueve más del 99.9999% (una reducción de 6 órdenes de magnitud). La alcalinidad se mantiene entre 2 y 6 gr/L para llevar a cabo los procesos de digestión anaeróbica con un pH cercano a 7.</p>		
<p>Debido a que la eficiencia del tratamiento y la calidad de los biosólidos están estrechamente relacionadas con la temperatura, se recomienda que para mejorar su aislamiento y reducir las pérdidas de calor la estructura esté enterrada parcial o totalmente, o que esté revestida de algún material aislante.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>La digestión anaeróbica puede alcanzar una reducción de sólidos volátiles en los lodos de entre 35 y 70%.</p>		
Generación de efectos		
<p>Debido a que se trata de un proceso anaeróbico, se genera biogás que puede ser utilizado como fuente de energía, lo mismo que olores, que deben ser controlados.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Las actividades de operación y mantenimiento en estos sistemas, se orientan principalmente a la purga periódica de lodos digeridos y al manejo del biogás. La purga se hace cuando se hayan alcanzado las metas de remoción de carga orgánica carbonácea. En esta operación se conducen los lodos decantados en el fondo hacia el sistema de deshidratación mediante bombeo o gravedad.</p>		
Referencias bibliográficas		
<p>Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Ed.4ª AECOM Press & McGraw Hill Professional</i>. Estados Unidos.</p> <p>Romero R., Jairo. 2002. <i>Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Ed.2ª Escuela Colombiana de Ingeniería</i>. Colombia.</p> <p>Petter L. 2007. <i>Quantifying Sludge Production in Municipal Treatment Plants. WEFTEC</i>. Estados Unidos.</p> <p>Noya A., et al. <i>Digestion Anaerobia Termofílica de Lodos de Desecho para la Producción de Biosólidos Clase A</i>. www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/tinaje.pdf. Estados Unidos.</p>		

3 - L	FICHA TÉCNICA	DIGESTIÓN ANAEROBICA DE LODOS
<p>Unidos.</p> <p>Lindberg M., Y Deutsch J. 2006 . <i>Comparison of Sludge Digestion Methods for High Organic Hanford Tank. Hanford Group, Inc. And the U.S. Department of Energy. Hanford Group.</i> Estados Unidos.</p> <p>Ramírez E., et al. 2006. Transformaciones en la Digestión Alcalina de Lodos Residuales Municipales”. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil.</p> <p>Zoltán G. y László T. <i>Reinforced Concrete Sludge Digester.</i> http://fib.bme.hu/news/cikk/v00_en_full/cikk_00en-3.htm. Estados Unidos.</p> <p>Lothar M. 1999. Acondicionamiento y Desaguado. Filtraciones al Vacío. Filtros Prensas. Lechos de Secado. CEPIS. Colombia.</p>		

4 - L

FICHA
TÉCNICA**ESPEADORES DE LODOS POR GRAVEDAD****Descripción general del sistema**

El espesador consiste en un tanque donde se decanta el lodo, el cual está provisto de facilidades para su remoción. Para que el espesamiento tenga lugar, se deben tener condiciones de calma dentro del espesador.

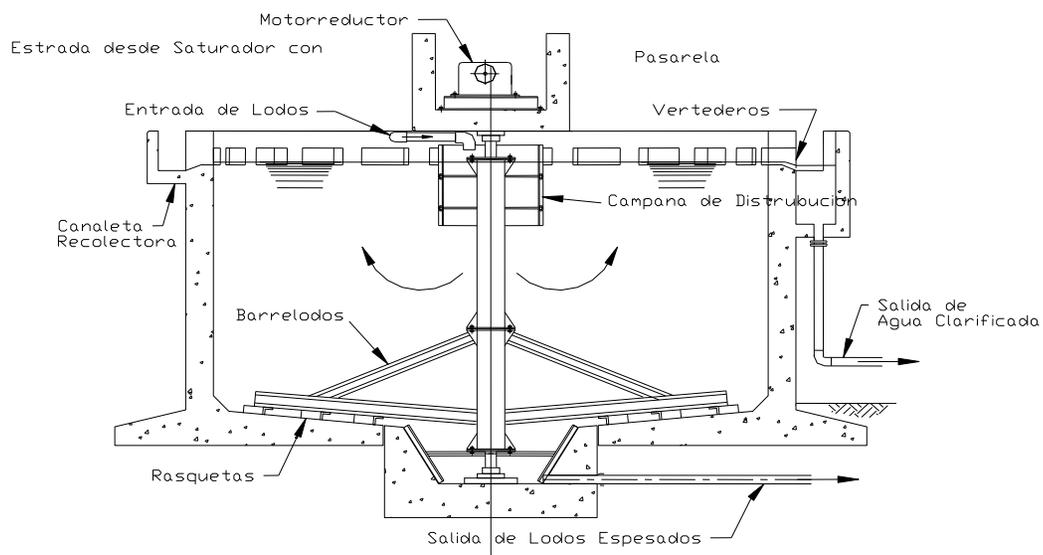
Esta estructura generalmente consiste en un tanque circular con el fondo cónico. El flujo entra por el centro del tanque, donde se disipa su energía, sale por rebose a través del vertedero perimetral. Se coloca una pantalla periférica aguas arriba de éste, para remover espumas y grasas flotantes de la superficie del tanque y evitar que se escapen por el vertedero.

Los lodos primarios sedimentados deben ser removidos rápidamente del fondo de los tanques para evitar el desarrollo de las condiciones sépticas, donde el ascenso de las burbujas de metano produce mezcla que interfiere con la sedimentación.

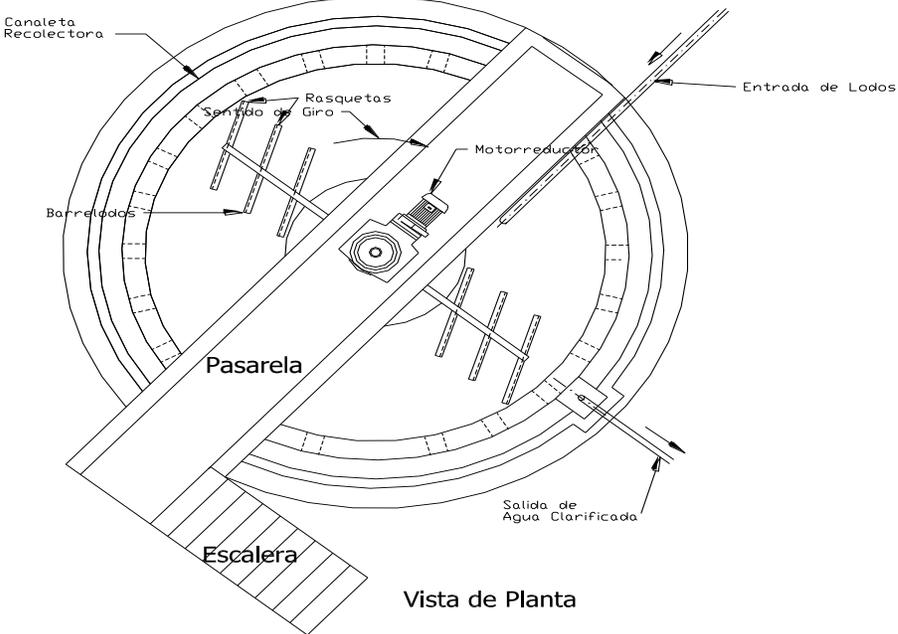
Para ello se tienen dos alternativas. La primera de ellas es darle al fondo del tanque una forma cónica, con paredes de alta pendiente, de tal forma que los lodos decantados se concentren por gravedad en el centro, para de allí ser evacuados continuamente hacia sus estructuras de procesamiento.

