

Lechos de Secado sin Plantas

Pierre-Henri Dodane y Mariska Ronteltap

Objetivos de aprendizaje

- Entender el uso de los lechos de secado sin plantas para la separación del agua de los lodos fecales (LF).
- Conocer los componentes de los lechos de secado sin plantas, sus características y sus efectos sobre el rendimiento de los lechos.
- Comprender el grado de atención que sea necesario en la operación, en el mantenimiento y en el monitoreo para el funcionamiento eficiente de los lechos de secado sin plantas.
- Tener la capacidad para diseñar un lecho de secado sin plantas que logre los objetivos de tratamiento.

7.1 INTRODUCCIÓN

Los lechos de secado sin plantas consisten en filtros poco profundos, llenos de arena y grava (piedras pequeñas, a veces llamada ripio), con un sistema de drenaje por debajo para recolectar los lixiviados. Los lodos fecales son descargados sobre la superficie para desaguar y deshidratarse (Figura 7.1). Este secado se basa en el drenaje de líquidos a través de la arena y la evaporación al aire del agua presente en la superficie de los lodos. Su diseño y operación son muy sencillos y fáciles de comprender, siempre y cuando la tasa de carga de los lodos esté bien seleccionada y los puntos de entrada de los lodos estén bien diseñados. Según las características de los LF, una fracción variable desde un 50 hasta un 80 % se drena como lixiviados, líquidos todavía contaminados que deben ser recolectados y tratados antes de su descarga en el ambiente (Tilley *et al.*, 2014). Una vez secados hasta el grado deseado, los lodos son extraídos del lecho manual o mecánicamente. Un tratamiento posterior para la estabilización y la reducción de patógenos puede ser necesario, según su uso o disposición final. Al considerar la instalación de un lecho de secado, se debe considerar no solo su facilidad de operación a bajos costos, sino también la amplia extensión de terreno que será necesaria y su potencial para generar malos olores.

7.2 PRINCIPIO DEL TRATAMIENTO

Una estación de tratamiento de LF (ETLF) puede consistir en varios lechos de secado. Los lodos son depositados sobre estos en forma rotativa y permanecen allí hasta que se secan al grado deseado. Luego son retirados manual o mecánicamente para su disposición o un tratamiento adicional seguido por distintos usos productivos.

El proceso de secado se basa en dos principios. El primero es la percolación del lixiviado a través de la arena y grava, lo que es considerable en los lodos que contienen un alto porcentaje de agua libre (Sección 3.2) y ocurre

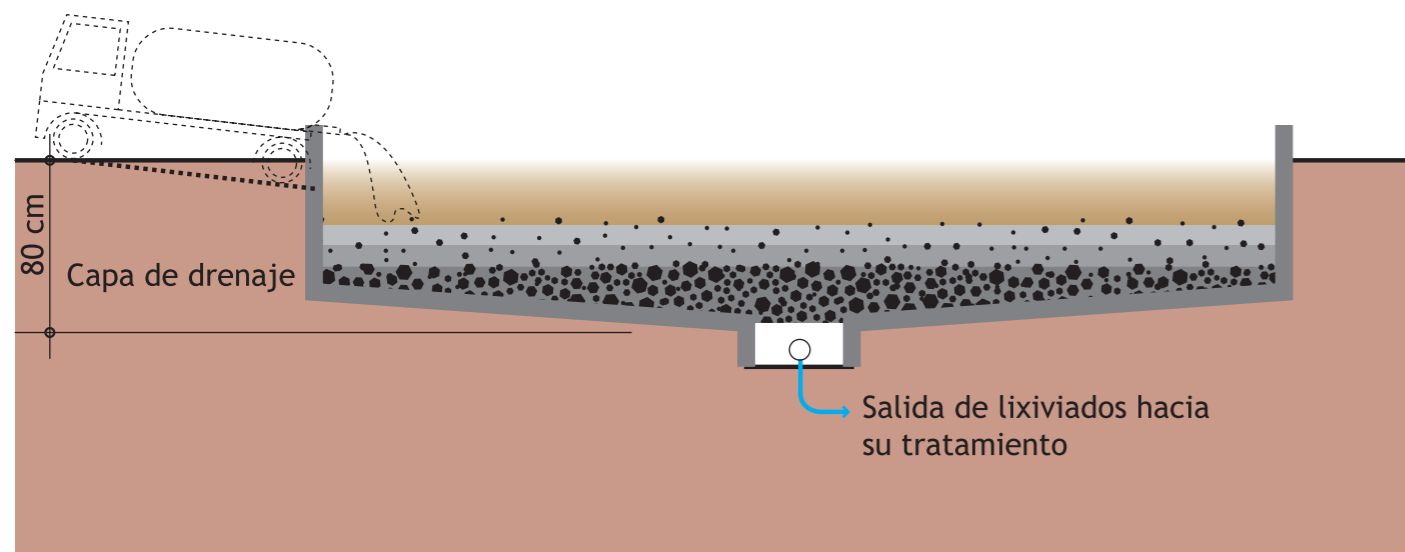


Figura 7.1 Esquema de un lecho de secado sin plantas (Tilley *et al.*, 2014). Si bien no se le observa en esta figura, un deflector es esencial para dispersar la fuerza del chorro de lodos y proteger la arena (Sección 7.5).

rápida (en unas horas o días; Heinss *et al.*, 1998). El segundo proceso es la evaporación que separa la fracción de agua ligada y tarda días o semanas. Heinss *et al.* (1998) reportaron que el agua es extraída en un 50 a 80 % por drenaje y en un 20 a 50 % por evaporación. Estos valores son normales cuando existe abundante agua libre y la evaporación es más importante en los casos con una mayor proporción de 'agua ligada'. Por ejemplo, no se observó lixiviado alguno en un estudio con lodos tratados previamente en un tanque de sedimentación y espesamiento (Badji *et al.*, 2011). (El Capítulo 8 explica cómo la evapotranspiración también contribuye a la separación del agua en los lechos de secado con plantas.)

