

# Operación, Mantenimiento y Monitoreo de una Estación de Tratamiento de Lodos Fecales

Magalie Bassan y David M. Robbins

### Objetivos de aprendizaje

- Comprender la importancia y el papel de operaciones y mantenimiento en las estaciones de tratamiento de lodos fecales (ETLF).
- Comprender los factores críticos de operaciones y mantenimiento que deben tomarse en cuenta a partir de las fases de diseño y planificación.
- Poder diseñar un plan eficaz de monitoreo, operación y mantenimiento, para asegurar un rendimiento adecuado en el tratamiento.
- Comprender la función de la gestión administrativa en la operación a largo plazo de las ETLF.

## 11.1 INTRODUCCIÓN

Las estaciones de tratamiento de lodos fecales requieren actividades de operación y mantenimiento (OyM) continuas y apropiadas para asegurar su funcionalidad a largo plazo. Las actividades de OyM ocurren en los puntos de contacto entre los marcos técnico, administrativo e institucional que permiten la función sostenida de las ETLF. “Operación” se refiere a todas las actividades requeridas para asegurar que una ETLF preste los servicios de tratamiento para los que fue diseñada y “mantenimiento” se refiere a todas las actividades que aseguran la operación a largo plazo del equipo y la infraestructura (Bräustetter, 2007). La OyM adecuada de las ETLF requiere que se realice una serie de tareas cruciales que deben llevarse a cabo independientemente del tamaño de la estación y su complejidad tecnológica (Figura 11.1). Contar con personal calificado para realizar estas tareas oportunamente y en conformidad con las mejores prácticas maximizará el valor de la ETLF y asegurará su rendimiento a largo plazo.

Muchas ETLF colapsan luego de su construcción, sin importar la elección de su tecnología o la calidad de su infraestructura. Las razones del colapso no se investigan siempre, pero las explicaciones que suelen darse tienen que ver con su baja capacidad operativa (Fernandes *et al.*, 2005; Lennartsson *et al.*, 2009; Koné, 2010; HPCIDBC, 2011) y la falta de los recursos financieros para poder realizar las tareas de OyM (Koné, 2002). De estos colapsos, se aprende que la OyM debe considerarse como un componente integral de todos los costos



**Figura 11.1 Limpieza de los tamices en una estación de tratamiento de lodos fecales en Dakar, Senegal; esta actividad es imprescindible en cada turno para mantener el sistema operativo (foto: Linda Strande).**

del ciclo de vida de la estación y que es imprescindible brindar capacitación a sus operadores. Además, el plan de OyM debe incorporarse en el proceso de diseño y someterse a una revisión y aprobación apropiadas, juntamente con los planes de ingeniería. Esto ayudará a asegurar que la OyM se integre plenamente en la estación una vez que se complete la construcción y se inicie la operación.

Se requieren insumos financieros, técnicos y gerenciales para asegurar la operación continua de las ETLF, incluso las más sencillas. Los procedimientos que establecen cómo la estación y sus equipos serán utilizados se documentan en varios planes de OyM, programas de monitoreo, informes, diarios de registro y planes de salud y seguridad, que definen las tareas paso a paso del personal para asegurar su funcionamiento a largo plazo. Aunque muchas actividades de OyM son específicas para un determinado proceso, otras son comunes para todas las estaciones y, por lo tanto, todos los planes de OyM deben incluir la siguiente información:

- Procedimientos para recibir y descargar los lodos fecales (LF) en la ETLF;
- Operación de tecnologías específicas para que funcionen según su diseño;
- Programas de mantenimiento de los equipos para asegurar su operación a largo plazo y evitar los colapsos;
- Procedimientos de monitoreo e informes;
- Manejo de los productos finales del tratamiento;
- Manejo de los aspectos de salud y seguridad para la protección del personal y del ambiente;
- Estructura organizacional, distribución y gestión de los aspectos administrativos; y
- Procedimientos para el almacenamiento descentralizado de los LF en los barrios y el transporte hasta la ETLF.