La segunda alternativa es la colocación de un barrelos mecánico, encargado de conducir los lodos sedimentados hacia la tolva ubicada en el centro del piso inclinado del tanque.

Sobre el barrelos generalmente se encuentra un puente que facilita el acceso a la superficie del tanque, y el barredor de espumas, que es una pantalla superficial que arrastra estos residuos hacia una tolva que los recircula hacia el sistema de tratamiento de agua.



Vista de Corte Transversal

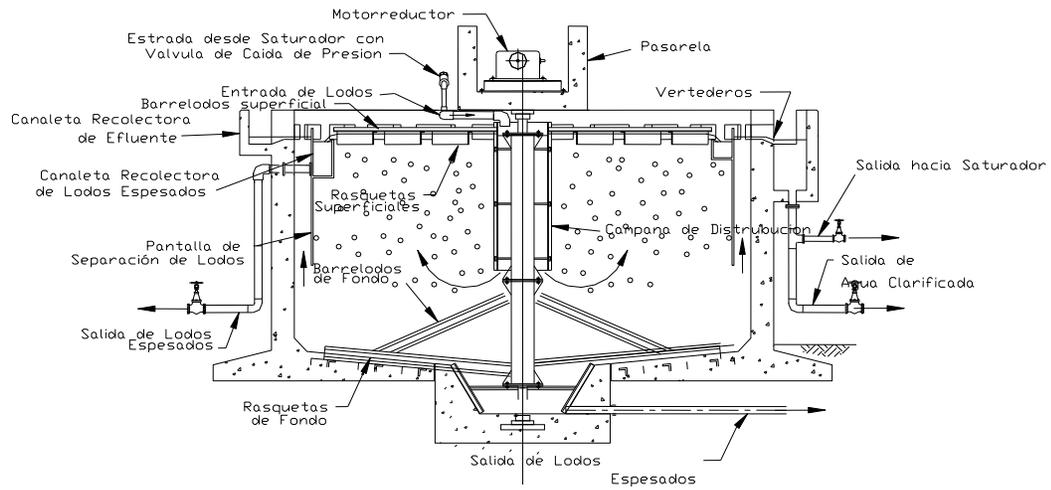
4 - L	FICHA TÉCNICA	ESPEADORES DE LODOS POR GRAVEDAD
 <p style="text-align: center;">Vista de Planta</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
Este proceso se aplica a lodos crudos, sin tratamientos previos.		
Aplicabilidad		
El espesador de lodos se utiliza para aumentar la densidad y reducir el volumen de estos antes de entrar a otras fases del tratamiento y disposición, y se basa en la capacidad de las partículas de sólidos suspendidos que conforman el lodo, de decantarse por acción de la gravedad. Se recomienda para sistemas que atiendan de 1000 usuarios en adelante.		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Al remover los lodos concentrados en forma continua, se minimiza la emisión de olores. • El aumento de los sólidos suspendidos implica una importante reducción de la cantidad de lodos a manejar. • El proceso es mecanizado, lo cual reduce los costos de mantenimiento. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El grado de mecanización implica mayores costos iniciales. 		
Aspectos de diseño		
El espesador por gravedad consiste generalmente en un tanque circular provisto de un fondo cónico, con una pendiente mínima del 10% para que los lodos decantados fluyan hacia la poceta de recolección situada en el centro. Mediante canaletas perimetrales alrededor de la superficie del espesador se recoge el efluente, que irá a la cabecera de la planta de tratamiento. En ocasiones este efluente contiene un sobrenadante formado por natas y grasas.		

4 – L	FICHA TÉCNICA	ESPEADORES DE LODOS POR GRAVEDAD
<p>En el diseño del tanque, se utilizan tiempos de retención menores a 24 horas. Las cargas máximas de sólidos pueden variar entre 100 y 150 kg/m² diarios para lodos primarios, y entre 20 y 40 kg/m² diarios para los procedentes de lodos activados. La carga hidráulica puede variar entre 1.40 m³/m²/h para lodos primarios, y 0.45 m³/m²/h para los procedentes de lodos activados. Las concentraciones de lodos espesados alcanzadas oscilan entre 8 y 10 g/L para lodos primarios, y entre 2 y 3.5 g/L para los procedentes de lodos activados. Para un espesamiento efectivo se recomienda una carga de superficial de lodos máxima (carga diaria de sólidos dividida entre el área en planta de los tanques) de 60 kg/m².d.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>Los espesadores por gravedad aumentan la concentración de sólidos entre 1.5 y 3 veces, por lo tanto, reducen el volumen de los lodos en la misma proporción.</p>		
Generación de efectos		
<p>Debido a que se trata de un proceso anaeróbico, se genera biogás que puede ser utilizado como fuente de energía, lo mismo que olores, que deben ser controlados.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Las principales actividades relativas a operación y mantenimiento de este sistema de tratamiento, se orientan principalmente a los equipos mecánicos.</p>		
Referencias bibliográficas		
<p>Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse</i>. Ed.4^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.</p> <p>Romero R., Jairo. 2002. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Ed.2^a Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.</p> <p>Cardoso A., et al. 2004. Mejoramiento de la Calidad de Lodos Anaerobios. Influencia de la Adición de Cloruro Férrico. Revista de Ingeniería Univalle. Colombia.</p>		

5 - L

FICHA
TÉCNICA**ESPESAMIENTO DE LODOS POR FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO****Descripción general del sistema**

Este tratamiento consiste en disolver aire en el lodo crudo inyectándolo a alta presión, la cual pasa después al reactor, donde al descomprimirse el aire se generan pequeñas burbujas que ascienden lentamente, arrastrando las partículas hasta la superficie, donde un mecanismo los arrastra hacia un sistema de recolección que los envía al proceso de deshidratación y disposición.