7.3 PARÁMETROS DEL DISEÑO DE LECHOS DE SECADO SIN PLANTAS

Al diseñar estos lechos de secado, es necesario tomar en consideración diferentes factores que varían de un lugar a otro y pueden agruparse en factores climáticos y factores del tipo de LF. Otros parámetros que influyen en el proceso de secado incluyen la tasa de carga de los lodos, el grosor de la capa de lodos y la extensión del lecho. A continuación, se analizan estos aspectos.

7.3.1 Factores climáticos

Los siguientes factores climáticos influyen sobre la operación de lechos de secado sin plantas:

- Humedad, ya que valores altos reducen la evaporación;
- Temperatura, ya que valores altos (en especial en combinación con viento y baja humedad) incrementan la evaporación;
- Pluviosidad, ya que valores altos pueden impedir la factibilidad de esta tecnología. En lugares con una época lluviosa marcada, se podría abstener de operar los lechos en esa época o se podría colocar un techo. La lluvia mojaría nuevamente a los lodos y la intensidad de esto depende de la fase del secado (Sección 7.4.2).

7.3.2 Tipos de lodos fecales

El origen de los LF influye mucho en su secado en estos lechos. Los LF de tanques sépticos contienen menos agua ligada y así el agua drena más fácilmente que en el caso de LF frescos. En otras palabras, se considera que los LF digeridos se desaguan más fácilmente. Por esta razón, se les puede aplicar en capas más gruesas, más frecuentes y con una mayor concentración de sólidos. En general, los LF de baños públicos no son digeridos y sus partículas no se han asentado (Capítulo 2). Debido a su mayor resistencia a la separación del agua, estos LF frescos se drenan menos, el secado tarda más y puede no ser conveniente secarlos en este tipo de lecho.



Figura 7.2 Dos lechos de secado sin plantas, uno recién cargado (izq.) y otro parcialmente seco, en la Estación de Tratamiento de Lodos Fecales Niayes, en Dakar, Senegal (foto: Linda Strande).

Pescod (1971) llevó a cabo experimentos con LF frescos de letrinas de pozo dispuestos en lechos de secado y obtuvo una variedad de resultados en el secado (algunos comparables con los de lodos más estabilizados), pero en general es difícil desaguar lodos frescos, en especial los de baños públicos. Una alternativa es mezclarlos con lodos más añejos y estabilizados (p.ej., de tanques sépticos) a fin de mejorar la separación del agua (Koné *et al.*, 2007; Cofie *et al.*, 2006).

7.3.3 Tasa de carga de lodos

La tasa de carga de los lodos es expresada en $\text{kg TS/m}^2/\text{año}$. Representa la masa de sólidos que se secan sobre un metro cuadrado del lecho en un año. Pescod (1971) ha resaltado que cualquier cifra que vincula la cantidad de lodos a secar con la tasa de carga, la extensión del lecho y el grosor de cada capa solo puede ser una estimación, ya que las condiciones locales varían ampliamente. Sin embargo, es posible indicar un rango de valores para esta tasa, que varían, en general, de 100 a 200 $\text{kg TS/m}^2/\text{año}$ en climas tropicales (según las condiciones), mientras solo unos 50 son aplicados generalmente en los climas templados de Europa (Duchêne, 1990). Las condiciones adversas incluyen una alta humedad del aire, bajas temperaturas, mucha lluvia y altos porcentajes de LF frescos. En condiciones muy secas, puede ser factible aplicar tasas mayores. Por ejemplo, Cofie *et al.* (2006) aplicaron una tasa de 300 $\text{kg TS/m}^2/\text{año}$. Badji *et al.* (2011) también determinaron que esta misma tasa era funcional en el tratamiento de LF espesados (60 g TS/L), pero solo 150 era factible con LF más diluidos (5 g TS/L), en las mismas condiciones climáticas. Es necesario determinar las condiciones operativas óptimas mediante experimentos a escala piloto.

7.3.4 Grosor de la capa de lodos

Según una revisión bibliográfica, en general, se aplican capas con un grosor de 20 a 30 cm, con una preferencia para 20 cm. Puede parecer mejor aplicar capas gruesas, como más LF entran en el mismo lecho, pero el secado tarda más y se puede utilizar el lecho menos veces en el año. Pescod (1971) determinó que, al incrementar la capa 10 cm, el tiempo de secado puede hasta duplicar, en las mismas condiciones climáticas.

También es importante que las paredes de los lechos sean suficientemente altas para recibir diferentes cantidades de lodos. Por ejemplo, si una capa de 20 cm contiene un 90 % de agua, su altura inicial será mucho mayor. Si los lechos reciben LF directamente de los camiones, las paredes tienen que ser más altas, para poder acomodar la mayor cantidad de agua, que si los lodos fuesen espesados previamente en un tanque de sedimentación y espesamiento.