El grado de organización requerido en cualquier ETLF específica depende de su tamaño y capacidad de tratamiento. Posiblemente los sistemas pequeños que reciben pocas cargas de LF por semana necesitarán un solo operador y, por lo tanto, tienen planes relativamente sencillos de OyM, mientras que los sistemas

municipales grandes que reciben cargas de LF las 24 horas, todos los días, son más complejos y requieren más personal, incluyendo diferentes tipos de operadores y trabajadores de mantenimiento. Este capítulo analiza el proceso de planificación de la OyM así como los componentes específicos del respectivo Plan. Hace referencia a los procedimientos y tareas que son comunes para todas las ETLF, así como consideraciones para algunas tareas específicas de ciertas tecnologías.

## 11.2 INTEGRACIÓN DE OyM EN EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN

Hay varios factores importantes que se deben considerar al planificar una ETLF, los cuales tendrán un impacto directo sobre la OyM y el monitoreo. Incluyen tanto los aspectos clásicos de ingeniería de la integración de tecnología, como otros asuntos de la gestión institucional definidos por el programa de MLF. Ya que los aspectos de OyM son tan importantes para el éxito general a largo plazo del programa, la planificación de OyM y su financiación deben incluirse en los términos de referencia para el diseño de cada ETLF (Fernandes *et al.*, 2005; Lüthi, 2011). Además, debe revisarse y aprobarse juntamente con los diseños y especificaciones de ingeniería, incluyendo los siguientes aspectos:

- Ubicación de la ETLF y su proximidad a zonas residenciales;
- Volúmenes y cronogramas de la recolección de los LF;
- Disponibilidad de los recursos locales;
- Grado de mecanización de las tecnologías; y
- Uso o disposición final de los productos finales.

### 11.2.1 Ubicación de la estación

La ubicación de una ETLF es un aspecto crucial al diseñar un plan de OyM. Las ETLF suelen asociarse con molestias como olores, moscas, zancudos y ruido. Por esa razón, las estaciones ubicadas cerca de zonas residenciales deben instalar controles preventivos, los cuales tienen implicaciones en la OyM. Algunos ejemplos incluyen las ETLF que utilizan piscinas de estabilización de los desechos que están ubicadas cerca de zonas residenciales, para las cuales es importante controlar los zancudos. Para las ETLF ubicadas donde sus vías de acceso atraviesan zonas residenciales, se deben controlar el ruido y el polvo que producen los camiones.

Otros factores específicos de los sitios que podrían influir en las actividades y los costos de OyM incluyen:

- Las condiciones del suelo, como su profundidad y capacidad de soportar el peso, que podrían impactar en la selección e instalación de los equipos;
- El nivel freático del agua subterránea, por la posible contaminación de pozos de agua cercanos y por su posible infiltración en los tanques de tratamiento, lo que afectaría los equipos de bombeo y el manejo de sólidos; y
- Las aguas superficiales y los riesgos de inundación, que podrían impedir el acceso al sitio durante las temporadas de lluvias, afectar las instalaciones mediante la erosión, paralizar el secado de lodos o acarrear contaminación al ambiente.

### 11.2.2 Volúmenes y horarios de entrega de lodos fecales

El volumen de LF que se recolecta y entrega a la estación de tratamiento, así como sus tiempos de operación, tendrán un impacto significativo en los costos y requisitos de OyM. Los hábitos o eventos culturales pueden influir en los volúmenes que se descargan en la ETLF en diferentes épocas del año. Asimismo, la variabilidad estacional de los volúmenes influye en los requisitos de personal para OyM. Los sistemas más grandes que funcionan todos los días tendrán requisitos muy diferentes del personal que aquellos que operan de manera intermitente.

La distribución del volumen de LF que se recibe en la estación a largo del día es de crucial importancia para el proceso de planificación, ya que los caudales altos o bajos, fuera de los valores de diseño para el sistema de tratamiento, pueden tener un gran impacto en la eficiencia operativa. Por lo tanto, la fase inicial de



**Figura 11.2** Mantenimiento de la flota de camiones aspiradores de lodos fecales en la ciudad de Dumaguete, Filipinas (foto: David M. Robbins).

planificación deberá asegurar que la tecnología elegida sea apropiada para las condiciones locales y que sea dimensionada correctamente para dar cabida a los volúmenes previsibles y sus fluctuaciones respectivas. Los arreglos institucionales para coordinar estrechamente las actividades entre los propietarios de las estaciones y los responsables de la recolección y el transporte de los LF podrán ayudar a abordar estas cuestiones.