Vista de Corte Transversal

Sistemas de Pretratamiento necesarios

El proceso de espesamiento con flotación por aire disuelto FAD (o DAF por sus siglas en inglés) se aplica a lodos resultantes tanto de procesos químicamente asistidos como a los sistemas de lodos activados, en los cuales se deben desarrollar flóculos de buenas características para facilitar su remoción.

Aplicabilidad

Este tipo de tratamiento se suele aplicar más para los lodos biológicos que para los lodos primarios. Se trata de una tecnología muy compleja y sensible, que requiere un trabajo de diseño y control importante, por lo cual solo se recomienda su implementación en sistemas que atiendan más de 12000 suscriptores.

Ventajas y desventajas

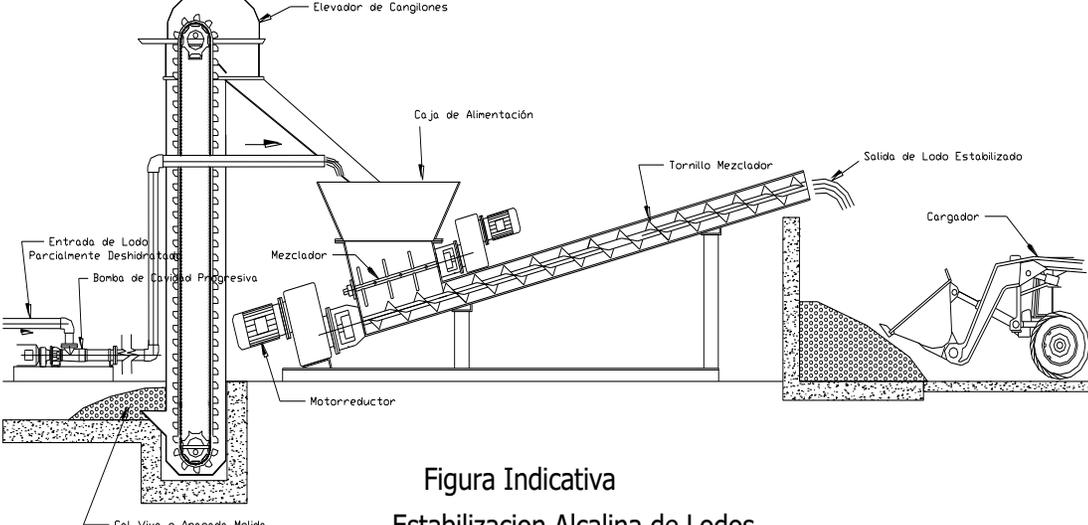
Ventajas:

- El proceso de flotación es más rápido que el de decantación por gravedad, y por lo tanto se requiere un tiempo de retención y un volumen de tanque menor.
- Los lodos flotados pueden alcanzar concentraciones superiores a los decantados debido a que están en contacto con el aire y no permanentemente sumergidos.

Desventajas

- El sistema requiere de un alto nivel de control, pues es sensible a cambios en condiciones que pueden afectar la formación de microburbujas y de flóculos de buen tamaño

5 - L	FICHA TÉCNICA	ESPESAMIENTO DE LODOS POR FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO
<ul style="list-style-type: none"> • No remueve flóculos y partículas muy pesadas, que tienden a sedimentarse a pesar de la flotación. 		
Aspectos de diseño		
<p>Usualmente, la estructura para espesado de lodos por flotación es similar a la de un espesador por gravedad. El barrelos que recoge material sedimentado está provisto de una pantalla superficial que recoge el material flotado y lo envía hacia la salida de lodos. El vertedero perimetral para la salida del agua tiene una pantalla que impide la salida de lodos flotados. Los aspectos del diseño son similares al de la decantación mediante flotación por aire disuelto, que ha sido descrito en la ficha de tratamiento de aguas residuales relativa al DAF.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>La relación de aire inyectado a sólidos varía entre 2 y 4. Las cargas superficiales de sólidos máximas son de 10 kg/m².día.</p>		
Generación de efectos		
<p>Debido a que el proceso ocurre en condiciones anaeróbicas, es susceptible de emitir malos olores.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Se trata de un proceso mecanizado, en el cual las actividades de operación son mínimas, y es importante el mantenimiento de los equipos.</p>		
Referencias bibliográficas		
<p>Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse</i>. Ed.4ª AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.</p> <p>Romero R., Jairo. 2002. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Ed.2ª Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.</p> <p>Cardoso A., et al. 2004. Mejoramiento de la Calidad de Lodos Anaerobios. Influencia de la Adición de Cloruro Férrico. Revista de Ingeniería Univalle. Colombia.</p>		

6 - L	FICHA TÉCNICA	ESTABILIZACION ALCALINA DE LODOS
Descripción general del sistema		
<p>Este tratamiento consiste en mezclar los lodos con materiales alcalinos tales como la cal con el fin de darle una textura pastosa, reducir los olores y hacerlo más apropiados para mejoramiento agrológico de suelos. Mediante este tratamiento es posible estabilizar metales pesados, y reducir sustancialmente los microorganismos tales como coliformes fecales, Salmonella y huevos de helmintos.</p>		
<div style="text-align: center;">  <p>Figura Indicativa Estabilizacion Alcalina de Lodos</p> </div>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>La adición de cal a lodos muy diluidos no permite lograr niveles de deshidratación adecuados y dificulta este proceso, por lo cual se recomienda la deshidratación parcial previa de éstos para reducir la humedad hasta por lo menos un 14%, antes de aplicar la cal. Este tratamiento puede aplicarse a lodos crudos que no hayan tenido algún proceso de deshidratación, pero la cantidad de cal a utilizar se incrementa sustancialmente.</p>		
Aplicabilidad		
<p>La estabilización alcalina de lodos es un proceso de fácil operación y que puede implantarse fácilmente en plantas de tratamiento pequeñas. Este tipo de estabilización también se suele usar como sistema complementario a los procesos de digestión cuando hay una cantidad de lodos mayor a la cantidad prevista en el diseño de las instalaciones. Se recomiendan tanto para sistemas de poca capacidad, como para aquellos que tratan aguas residuales de grandes poblaciones.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El sistema de estabilización alcalina de lodos es apropiado para todo tipo de instalaciones y clases de lodos. • Mediante estos procesos se pueden lograr mejoras sustanciales en la calidad de los lodos. Cuando estos son procedentes de aguas residuales domésticas, se puede lograr biosólidos que pueden utilizarse en cultivos, teniendo en cuenta la normativa vigente en el país. Cuando los biosólidos contienen metales se puede tener su inmovilización y evitar su impacto en el medio ambiente. 		