Caso de Estudio 7.1: Diseño de un lecho de secado en Kumasi, Ghana

(Adaptado de Cofie y Koné, 2009)

Con la finalidad de secar parcialmente los lodos antes de su co-compostaje en un proyecto piloto, se diseñó un pequeño lecho de secado (Caso de Estudio 5.1). El clima es sub-ecuatorial, húmedo y presenta dos épocas lluviosas (la principal de febrero a julio y otra de septiembre a noviembre). Los LF son recolectados y transportados en camiones aspiradores desde las estructuras descentralizadas de saneamiento (tanques sépticos, letrinas de pozo y baños públicos sin alcantarillado) en la ciudad de Kumasi. De los 500 m³/día que se producen en esta ciudad, 1,5 son tratados en el proyecto piloto. Dos lechos de secado sin plantas fueron construidos, cada uno con una extensión de 25 m², para recibir 15 m³ de lodos a una profundidad de 30 cm. En sus fondos tienen capas de arena y grava, como medio filtrante, y estas capas presentan diferentes tamaños de partículas y grosores. La Tabla 7.1 indica los detalles técnicos del diseño.

Los lixiviados que salen de los lechos son almacenados en un tanque y luego transferidos a la laguna facultativa de estabilización de la ETLF Buobai, antes de su descarga final en un riachuelo local. Los LF secados son extraídos una vez que sea factible con palas (después de 10 días) y son almacenados un tiempo adicional antes de su co-compostaje (Caso de Estudio 5.1).

Tabla 7.1 Los detalles técnicos que se recomiendan para lechos de secado que separan el agua de lodos fecales

Cálculo de las dimensiones de los lechos:	Entrada de los lodos:
Capas de LF de 25 a 30 cm grosor	Reducir la fuerza del flujo mediante una cámara de división, un canal de entrada y deflectores
100 a 200 kg TS/m ² /año (TS = sólidos totales)	Eficiencia de separación:
0,08 m ² /persona	97% SS (sólidos suspendidos), 90% DQO, 100% de los huevos de helmintos
Características de los lodos no tratados:	Producción de lodos secos:
Parcialmente estabilizados (de tanques sépticos, a veces mezclados con los de baños públicos)	0,1 m ³ por cada m ³ de LF frescos
≤ 30 % LF de baños públicos	Es necesario higienizarlos antes de su uso en la agricultura
Características de la arena:	Lixiviados:
Las partículas son duras y no se desmoronan	Comparable en calidad con aguas servidas tropicales
Fácil de obtener localmente	Salinidad excesiva para uso en riego de cultivos
Lavada cuidadosamente antes de su colocación	Requieren tratamiento
DISEÑO (basado en estos detalles)	
3 camiones por ciclo (1 camión lleva unos 5 m ³)	Carga hidráulica: 30 cm por ciclo
3 ciclos por mes	Extensión de los lechos: 50 m ²
Volumen de LF: 15 m ³ por ciclo = 45 m ³ por mes = 1,5 m ³ por día	Suposición de reducción de volumen por drenaje: 90 %
Proporción de LF de baños públicos a LF de tanques sépticos = 1:2	Lodos secos generados: 1,5 m ³ por ciclo = 4,5 m ³ por mes

7.3.5 Número de lechos

El número necesario de lechos depende de la cantidad de lodos que llegan a ser tratados por unidad de tiempo, el grosor de las capas y la tasa permisible de la carga de lodos. Por ejemplo, para dos semanas de secado y recepción de lodos durante 5 días por semana, se requiere al menos 10 lechos. Luego, el número de lechos puede incrementarse o disminuirse según el grosor óptimo de las capas. También es importante ajustar el número de lechos con base en las condiciones operativas reales, por ejemplo la frecuencia de extracción de los lodos o la cantidad de lluvia. Un mayor número de lechos da más seguridad del tratamiento, frente a LF variables u operación deficiente, pero aumenta el costo de inversión. Cofie *et al.* (2006) utilizaron dos lechos de 25 m² cada uno, con una tasa de carga de 7,5 m³ de lodos por lecho y capas de 30 cm. En el valle de Katmandú, Nepal, HPCIDBC (2011) diseñó un conjunto de lechos circulares, con entradas compartidas entre cada par de lechos (Figura 7.3), una extensión de cada lecho de 43 m², un total de 28 lechos y una tasa de carga de 250 kg TS/m²/año.

7.3.6 Resumen de los parámetros del diseño

Es importante notar que los cálculos y cifras presentados fueron determinados mediante investigación específica para el contexto local, según el clima y los tipos de lodos y no pueden aplicarse en todos los casos sin análisis previo. Sin embargo, los datos anteriores proporcionan ejemplos de los rangos aceptables e indicaciones de la interdependencia de los factores. A fin de diseñar adecuadamente estos lechos, el ingeniero debe obtener datos locales, sea por experiencia o bien por haber realizado pruebas preliminares de secado bajo las condiciones locales. El primer paso en estas pruebas consiste en determinar el número necesario de días para alcanzar el grado deseado de deshidratación o, por lo menos, generar un lodo manejable que puede ser extraído. Si, por ejemplo, los resultados indican que hace falta dos semanas, incluyendo un día para colocar los lodos y dos días para quitarlos, un lecho puede llenarse 26 veces en el año. Se presentan otros ejemplos de estos cálculos en la Sección 7.7.