### 11.2.3 Disponibilidad de los recursos locales

La disponibilidad de los recursos locales no solo influye en los aspectos que determinan el costo de la construcción (p.ej., la selección de la tecnología y de los materiales de construcción), sino también en los costos de los requisitos para la OyM. Los aspectos de recursos locales que deben considerarse desde la perspectiva de OyM incluyen la disponibilidad de los siguientes:

- Repuestos y herramientas;
- Materiales consumibles (p.ej., productos químicos para la floculación);
- Servicios básicos confiables, como de agua y electricidad;
- Recursos humanos capacitados para operar la estación correctamente;
- Laboratorios locales que pueden requerirse para los programas de monitoreo; y
- Empresas contratistas locales para ayudar con las tareas periódicas que pueden requerir mucha mano de obra o destrezas muy específicas.

Idealmente, deben utilizarse equipos que pueden mantenerse y repararse dentro del país. Si no existe un proveedor local, se debe asegurar que los servicios de entrega y reparación de afuera sean ágiles o mantener en inventario suficientes repuestos en la estación. Por ejemplo, los poderosos camiones aspiradores que

se necesitan para vaciar los tanques de sedimentación y espesamiento requieren destrezas específicas de mantenimiento, las que en muchos casos no están disponibles en los talleres mecánicos locales (Figura 11.2). Por lo tanto, se recomienda elaborar contratos durante el proceso de adquisición de equipos para definir los servicios de reparación, por ejemplo, el mantenimiento anual de los camiones aspiradores. Al diseñar las ETLF que requieren insumos consumibles para sus procesos (p.ej., cal o cloro), se deben evaluar los costos y la disponibilidad de estos, así como los requisitos para su almacenamiento seguro. Otros aspectos que impactan en los costos de OyM incluyen los procedimientos para la operación de emergencia cuando falte la energía o el agua, así como los costos de envío de las muestras requeridas durante los análisis de laboratorio. Por ello, se debe seleccionar la tecnología no solo basándose en los costos de instalación, sino también los costos de OyM.

#### 11.2.4 Grado de mecanización

El grado de mecanización de la ETLF depende de la disponibilidad de repuestos, de energía eléctrica y de operadores capacitados. Cuando estos factores están limitados, podrían ser preferibles las opciones de tecnologías pasivas, como lechos de secado y piscinas de estabilización. Si la disponibilidad de energía es intermitente, las tecnologías que utilicen sistemas manuales deben preferirse en lugar de los mecánicos, siempre que sea posible. Por ejemplo, los tamices pueden despejarse manualmente o con un rastrillo mecánico; el lodo seco puede transportarse con una pala mecánica o con una carretilla; y los pequeños montículos de compostaje pueden manejarse manualmente para su aireación, mientras que los grandes necesitan manipulación mecánica.

#### 11.2.5 Uso o disposición final de los productos de tratamiento

La utilización o disposición de los productos finales influye en las tecnologías y los procesos necesarios para lograr el grado de tratamiento requerido (Capítulo 10). Esto, a su vez, tiene un impacto significativo en los costos y grados de destrezas requeridas para operar y mantener los equipos. En una ETLF sencilla, en la que se secan los lodos para desecharse en un relleno sanitario o quemarse como combustible (usos que no requieren mucha reducción de patógenos), es posible aplicar tratamientos menos rigurosos, con menos costos de OyM, a comparación de sistemas que generen productos finales que se aplican en cultivos de alimentos que serán ingeridos directamente sin cocinarlos (p.ej., verduras para ensaladas). Un factor clave en el diseño de la tecnología de una ETLF es determinar si el valor asociado con las actividades de uso final justifica los costos de la tecnología y OyM requeridos para lograr los grados de tratamiento necesarios. Comprender los costos asociados con las tareas específicas de OyM y monitoreo para los diferentes usos finales ayuda en la planificación de un programa de MLF.