6 - L	FICHA TÉCNICA	ESTABILIZACION ALCALINA DE LODOS
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El costo de operación es relativamente alto debido a la gran cantidad de materiales alcalinos requerido 		
Aspectos de diseño		
<p>Mediante la estabilización alcalina del lodo se eleva el pH a valores sobre 12 durante un tiempo de unas 72 horas, con el fin de eliminar agentes patógenos, inhibir el proceso de degradación biológica de la materia orgánica, evitando así la producción de malos olores y además precipitar la mayor parte de los metales pesados presentes. Los álcalis utilizados son cal viva u óxido de calcio (CaO), cal apagada o hidróxido de calcio (Ca(OH)₂), y cenizas de horno o volantes.</p> <p>Para diseñar el proceso deben tenerse en cuenta las características del lodo, el tiempo de contacto, el pH y la temperatura, los tipos de productos químicos alcalinos y su dosis. El mezclado puede hacerse en forma manual, utilizando palas, o por medios mecánicos tales como mezcladoras de tornillo. Este proceso es fundamental para lograr un buen contacto entre lodos y álcalis. También es necesario un tiempo de contacto de al menos 2 horas suficiente para alcanzar un alto nivel de reducción de patógenos.</p> <p>La cal viva al mezclarse con el agua contenida en el lodo produce una reacción exotérmica, que eleva la temperatura de la mezcla sobre los 50° C, y contribuye a su deshidratación. Con la cal apagada también producen estos fenómenos en menor grado. Estos lodos estabilizados tienen una consistencia más pastosa que facilita su manejo.</p> <p>Usualmente se emplean dosis entre 15 y 30% en base seca en el caso de lodos parcialmente deshidratados que tengan entre 14 y 30% de sólidos. Para estabilizar lodos activados o anaeróbicos sin previa deshidratación puede requerirse hasta un 60% de base seca.</p>		
Generación de efectos		
<p>Mediante los procesos de estabilización alcalina de biosólidos se reduce la emisión de olores, pero estos pueden ocurrir durante la manipulación de los lodos.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Las actividades de operación en este proceso pueden ser bastante costosas, de acuerdo con los equipos de mezcla y manipulación utilizados, los cuales pueden ser mecánicos o manuales.</p>		
Referencias bibliográficas		
<p>Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse</i>. Ed.4ª AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.</p> <p>Romero R., Jairo. 2002. <i>Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño</i>. Ed.2ª Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.</p>		

6 - L	FICHA TÉCNICA	ESTABILIZACION ALCALINA DE LODOS
<p>Ramírez E., et al. 2006. Transformaciones en la Digestión Alcalina de Lodos Residuales Municipales”. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil.</p> <p>BIOAQUA Ltda. 2006. Determinación de dosis optima de CaO para la estabilización de lodos de PTAR`s. Chile.</p>		

7 - L	FICHA TÉCNICA	LECHOS DE SECADO DE LODOS
-------	---------------	----------------------------------

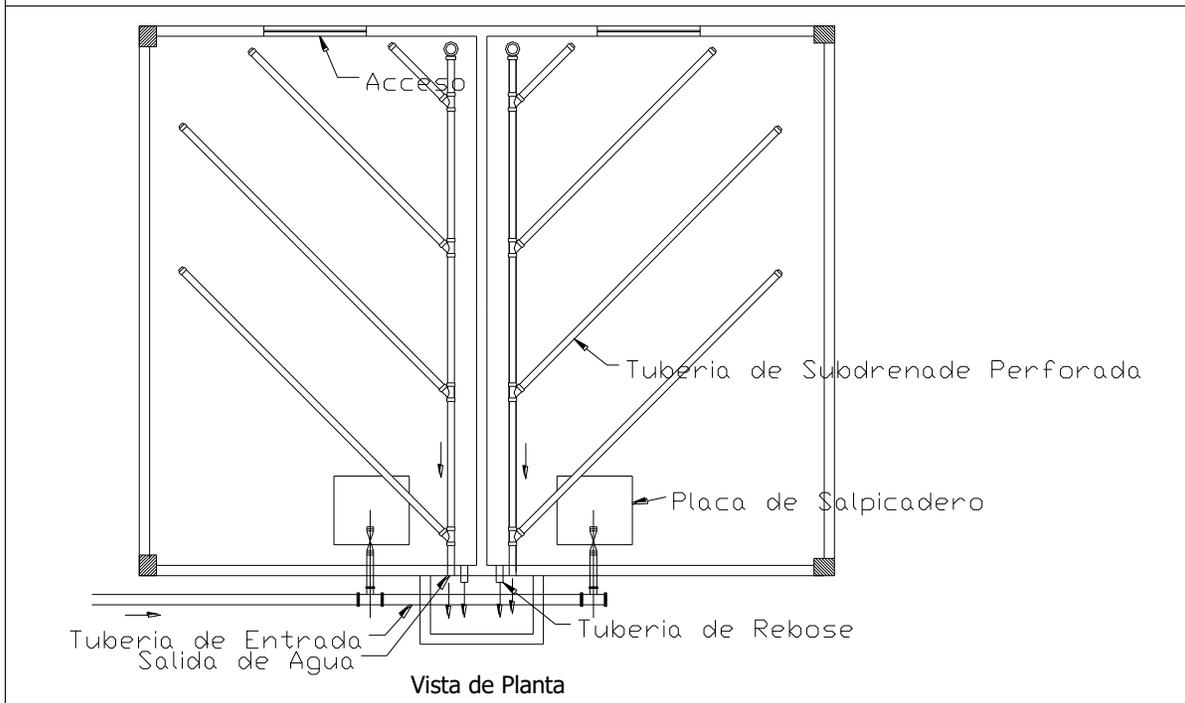
Descripción general del sistema

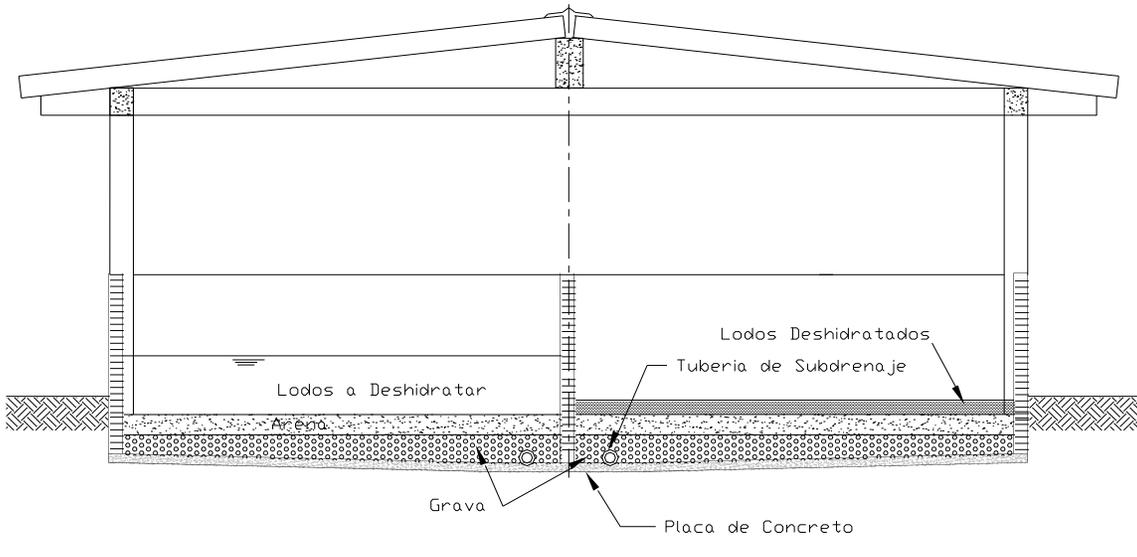
El lecho de secado consiste en una cama con una capa de arena sobre la cual se vierten los lodos crudos, y un sistema de subdrenaje para evacuar el agua filtrada. Esta estructura puede estar cubierta ya sea por un techo, o por una cubierta baja, para evitar la entrada de aguas lluvias.