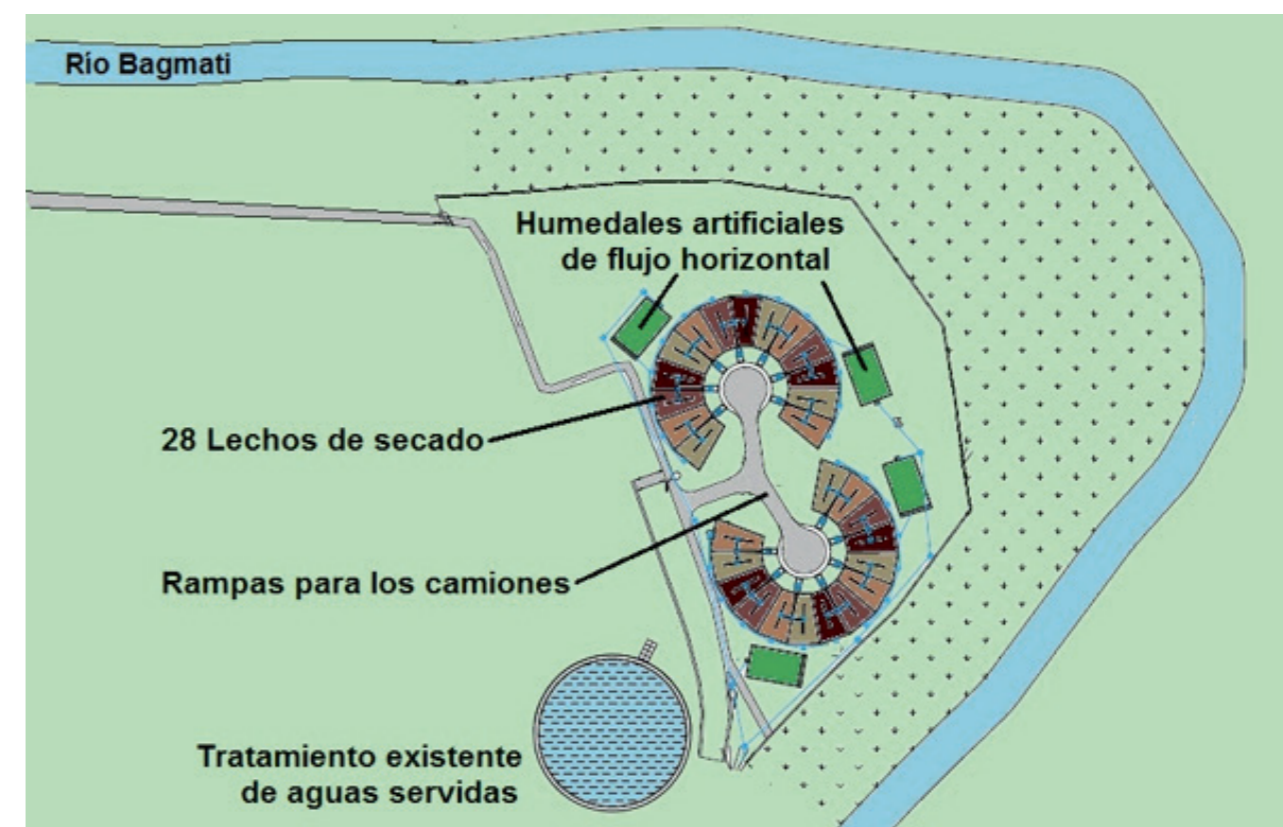


Figura 7.3 Plano propuesto para una estación de tratamiento de lodos fecales en Nepal. Los 28 lechos de secado estarán ubicados en dos círculos, con puntos centrales para la descarga de los camiones. Los lixiviados serán tratados en humedales con flujo subterráneo horizontal (HPCIDBC, 2011).



Figura 7.4 Carga de lodos sobre los lechos de secado en la Estación de Tratamiento de Lodos Fecales Niayes, en Dakar, Senegal (foto: Linda Strande).

7.4 CONSTRUCCIÓN DE UNA CAMA DE SECADO SIN PLANTAS

Una instalación para tratamiento en lechos de secado consiste en los lechos (con sus puntos de entrada de los lodos), un sistema de drenaje y almacenamiento de los lixiviados, un lugar fuera de los lechos donde guardar los lodos secos (donde continúan su deshidratación) y posiblemente tanques de sedimentación y espesamiento. Los LF pueden descargarse directamente de los camiones a los lechos. En este caso, existen varias configuraciones para dirigir los lodos a uno o más lechos (Cofie *et al.*, 2006), al diseñar una rampa para el ingreso de los lodos. Por otro lado, un tanque de acopio o sedimentación puede ser instalado, donde llegan todos los lodos, para luego bombearlos a sus lechos correspondientes. Se debe colocar un deflector para prevenir la erosión de la arena y asegurar una distribución uniforme de los lodos (Tilley *et al.*, 2008). El deflector es primordial, puesto que sin él la capa de arena sería destruida con la primera carga de lodos. También es esencial colocar tamices o rejillas a la entrada, para prevenir la entrada de basura o escombros y así contribuir a la calidad de los lodos secos y su debido uso productivo o disposición.