### 11.3 RECEPCIÓN DE LODOS FECALES EN LA ESTACIÓN

Es importante considerar la distribución del tráfico y el manejo de la circulación de los camiones que ingresan y salen de la ETLF para maximizar la eficiencia de los procesos de recepción y descarga. Esto implica:

- Control de tráfico; y
- Aprobación de los LF para su descarga en la estación.

Estos aspectos se analizan en las siguientes secciones.

#### 11.3.1 Control de tráfico

En las estaciones que se ocupen con poca frecuencia, el control del tráfico no suele ser un problema. En la mayoría de los casos, se requiere personal en estas estaciones principalmente para aprobar la descarga y guiar la circulación de los camiones. Por otro lado, en las estaciones con mucho movimiento, donde los camiones aspiradores (u otros que entregan los lodos) pueden estar compitiendo para descargarse, los empleados operativos pueden ayudar a facilitar la descarga ágil al dirigir y apoyar a los choferes y así evitar los accidentes.

El control del tráfico se simplifica mediante una configuración bien diseñada de la estación. Las vías de acceso que permiten que los vehículos continúen después de descargar, en lugar de tener que dar la vuelta, son más eficientes y seguras. Las estaciones de descarga mecanizadas que registran la identificación de cada chofer y su

volumen de descarga también pueden reducir los costos de OyM en las estaciones con mucho movimiento. Al planificar las vías, se debe considerar el radio de giro y el peso de los camiones más grandes que utilizarán la estación. Además, las áreas de descarga y estacionamiento de camiones deben ser planas y las vías de acceso deben tener una gradiente máxima del 3 %.

### 11.3.2 Aprobación de lodos fecales para su recepción

Los desechos de diferentes fuentes pueden tener características muy distintas, que podrían influir en la operación de la ETLF. Los LF de residencias (p.ej., de letrinas de pozo o tanques sépticos) suelen estar relativamente libres de sustancias químicas tóxicas, pero los LF de restaurantes pueden tener grandes cantidades de grasas y aceites, especialmente si no tienen trampas de grasa o estas no funcionan bien. Asimismo, los LF de mecánicas automotrices, establecimientos de lavado en seco, hospitales u otros contextos comerciales o institucionales pueden contener materiales tóxicos que perjudicarían el proceso de tratamiento. En las áreas que tienen gran número de entidades comerciales, se recomienda que las ETLF apliquen flujos paralelos de tratamiento, uno para manejar lodos de residencias y otro para los de sitios comerciales.

Dependiendo del marco institucional y la configuración entre los actores a cargo de la recolección, el transporte y tratamiento, puede utilizarse un sistema de actas de entrega para registrar el origen, volumen y las características especiales de los LF. Puede completarse un formulario en el origen de los LF, firmado por el propietario (Figura 11.3). Cuando los camiones traen LF de varias estructuras descentralizadas, el formulario debe incluir esta información. Entonces el chofer lleva el acta y la presenta en la ETLF para su revisión por los empleados operativos antes de la descarga. Una vez que esté aprobada la carga, entonces el operador firma el acta y se la devuelve al chofer como constancia de que los lodos fueron descargados en la estación.

Los operadores de las ETLF deben capacitarse en la inspección física de las muestras de lodos. En caso de alguna duda sobre el origen de la carga, deben tomarse muestras e inspeccionarlas en cuanto a su color, olor y la presencia de grasa o aceite. Los LF de fuentes residenciales tienen su apariencia visual distintiva, así como

#### Formulario del acta de entrega

Origen de los Lodos fecales

Nombre (propietario de la vivienda) \_\_\_\_\_  
 Dirección \_\_\_\_\_  
 Fecha y hora de la recolección \_\_\_\_\_

Fuente y volumen de los lodos

Fuente	Marque uno	Volumen (metros cúbicos)
Residencial		
Comercial o industrial		
Institucional		
Estación de depuración de aguas residuales		

Con los desechos comerciales o industriales se deben tomar muestras y realizar ensayos antes de descargarlos en la estación de tratamiento para asegurar que el material no contamine su proceso. Esta contaminación puede deberse a grasas, aceites, metales y sustancias químicas.