El secado de lodos ocurre por la acción combinada de evaporación y de filtración hacia el sistema de subdrenaje. A medida que se secan, las capas de lodo se contraen y se agrietan. A través de las grietas se facilita la evaporación en las capas inferiores.

La duración del proceso de secado de lodos depende de las condiciones climáticas, principalmente de temperatura y viento, por lo que es recomendable efectuar esta operación en tiempo seco. Para reducir el tiempo de secado se puede utilizar cal o polímeros coagulantes tales como cloruro férrico.

Una vez que la capa de lodo se seca, adquiere una consistencia pastosa o sólida que lo hace manejable, y se retira manualmente con palas, o con equipos mecánicos tales como cargadores.



7 - L	FICHA TÉCNICA	LECHOS DE SECADO DE LODOS
 <p style="text-align: center;">Vista de Corte Transversal</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
Este sistema trata lodos crudos procedentes de cualquier sistema de tratamiento de aguas.		
Aplicabilidad		
El método de deshidratación en lechos de secado es muy usado en los países tropicales, especialmente si el clima es seco y ventoso, por ser un proceso sencillo y de bajo costo. Se recomienda para cualquier tipo de sistema, indistinto de su capacidad de tratamiento.		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se trata de un sistema sencillo, con bajos costos de inversión. • Se puede tener buen grado de deshidratación y de estabilización, debido a que cuando la humedad es suficientemente baja el aire entra al interior y permite una degradación aeróbica y el secado en menor tiempo. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El área ocupada es generalmente muy grande. • Los sistemas de manipulación de lodos y biosólidos suelen requerir mucho trabajo del personal 		
Aspectos de diseño		
Los lodos son colocados en el lecho en capas de 20 a 40 cm. Si las condiciones climáticas son favorables, el tiempo de secado para alcanzar una humedad del 60% es aproximadamente 10 a 15 días. Debe haber una placa o salpicadura en el sitio donde cae el agua en el lecho.		
Se recomienda la colocación de un techo en los lugares donde haya excesiva		

7 - L	FICHA TÉCNICA	LECHOS DE SECADO DE LODOS
<p>precipitación.</p> <p>El sistema de subdrenaje puede hacerse mediante un lecho de grava separado de la arena mediante un geotextil no tejido, en donde el agua es recogida mediante tuberías perforadas o por sifones distribuidos en la placa de fondo con rejillas a la entrada, por medio de geodrenes colocados horizontalmente, o también por sistemas de falsos fondos producidos industrialmente.</p> <p>Posteriormente, cuando haya adquirido la consistencia requerida, el lodo es removido manualmente o con equipos de cargue livianos hacia la disposición final. Cuando el lecho no tiene cubierta, debe tenerse en cuenta las precipitaciones.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>La carga de sólidos secos por metro cuadrado varía de 73 kg por año para lodos activados, a 110 kg/año para lodos de TPQA y 134 kg/año para lodos primarios.</p>		
Generación de efectos		
<p>Es un sistema abierto, donde es difícil controlar los olores.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>La operación puede ser costosa, puesto que generalmente se utilizan sistemas de manipulación de lodos y biosólidos que suelen requerir mucha mano de obra.</p>		
Referencias bibliográficas		
<p>Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Ed.4ª AECOM Press & McGraw Hill Professional</i>. Estados Unidos.</p> <p>Romero R., Jairo. 2002. <i>Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Ed.2ª Escuela Colombiana de Ingeniería</i>. Colombia.</p> <p>Romero R., Jairo. 2000. <i>Purificación del Agua. Escuela Colombiana de Ingeniería</i>. Colombia.</p> <p>Steel, E. y McGhee J. 1981. <i>Abastecimiento de Agua y Alcantarillado</i>. Gustavo Gili. Lima.</p> <p>Lothar M. 1999. <i>Acondicionamiento y Desaguado. Filtraciones al Vacío. Filtros Prensas. Lechos de Secado. CEPIS</i>. Colombia.</p>		

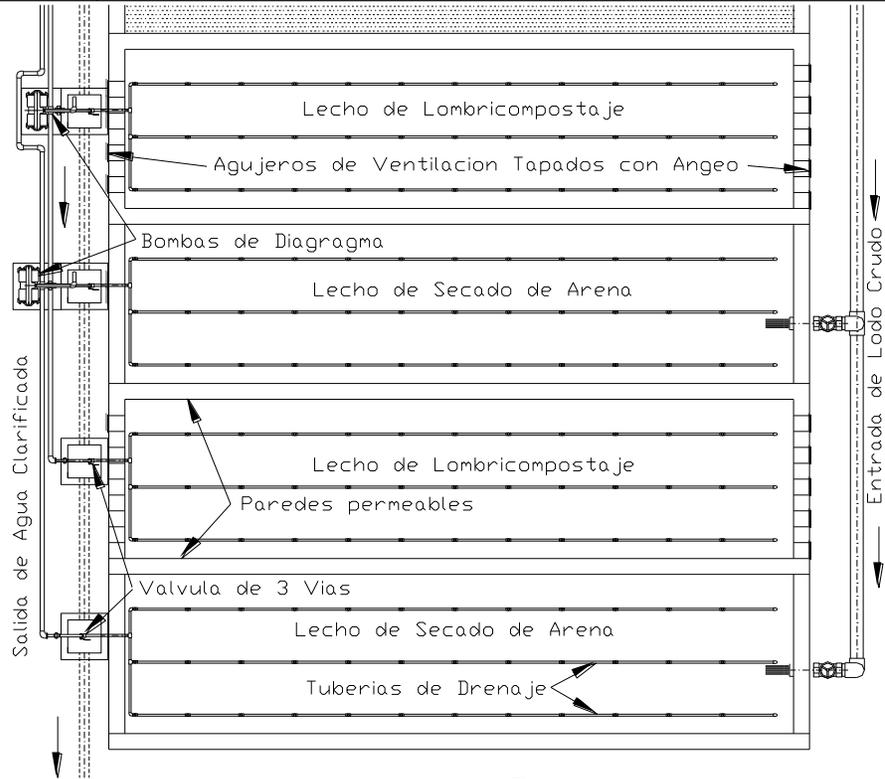
8- L	FICHA TÉCNICA	COMPOSTAJE DE LODOS
Descripción general del sistema		
<p>En el proceso de compostaje se presenta una descomposición biológica de la materia orgánica en condiciones de temperaturas termófilas, debido a la generación de energía calorífica de origen biológico. Esto redonda en la evaporación de una parte importante de la humedad, la eliminación de patógenos y la estabilización de los biosólidos, los cuales pueden ser utilizados en la agricultura y la recuperación de suelos.</p>		
<p style="text-align: center;">Vista en Planta</p> <p style="text-align: center;">Vista de Corte Transversal</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Los lodos deben ser deshidratados previamente hasta humedades de menos del 80% y mezclados con material vegetal en una proporción de alrededor de 25% de éste.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Este proceso requiere equipos electromecánicos y controles que lo hacen apropiado para sistemas que atiendan de 1000 suscriptores en adelante.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El compostaje permite reducir el volumen de lodos y convertirlos en biosólidos estabilizados de valor como fertilizante. • Si es adecuadamente manejado, se evitan malos olores y generación de lixiviados. • Las instalaciones requeridas son de bajo costo. 		