En general, los lechos son rectangulares, cavados en el suelo y cuentan con fondos sellados que se inclinan hacia su sistema de drenaje (Figura 7.1). De esta manera, los lixiviados fluyen donde reciben tratamiento adicional, lo que es necesario debido a su alto contenido de sólidos suspendidos, material orgánico y nutrientes, antes de su uso productivo o descarga en el ambiente, según la calidad requerida (Capítulo 10).

7.4.1 Grava y arena

Encima del sistema de drenaje, se colocan capas de grava y arena. Al construir o suplementar los lechos, es esencial utilizar grava y arena lavadas a fin de prevenir la obstrucción del lecho con las partículas finas. Las capas de grava funcionan como soporte y generalmente son dos o tres en número, con diferentes tamaños de piedras (Figura 7.1). La distribución de estos diámetros está organizada para prevenir el taponamiento del drenaje con las partículas pequeñas. La capa inferior es de grava más gruesa (20 a 40 mm) y la siguiente es con grava más fina (5 a 15 mm). Los materiales que están disponibles localmente también influyen en este aspecto del diseño. Por ejemplo, Cofie *et al.* (2006) pusieron una capa de 15 cm de grava gruesa (19 mm diámetro), seguido por

una capa de 10 cm de una grava más fina (10 mm). Para prevenir aún más la migración de partículas finas desde la arena hasta las capas inferiores, se podría colocar una tercera capa de gravilla más fina (p.ej., de 2 a 6 mm).

Una capa de arena es ubicada encima de la grava. Esta mejora el drenaje y previene la obstrucción, por lo que evita que el lodo tapone el espacio entre las piedras de grava. El diámetro de las partículas de arena es crucial, ya que la arena gruesa (1,0 a 1,5 mm) puede taponarse más rápidamente con la materia orgánica. Este riesgo es menor si se utiliza una arena más fina (0,1 a 0,5 mm; Kuffour *et al.*, 2009).

Al seleccionar la arena, es importante tomar en cuenta que a futuro se tendrá que reemplazar la arena que sale con los lodos secos excavados. Por lo tanto, es recomendable encontrar una fuente cercana para la arena. Duchêne (1990) reportó la pérdida de varios centímetros de arena con cada 5 o 10 ciclos de secado y en la ETFS Cambérène en Dakar se extraviaron 5 cm en 25 ciclos (Badji, 2008).

La arena también debe ser reemplazada cuando la materia orgánica comienza a acumularse y obstruirla. Kuffour *et al.* (2009) observaron una relación entre la tasa de taponamiento y la tasa de acumulación de materia orgánica: como esta última se aglomera más rápidamente sobre la arena gruesa, un lecho de este tipo de arena se obstruye en menos tiempo. Cofie *et al.* (2006) tuvieron que reemplazar la arena dos veces debido a taponamiento, en 8 ciclos de secado, durante los 10 meses de su proyecto piloto. En una operación a escala completa, HPCIDBC (2011) estimó que se tuvo que reemplazar la arena cada 3 años, con una tasa de carga de 250 kg TS/m²/año, capas de lodos de 20 cm y un periodo de secado de una semana (lo que es factible en las condiciones de Nepal).

7.4.2 Extracción de los lodos secos

Para poder retirar correctamente los lodos, deben ser suficientemente secos para ser manejados con palas. Pescod (1971) llevó a cabo experimentos con diferentes tipos de LF y varias tecnologías de tratamiento, incluyendo lagunas y lechos de secado, y determinó que lodos con un contenido de sólidos mayor a un 25 % pueden ser extraídos.

El tiempo de secado de un lodo específico depende de varios factores y uno de los cuales es la resistencia al drenaje de agua. A medida que esta resistencia es mayor, los LF se desaguan más despacio. La extracción de los lodos puede realizarse manual o mecánicamente y el método manual más común es la aplicación de palas y carretillas (Figura 7.5).

Al extraer los lodos, una rampa debe ubicarse para permitir el ingreso de carretillas u otros equipos al lecho. Si se requiere lodos más secos, esto se puede lograr con la evaporación luego de retirar el material de los lechos. Es frecuente almacenar los lodos en montículos durante hasta un año y durante este tiempo existe una mayor reducción de los patógenos. Sin embargo, se recomienda un tratamiento más controlado para generar un producto final más consistente y confiable.

Es contraproducente si llueve antes de que el agua libre termine de drenarse, ya que los LF se mojan nuevamente y se atrasa el secado. Cuando los LF ya se han secado hasta el punto de formar grietas, la lluvia puede fluir a través de estas y no es tan dañino al proceso.

7.5 CALIDAD DE LODOS SECOS Y DE LIXIVIADOS

El principal propósito de un lecho de secado es la separación del agua, es decir, quitar físicamente los líquidos de los sólidos. No son diseñados pensando en la estabilización o la destrucción de patógenos, aunque pueden biodegradarse en algún grado. Por lo tanto, los contaminantes presentes en los LF no son eliminados y están todavía en los lodos secos o los lixiviados.

Tabla 7.2 Análisis de los lixiviados de los lechos de secado en Kumasi, Ghana (Koné *et al.*, 2007)

	Primer día	Último día	Diferencia
pH	8,2	7,9	-0,3
Conductividad Eléctrica (Siemens/cm)	21.900	11.400	-10.500
SS (mg/L)	600	290	-310
DQO (mg/L)	5.600	3.600	-2.000
DBO (mg/L)	1.350	870	-480
NH ₃ -N (mg/L)	520	260	-260
TKN (mg/L)	590	370	-220
NO ₃ -N (mg/L)	50	170	120



Figura 7.5 Extracción de lodos de los lechos de secado sin plantas en la Estación de Tratamiento de Lodos Fecales Cambérène, en Dakar, Senegal. En primer plano, se observan los lodos ya sacados (foto: Linda Strande).

Caso de Estudio 7.2: La Estación de Tratamiento de Lodos Fecales Cambérène, en Senegal (continuación del Caso de Estudio 6.2)

Esta ETLF combina dos tanques de sedimentación y espesamiento con 10 lechos de secado sin plantas (de 130 m² cada uno). Estos últimos fueron diseñados basados en una tasa de carga de 200 kg TS/m²/año y capas de lodos de 20 cm en grosor. El operador considera que los lodos son suficientemente secos cuando se los puede sacar con una pala, es decir, ya no se pegan a la arena. En el clima de Dakar, este grado de secado ocurre en unos 30 a 35 días, incluso en la época lluviosa. Se alcanza un contenido de material seco de aproximadamente un 50 % en promedio, siendo más seco encima y con un contenido de materia seca de un 20 a 30 % en la parte inferior. Ya que el operador toma una semana adicional para organizar el retiro de los lodos secos, se operan los lechos con ciclos de 40 días y una tasa efectiva de carga de 340 kg TS/m²/año. Como consecuencia, el operador suele ocupar solo 6 o 7 de los 10 lechos.



Figura 7.6 Lechos de secado sin plantas, con la acumulación y extracción de los lodos (der.), en la Estación de Tratamiento de Lodos Fecales Cambérène, en Dakar, Senegal (fotos: Pierre-Henri Dodane).

Los lixiviados están todavía muy contaminados (2.500 mg TS/L, 1.900 mg SS/L, 3.600 mg DQO/L). Los lodos secos son extraídos manualmente con pala. Un trabajador requiere unos 2 días para retirar la capa de 7 cm de lodos secos del lecho de 130 m². Su densidad es ahora de unos 300 kg/m³. La ETLF Cambérène produce unos 600 m³/año de lodos secos, que son almacenados un tiempo detrás de los lechos y después la empresa de obras públicas los utiliza para enriquecer el suelo.

Koné *et al.* (2007) llevaron a cabo experimentos con mezclas entre LF de tanques sépticos y LF de baños públicos, analizando algunos parámetros en el lixiviado del primer y del último día de la filtración (Tabla 7.2). Aunque las concentraciones de estos contaminantes bajaron en general, los lixiviados estaban todavía lejos de ser seguros para una descarga en el ambiente (p.ej., DBO = 870 mg/L). Por lo tanto, los lixiviados deben ser retenidos y tratados, como el flujo de desechos líquidos concentrados que son, por ejemplo en lagunas (Capítulo 5; Montangero y Strauss, 2002) o recuperados para algún uso benéfico (Capítulo 10).

Koné *et al.* (2007) también analizaron los huevos de los helmintos *Ascaris* y *Trichuris* presentes en los LF que fueron secados en este tipo de lecho, tanto provenientes de baños públicos como de tanques sépticos (Tabla 7.3). Los dos tipos de LF fueron aplicados en diferentes proporciones sobre los lechos de secado sin plantas, a tasas de carga entre 196 y 321 kg TS/m²/año y se los dejó secar hasta que el contenido de TS fue mayor a un 20 %. Resultó que desaguarlos sobre estos lechos no fue suficiente para inactivar todos los huevos de helmintos, ya que contaron hasta 38 huevos de *Ascaris* y *Trichuris*, de los cuales un 25 a 50 % seguían viables. Esto subraya la necesidad de almacenar el material durante un tiempo adicional o aplicar otras opciones de tratamiento con el fin de destruir los patógenos.

Tabla 7.3 El número de huevos (por gramo de TS) de los helmintos *Ascaris* y *Trichuris* presentes en los lodos fecales de baños públicos y tanques sépticos en Kumasi, Ghana, después de desaguarse en lechos de secado sin plantas hasta que el contenido de sólidos esté mayor a un 20 % (Koné *et al.*, 2007). También se indica el porcentaje de estos que eran viables.

	<i>Ascaris</i>	<i>Trichuris</i>	Total
LF de baños públicos, ya secados			
Muestra 1	13 (38 %)	2 (13 %)	16 (34 %)
Muestra 2		9 (52 %)	9 (52 %)
LF de tanques sépticos, ya secados			
Muestra 3	3 (23 %)	2 (0 %)	5 (13 %)
Muestra 4	94 (53 %)	24 (58 %)	118 (54 %)
Muestra 5	29 (37 %)	15 (25 %)	44 (32 %)

7.6 EJEMPLOS DE DISEÑO

Esta sección ofrece dos ejemplos del diseño de lechos de secado sin plantas.