8- L	FICHA TÉCNICA	COMPOSTAJE DE LODOS
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se requiere mucha mano de obra para la operación. • El control requiere de permanente atención. • Es importante el consumo de energía en aireación y manipulación. 		
Aspectos de diseño		
<p>El proceso de compostaje se desarrolla en dos fases, que son la descomposición y la maduración. La fase de descomposición tiene tres etapas, que son la etapa mesofílica, en la cual los microorganismos inician la descomposición de los compuestos fácilmente degradables, provocando un incremento de la temperatura y descenso del pH debido a la formación de ácidos orgánicos. Durante esta fase pueden aparecer problemas de lixiviados y malos olores.</p> <p>Cuando la temperatura supera los 40°C se produce la etapa termofílica, en la que aparecen los microorganismos termofílicos. Luego de los 60°C la descomposición es llevada a cabo por actinomicetos, y bacterias y hongos termofílicos que consumen las sustancias fácilmente degradables, como azúcares, grasa, almidón y proteínas, y se destruyen los hongos y patógenos. En la tercera etapa (enfriamiento), la temperatura empieza a disminuir hasta alrededor de 20°C, y los hongos termofílicos reinviden el sustrato y degradan la celulosa y la hemicelulosa.</p> <p>En la fase de maduración la temperatura se mantiene baja, a alrededor de 20°C, el pH se mantiene ligeramente alcalino, y los microorganismos mesófilos colonizan el compost, obteniéndose al final un producto más o menos estable. Entre el 20 y el 30% de los sólidos volátiles se pierden, transformándose en CO₂ y agua. El proceso de compostaje puede durar de unas pocas semanas a varios meses, dependiendo del tipo de lodos.</p> <p>Posteriormente se retira parte del compost producido, dejando una porción como inoculante que se mezcla con el nuevo sustrato para aportar los microorganismos. Este compost es un material estabilizado granular, similar al humus, que se puede almacenar y transportar fácilmente.</p> <p>Los lodos de tratamientos de aguas residuales tienen excesiva cantidad de nitrógeno y poco carbono, por lo tanto, se mezclan con residuos vegetales con el objeto de aumentar el contenido de este último y obtener la relación C/N requerida. Esto permite una mejora de la aireación de la mezcla. Las semillas y materiales germinativos de los residuos vegetales se inactivan durante la fase termofílica.</p> <p>Los procesos de compostaje son primordialmente aeróbicos, y por lo tanto se requiere un sistema de aireación para el aporte de oxígeno. Este puede hacerse mediante sopladores que distribuyen el aire a través de difusores dentro del sustrato. También puede utilizarse la convección producida por la diferencia de temperaturas inducidas por la actividad microbiana. Se recomienda voltear periódicamente el material para mejorar la aireación, reducir el tamaño de las partículas, homogeneizar el material, y redistribuir los microorganismos, la humedad y los nutrientes.</p> <p>La aireación aumenta la evaporación, favorece la actividad de los microorganismos, pero generalmente no reduce la temperatura debido a dicha actividad. Dicha evaporación puede ocasionar el secado del sustrato. El mantenimiento de una adecuada humedad añadiendo</p>		

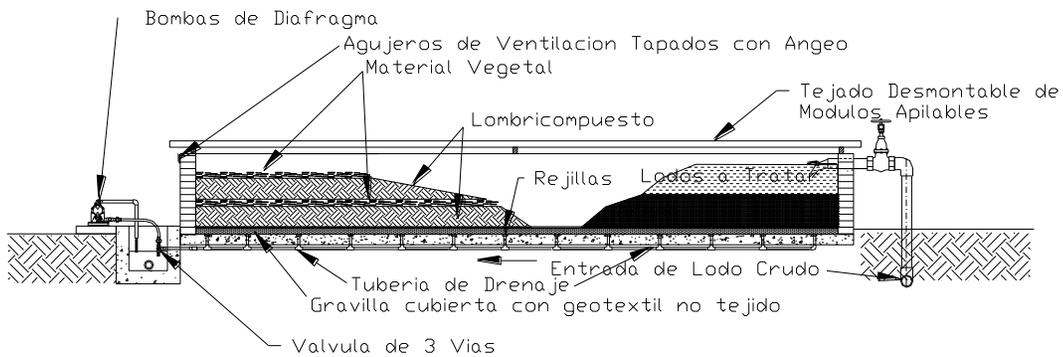
8- L	FICHA TÉCNICA	COMPOSTAJE DE LODOS
<p>agua es esencial para favorecer el desarrollo de la flora microbiana apropiada para cada fase del proceso, así como para la difusión de los residuos metabólicos.</p> <p>Los dos procesos de compostaje más utilizados son el estático, que generalmente consiste en una pila cubierta por membranas y provista de un sistema de aireación forzada, y los sistemas mecánicos que realizan volteos periódicamente en hileras.</p>		
Generación de efectos		
<p>Un proceso de compostaje correctamente realizado no produce malos olores. Estos se producen por deficiencias en la aireación, y cuando se generan lixiviados y hay fallas en el sistema de drenaje para evacuarlos.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Los procesos de compostaje a escala mediana y grande requieren de equipos mecánicos para la aireación y el volteo, que necesitan mantenimiento especializado. Los procesos biológicos involucrados son complejos, se ven afectados por diversos factores, por lo cual se requiere considerable supervisión y control.</p>		
Referencias bibliográficas		
<p>Izrail S. Turovskiy, D. Sc. and Jeffrey D. Westbrook, P.E. <i>“Recent Advancements in Wastewater Sludge Composting”</i>. <i>Water & Wastes Digest</i>. http://www.wwdmag.com/Recent-Advancements-in-Wastewater-Sludge-Composting-article336.</p> <p>Gabriela Castillo; María Pía Mena y Carola Alcota. 2002. <i>Experiencias sobre Compostaje de Lodos de Digestión Aeróbica y Anaeróbica</i>. AIDIS. XVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México.</p> <p>E. Epstein, G. B. Willson, W. D. Burge, D. C. Mullen and N. K. Enkiri. 1976. <i>A Forced Aeration System for Composting Wastewater Sludge</i>. <i>Water Environment Federation</i>.</p> <p>Lozada, P., et al. 2005. <i>Influencia del Material de Enmienda en el Compostaje de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales</i>. Ingeniería e Investigación. Universidad Nacional de Colombia. Colombia</p> <p>Soliva, M. y Huerta, O. 2004. <i>Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas</i>. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. UPC. Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora. Valsain. CENEAM/MIMAM.</p>		

9 - L	FICHA TÉCNICA	LOMBRICOMPOSTAJE DE LODOS
Descripción general del sistema		
<p>El lombricompostaje o vermicompostaje es un proceso de estabilización de lodos de aguas residuales o de otras materias orgánicas, mediado por la acción combinada de lombrices y microorganismos, que los convierten en lombricompostado (en inglés <i>vermicompost</i>), que es un fertilizante y acondicionador de suelos. Mediante este proceso se eliminan los patógenos y los olores de los lodos, los cuales se convierten en biosólidos de alto valor.</p> <p>Los lodos procedentes de tratamientos de aguas residuales tienen alto contenido de nitrógeno respecto al carbono, y deben mezclarse o intercalarse con desechos vegetales ricos en este elemento para obtener una relación C/N adecuada.</p> <p>El proceso de lombricompostaje se lleva a cabo en un lecho adecuado para la supervivencia de las lombrices y bacterias que procesan la materia orgánica, en el cual se regulan las condiciones de temperatura, humedad, pH, luminosidad y ventilación. Los encharcamientos pueden ahogar las lombrices, que son organismos aeróbicos. Para mantener la humedad adecuada, el lodo de alimentación debe estar parcialmente deshidratado, y se debe tener un buen sistema de subdrenaje, además de un sistema de aspersión o riego para evitar que se reduzca la humedad excesivamente. Es aconsejable que este riego se haga con lodos procedentes de sistemas aeróbicos que tienen algún contenido de oxígeno y una biomasa de fácil digestión por las lombrices.</p> <p>La alimentación de lodo y desechos vegetales se hace en forma secuencial, y luego de cierto tiempo se remueve parte del lombricompostado. Las camas o lechos de lombricompostaje deben tener cubiertas para evitar la entrada de luz, buena ventilación, y protección para evitar la entrada de pájaros y roedores.</p> <p>Para lograr la humedad adecuada del lodo de alimentación, se pueden intercalar lechos de arena de secado con lechos de lombricompostaje. El lodo diluido llega primero a los lechos de secado y cuando su humedad se ha reducido lo suficiente, se traslada mediante palas a los lechos de lombricompostaje contiguos, dejando capas de desechos vegetales intercalados. La separación se hace mediante paredes porosas para que la humedad de los lodos en proceso de secado pase a los lechos de lombricompostaje y los mantenga húmedos.</p> <p>Para agilizar el drenaje tanto del lecho de arena como del lombricompostaje, se pueden conectar las tuberías a una bomba tipo diafragma, que es capaz de bombear tanto agua como aire a presiones de succión muy bajas. En el caso del lombricompostaje, esta bomba facilitaría también la aireación.</p> <p>Recientemente se ha estado desarrollando la posibilidad de tratar en los lechos de lombricompostaje aguas residuales frescas, aprovechando la alta permeabilidad y capacidad hidráulica de estos lechos, dentro del sistema patentado denominado Tohá. Existen experiencias exitosas al respecto en el tratamiento de aguas procedentes de industrias lácteas, y se cree que puede ser aplicado a aguas con altos contenidos de materiales de origen vegetal que no hayan alcanzado condiciones sépticas. En la literatura técnica se reporta la utilización de cargas hidráulicas superficiales entre 150 y 1.000 L/m² por día, y la remoción de 2 a 3 escalas logarítmicas de coliformes fecales, 95% de la DBO₅ y de sólidos totales, 80% de aceites y grasas, y 60% a 70% del nitrógeno y del fósforo total.</p>		

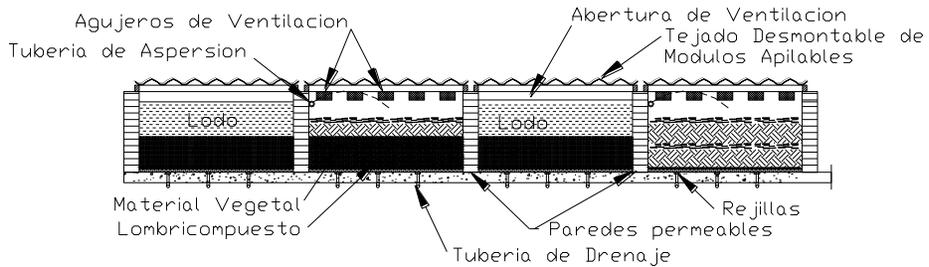
9 - L	FICHA TÉCNICA	LOMBRICOMPOSTAJE DE LODOS
-------	---------------	----------------------------------



Vista en Planta



Vista de Corte Longitudinal



Vista de Corte Transversal

9 - L	FICHA TÉCNICA	LOMBRICOMPOSTAJE DE LODOS
-------	------------------	---------------------------

Sistemas de Pretratamiento necesarios
--

El lodo con el que se alimentan los lechos de lombricompostaje debe estar parcialmente deshidratado, y que la humedad en el sustrato no pase de 85%. También es importante evitar pH extremos, usando procesos de alcalinización o neutralización si es necesario.

Aplicabilidad

El lombricompostaje se utiliza en forma creciente en el tratamiento de lodos aeróbicos y anaeróbicos de aguas residuales domésticas, con pocos elementos tóxicos, pues genera biosólidos con alto valor como fertilizantes. El tratamiento de aguas residuales frescas en lombricompostajes es una tecnología emergente que se debe adoptar con precaución. Se recomienda para todos los sistemas indistinto a la capacidad de tratamiento, siempre y cuando se cuente con los amplios espacios requeridos.

Ventajas y desventajas

Ventajas:

- Cuando se utilizan aguas residuales domésticas o de procesos agroindustriales, se puede obtener biosólidos de alto valor como fertilizantes y acondicionadores de suelos, aplicando la normativa existente en el país sobre el tema.
- Las estructuras requeridas por lo general son sencillas y requieren poca inversión.