7.6.1 Ejemplo 1: Tiempo conocido de secado (2 semanas, con capas de 20 cm)

Lo siguiente es un ejemplo de los cálculos indicados en la Sección 7.4. Una ETLF va recibir 500 kg de sólidos totales por día, con una densidad de 50 kg TS/m³. Pruebas preliminares arrojaron el dato que una capa de 15 cm de este tipo de lodo tarda 11 días en alcanzar el contenido deseado de sólidos totales. Contando 1 día para colocar los lodos y 2 para extraerlos, cada cama requiere un ciclo de secado de 2 semanas y, por lo tanto, puede ser usado 26 veces en el año. A una tasa de carga de 500 kg TS/día (= 10 m³/día), se llena un lecho de 67 m² por día. Suponiendo que los camiones no son recibidos en el fin de semana, 10 lechos serán llenados en 2 semanas. Luego, el primer lecho comienza de nuevo. Así, se requiere un mínimo de 10 lechos para recibir y tratar los lodos afluentes. Sumar lechos adicionales no es solo recomendable para mayor flexibilidad respecto a la cantidad y calidad de los lodos, sino también esencial para el mantenimiento de la estación (p.ej., reemplazo de la arena). El número de lechos adicionales depende del potencial de inversión y los cambios previstos en la cantidad y calidad de los lodos.

7.6.2 Ejemplo 2: Un diseño para lodos sedimentados bajo buenas condiciones climáticas

En este ejemplo, se está diseñando una ETLF que recibirá lodos con una concentración de 30 g TS/L, en la cantidad de 50 m³/día, en un lugar con buenas condiciones climáticas (Sección 7.3.1). Se aceptarán los lodos de lunes a viernes, durante 52 semanas del año. La masa anual de lodos recibidos puede calcularse con la Ecuación 7.1.

$$\text{Ecuación 7.1: } M = c_i \cdot Q_i \cdot t$$

Donde:

M = la carga anual de lodos (kg TS/año)

c_i = el promedio de la concentración de sólidos totales en los LF (g TS/L)

Q_i = el flujo diario de entrega (m³/día)

t = el número de días de entrega en el año

Para la situación descrita, se llega a lo siguiente:

$$\text{Ecuación 7.2: } M = 30 \cdot 50 \cdot 5 \cdot 52 = 390.000 \text{ kg TS/año.}$$

Como las condiciones climáticas son favorables (Sección 7.4.1), se puede aplicar una tasa de carga de 200 kg TS/m²/año. Por lo tanto, al tomar en cuenta la carga anual, se requiere una extensión total de 390.000 kg TS/año / 200 kg TS/m²/año = 1.950 m². Con capas de lodos de 0,20 m y una Q de 50 m³/día, se debe contar con una extensión de 250 m²/día. Suponiendo que un lecho puede recibir 250 m²/día, se requiere al menos 8 lechos para completar los 1.950 m² necesarios.

El tiempo de secado será de 1 semana, con 1 día para que el operador retire los lodos procesados. Para que la operación sea más fácil y robusta, se recomienda aplicar un ciclo de secado de 2 semanas. Por lo tanto, se requieren 10 lechos. Así, la superficie total de los lechos será 2.500 m² y la tasa efectiva de carga de lodos 160 kg TS/m²/año. Los LF serán colocados cada día en un lecho consecutivo, en capas de 20 cm.

7.7 INNOVACIONES Y ADAPTACIONES PARA LECHOS DE SECADO

Los lechos de secado sin plantas pueden ser modificados para incrementar sus tasas de secado y disminuir la pérdida de arena. Las opciones que han sido investigadas incluyen sistemas de energía solar en tuberías, invernaderos, alambres para guiar la pala y adición de coagulantes, las cuales se analizan a continuación.

7.7.1 Aplicación de energía solar en tuberías

Radaidah y Al-Zboon (2011) investigaron en Jordania una modificación del lecho de secado para lodos de aguas servidas, en la cual se aprovecha la energía solar para calentar agua y circularla en tuberías dentro del lecho con el fin de acelerar el proceso de secado. Comparado con un lecho normal, donde los lodos se secaban desde un 96 % de humedad hasta un 33 % en 18 días, el lecho modificado logró lo mismo en solo 10 días, con la circulación de agua caliente (70 °C). A los 18 días, los lodos solo tenían un 8 % de humedad. Esta modificación podría ser conveniente donde la extensión de terreno es limitado y existe abundante luz solar. El costo es mayor, pero ofrece una alternativa interesante. También, se podría aprovechar de esta manera el calor de procesos industriales (Diener *et al.*, 2012).

7.7.2 Invernaderos

Bux *et al.* (2002) experimentaron con la colocación de vidrios con el fin de mejorar el secado de lodos de la industria farmacéutica y redujeron el tiempo necesario en un 25 a 35 %. Cabe mencionar que cualquier sistema que cubre los lechos debe contar con una ventilación (activa o pasiva) a fin de sacar el vapor de agua. El

secado en invernaderos también se aplica activamente en el tratamiento de los lodos de aguas servidas en los EE.UU., muchas veces en combinación con ventiladores eléctricos y equipos para mezclar los lodos (Huber Technology, 2013). Algunos investigadores están trabajando actualmente en la adaptación de ciertas opciones económicas para el tratamiento de LF en invernaderos, como el proyecto FaME (www.sandec.ch/fame; Figura 7.6).

7.7.3 Alambres para guiar la pala

Otra opción es la colocación de alambres de acero inoxidable a fin de realzar el secado y el drenaje, pero en especial con la finalidad de dirigir la pala y evitar la extracción de arena junto con los lodos secos (Tchobanoglous *et al.*, 2002). Aunque funciona con lodos de aguas servidas, aún no se ha reportado su aplicación en el secado de LF.

7.7.4 Secado con aditivos

Pescod (1971) comenta de un estudio llevado a cabo en Bangkok, Tailandia, en el cual mezclaron alumbre (sulfato de aluminio potásico) a fin de abreviar el secado. Determinaron que solo tuvo un efecto en la época de lluvias, ya que no hallaron una diferencia significativa en la época seca. El Proyecto FaME también está investigando el posible uso de coagulantes en el tratamiento de LF.

7.8 CONCLUSIONES

Con la información de este capítulo, se puede concluir que por más que existe cierta información sobre el uso de lechos de secado sin plantas en el tratamiento de LF, hace falta realizar investigaciones más detalladas a fin de generar pautas claras para su diseño y operación, además de ayudar a entender y superar cualquier inconveniente.



Figura 7.7 Proyecto piloto acerca de la separación del agua presente en los lodos fecales, mediante invernaderos con ventilación activa y pasiva, dentro de la Estación de Tratamiento de Lodos Fecales Cambérène, en Dakar, Senegal (foto: Linda Strande).

7.9 BIBLIOGRAFÍA

- Badji, K., 2008. Traitement des boues de vidange : éléments affectant la performance des lits de séchage non plantés en taille réelle et les mécanismes de séchage (Faecal sludge treatment: parameters affecting the unplanted drying beds efficiency and drying mechanism at real scale). Engineer degree, Génie des Procédés, Ecole Supérieure Polytechnique, Dakar, Senegal.
- Badji K., Dodane P.H., Mbéguéré, M., Kone D., (2011), Traitement des boues de vidange : éléments affectant la performance des lits de séchage non plantés en taille réelle et les mécanismes de séchage. Actes du symposium international sur la Gestion des Boues de Vidange, Dakar, 30 juin – 1er juillet 2009, EAWAG/SANDEC.
- Bux, M., Baumann, R., Quadt, S., Pinnekamp, J., Mühlbauer, W. (2002). Volume reduction and biological stabilization of sludge in small sewage plants by solar drying. *Drying Technology* 20 (4-5), p. 829-837.
- Cofie, O., Agbottah, S., Strauss, M., Esseku, H., Montangero, A. (2006). Solid- liquid separation of faecal sludge using drying beds in Ghana: implications for nutrient recycling in urban agriculture. *Water Research* 40(1), p. 75-82.
- Cofie, O., Koné, D. (2009). Case study of sustainable sanitation projects: Co-composting of faecal sludge & organic solid waste. Kumasi, Ghana. Disponible en: www.susana.org. Accedido en septiembre de 2013.
- Diener, S., Reiser, J.C., Murray, A., Mbéguéré, M., Strande, L. (2012). Recovery of industrial waste heat for faecal sludge drying. *SANDEC News* no. 13, p.16.
- Duchène, P. (1990). Les systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités. Documentation technique FNDAE 09, Ministère de l'Agriculture et de la Forêt, Francia. Disponible en: www.fndae.fr/archive/PDF/fndae09-a.pdf.
- HPCIDBC (2011). Status and Strategy for Faecal Sludge Management in the Kathmandu Valley, High Powered Committee for Integrated Development of the Bagmati Civilization, Katmandú, Nepal.
- Heinss U., Larmie S.A., Strauss, M. (1998). Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges in the Tropics. *SANDEC Report No.5/98 Second Edition*, EAWAG/SANDEC, Dübendorf, Suiza.
- Huber Technology (2013). Huber Solar Active Dryer SRT (PDF). www.huber-technology.com, accedido el 21 de mayo, 2013.
- Koné, D., Cofie, O., Zurbrügg, C., Gallizzi, K., Moser, D., Drescher, S., Strauss, M. (2007). Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and co-composting in tropical climates. *Water Research* 41(19), p. 4397-4402.
- Kuffour, A. R., Awuah, E., Anyemedu, F.O.K., Strauss, M., Koné, D., Cofie, E. (2009). Effect of using different particle sizes of sand as filter media for dewatering faecal sludge. *Desalination* 248, p. 308-314.
- Montangero, A., Strauss, M. (2002). Faecal Sludge Management, SANDEC/EAWAG. Notas de ponencia.
- Pescod, M. B. (1971). Sludge handling and disposal in tropical developing countries. *Journal of Water Pollution and Control Federation* 43(4), p. 555-570.
- Radaidah, J. A., Al-Zboon, K. K. (2011). Increase the efficiency of conventional sand drying beds by using intensive solar energy: a case study from Jordan. Presented at the 2011 2nd International conference on environmental science and technology. IPCBEE vol. 6, IACSIT Press, Singapur.
- Strauss, M., Montangero, A. (2002). FS Management – Review of Practices, Problems and Initiatives. DFID Engineering Knowledge and Research Project - R8056. Informe de una consultoría al GHK, Gran Bretaña, 73 p.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (2002). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, cuarta edición revisada. McGraw-Hill Engineering and Computer Science Books.
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., Schertenleib, R. (2008). Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. Dübendorf, Suiza: EAWAG. Disponible en: http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/compendium_e/spanish_version