Desventajas:

- Los lechos de lombricompostaje ocupan un importante espacio, especialmente si se complementan con lechos de secado.
- En lodos de carácter industrial, que contengan pesticidas, metales pesados y otros tóxicos de larga vida, el proceso no es eficiente, y los biosólidos no tienen utilización en la agricultura o recuperación de suelos.
- El proceso demanda una gran utilización de mano de obra, pues por lo general es poco mecanizado.

Aspectos de diseño

Existen dos mecanismos mediante los cuales las lombrices de tierra mejoran los lodos. Por una parte, la actividad mecánica de éstas se traduce en la elaboración de una vasta red de galerías que mejoran la porosidad y la aireación. Por otra parte, las lombrices ingieren el lodo rico en materia orgánica en descomposición, digieren las bacterias y hongos, y producen gran cantidad de heces, que constituyen un material llamado lombricompuesto (en inglés *vermicompost*) rico en nutrientes de fácil asimilación por las plantas, y de enzimas, que es un fertilizante y acondicionador del suelo muy apreciado por los agricultores. Las lombrices pueden ser separadas y empleadas como alimento para animales, o pueden aplicarse al suelo junto con el lombricompuesto, donde contribuyen a aflojarlo, estimulan la vida microbiana, y controlan las poblaciones de nematodos o de esporas de algunos hongos. Las lombrices pueden acumular en sus tejidos metales pesados y pesticidas contenidos en los lodos, lo cual restringe su utilización como alimento animal. La salinidad del lodo dificulta el lombricompostaje y le resta valor al lombricompuesto. Los cloruros son tóxicos para las lombrices en concentraciones mayores de 0.2%, y el cobre en concentraciones mayores de 0.1%.

9 - L	FICHA TÉCNICA	LOMBRICOMPOSTAJE DE LODOS
<p>La lombriz de la especie Eisenia foetida es la empleada por más del 80% de los sistemas de lombricompostaje existentes. Esta especie se adapta a diferentes condiciones de clima y altitud, y tolera cierto grado de contaminación. Es muy prolífica, madura sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida. Su capacidad reproductiva es muy elevada, y la población puede duplicarse cada 45 a 60 días. No tiene tendencia a migrar de su lecho como otras especies. Habita en los primeros 15 cm. del suelo.</p> <p>Para el desarrollo de las lombrices se requiere un lecho con una humedad entre 70 y 88%, para facilitar la ingestión de alimento y el deslizamiento a través del material, una temperatura en un rango óptimo entre 20 y 25 °C, pero pueden sobrevivir a temperaturas entre 5 y 43 °C. Si la temperatura es muy elevada las lombrices tienden a emigrar buscando ambientes más frescos. El pH óptimo es 7, pero tolera un rango entre de 5 a 8.4. Con pH ácido en el sustrato, se desarrolla la plaga conocida como planaria.</p> <p>El sustrato se prepara mezclando o intercalando los lodos con material vegetal tales como residuos de cosechas libres de semillas o elementos que germinen, aserrín o macrófitas provenientes de lagunas. Este material se prepara en proporciones de 1 de material vegetal a 3 de lodos deshidratados para obtener una relación C/N del orden de 25. En ocasiones se agrega cal o yeso para mantener un PH neutral.</p> <p>Las lombrices consumen alrededor de 0.75 kg de esta mezcla por kg de lombrices al día. La masa de lombrices que se utiliza es de alrededor de 1.6 Kg por metro cuadrado de lecho. En ocasiones se hace un compostaje termofílico con la mezcla de lodos deshidratados y material vegetal durante al menos 3 días para inactivar las semillas y materiales que puedan germinar, antes de colocarlos en los lechos.</p> <p>Los sistemas de distribución de lodos empleados son el manual y por aspersión. El sistema manual se hace por medio de una manguera. Es muy difundido por su sencillez, pero requiere mucha mano de obra. El riego por aspersión requiere mayor inversión, habiendo diversas modalidades según su disposición en los lechos. Deben evitarse los encharcamientos prolongados pues las lombrices son organismos aeróbicos que requiere oxígeno. Para ello se coloca un subdrenaje eficiente.</p> <p>Una vez que se colocan las lombrices en el lecho, se demoran entre 7 y 15 días para consumir el sustrato, dependiendo de la cantidad de materia orgánica y la densidad de población. El humus de lombriz puede almacenarse durante mucho tiempo sin que sus propiedades se vean alteradas, pero es necesario mantenerlas bajo condiciones de humedad del orden de 40%.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>El dimensionamiento de los lechos de lombricompostaje se hace teniendo en cuenta los siguientes factores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de lodos a procesar parcialmente deshidratados y su contenido de materia orgánico. • Cantidad de desechos vegetales, que es de un 25% del peso de los lodos, que sumado a lo anterior da la cantidad de sustrato. • Masa de lombrices, que oscila alrededor de 1.6 Kg por metro cuadrado de lecho. • Tasa de consumo de sustrato, que es del orden de 0.75 kg de esta mezcla por kg de 		

9 - L	FICHA TÉCNICA	LOMBRICOMPOSTAJE DE LODOS
lombrices. <ul style="list-style-type: none"> • Periodos de cosecha y alimentación del lecho, que se hace cada 7 a 15 días. 		
Generación de efectos		
Se pueden generar malos olores en la manipulación y la deshidratación previa de los lodos. El lombricompostaje no presenta malos olores, y tiene olor a humus.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
El proceso de lombricompostaje por lo general es manual, y requiere amplia utilización de mano de obra. Este proceso se puede considerar una actividad de zootecnia, que requiere permanente atención para mantener el hábitat adecuado para las lombrices.		
Referencias bibliográficas		
Parvaresh A., et al. 2004. <i>Vermistabilization of Municipal Wastewater Sludge with Eisenia Fetida</i> . Dept of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Iran. Iran.		
Alidadi H., et al. 2005. <i>Combined Compost and Vermicomposting Process in the Treatment and Biocomversion of Sludge</i> . <i>Iranian J Env Health Sci Eng</i> . Irán.		
Reséndez A. 2005. Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies hortícolas y ornamentales. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.		
Grajales S., et al. 2006. Programa de Manejo Integral de los Lodos Generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira. <i>Scientia et Technica</i> Año XII. Colombia.		
Legall J., et al. 2005. Manual Básico de Lombricultura para Condiciones Tropicales. Escuela de Agricultura y Ganadería de Estelí. Nicaragua.		
Servicio de Información para la Agricultura Familiar Campesina. 2005. La Lombricultura como Filtro. INDAP. Chile.		
Arango J. 2003. Evaluación Ambiental del Sistema Tohá en la Remoción de Salmonella en Aguas Servidas Domésticas. Universidad de Chile. Chile.		