Descripción de los desechos comerciales e industriales

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Vaciador o transportista

Operador o compañía	
Dirección	
Tipo de vehículo	
Número de placa	
Nombre del chofer	
Firma	
Número de la licencia de manejo del chofer	
Nombre de acompañante	

Aprobado por el representante autorizado

(Nombre y firma)

**Figura 11.3 Formulario del acta de entrega que identifica el origen y el volumen de los lodos fecales, junto con los datos del chofer (adaptado del Departamento de Salud de las Filipinas, 2008).**

la tienen las cargas contaminadas con un exceso de grasa y aceite. Las cargas que no se ajustan a las normas establecidas deben rechazarse si la segregación no es posible.

## 11.4 PLANES DE OyM

El plan de OyM proporciona los detalles sobre las tareas, materiales, equipos, herramientas y procedimientos de muestreo, monitoreo y seguridad que son necesarios para que la estación funcione bien. Estos tienen implicaciones para los costos que se deben considerar detenidamente.

### 11.4.1 Procedimientos Operativos

Las ETLF requieren procedimientos operativos claros. Por lo tanto, los planes de OyM deben incluir un manual de operación con la siguiente información:

- Dibujos de la ingeniería y las especificaciones de la ETLF;
- Manuales de operación de los equipos;
- Lista de las personas responsables de cada tarea;
- Frecuencia de cada actividad;
- Procedimientos de operación y herramientas requeridas para realizar la tarea;
- Medidas de seguridad requeridas; y
- Información que se debe monitorear y registrar.

Si se requieren sustancias químicas u otros insumos consumibles para la operación de un componente específico, también deben enumerarse juntamente con el nombre de su proveedor e información sobre cómo se deben utilizar y guardar. Si algunas de las actividades operativas requieren acudir a compañías externas, o si una compañía de transporte hace falta para descargar los productos finales, el manual de operación también debe incluir su información de contacto y descripción. El manual de operación también debe tener una sección especial para los requisitos operativos de emergencia o no rutinarios. Deben planificarse los procedimientos para casos específicos, como los eventos climáticos extremos, los apagones eléctricos, la sobrecarga, la rotura de una bomba, tanque o canal y otros accidentes. Todos los procedimientos dispuestos en el manual de operación deben elaborarse en conformidad con las leyes y normas de la localidad.

Todas las tecnologías de tratamiento descritas de los Capítulos 5 al 9 requieren el control de los siguientes aspectos:

- Retiro de los materiales que taponan los tamices;
- Carga (cantidad, calidad y frecuencia);
- Procesamiento (p.ej., mezclar los montículos de compost, añadir sustancias químicas para el secado mecánico);
- Tiempo de retención;
- Extracción, tratamiento adicional o disposición final de los productos finales sólidos;
- Recolección y tratamiento adicional o disposición final de los productos finales líquidos; y
- Almacenamiento y venta de los productos finales.

Los procedimientos operativos deben tomar en cuenta el clima y las demás variables que dependen del contexto. El tiempo de secado o de retención podrá variar ampliamente entre los periodos de sequía y de lluvias intensas. Los eventos de lluvia también podrán aumentar los volúmenes de LF entregados en la ETLF si las estructuras de saneamiento descentralizado no fueron construidas adecuadamente, debido a la escorrentía o incrementos en el nivel de las aguas freáticas. Entonces, las actividades operativas en la ETLF podrán planificarse para tomar en cuenta estos aspectos. Por ejemplo, se podría desyerbar las malezas y cosechar las plantas cultivadas en los lechos de secado con plantas durante una temporada seca, cuando potencialmente haya menos LF que tratar y el tiempo de secado sea más corto.

El procedimiento operativo también debe tomar en cuenta las características de los LF (p.ej., su viscosidad, cantidad de basura, grado de estabilización) y el grado de tratamiento requerido. La información recopilada por el sistema de monitoreo también necesita considerarse para mejorar el procedimiento operativo y la planificación respectiva. Por ejemplo, la frecuencia de la extracción del lodo de un tanque de sedimentación y espesamiento o de una laguna de estabilización de desechos puede regularse según la cantidad observada de acumulación de lodos a través del tiempo.

### 11.4.2 Procedimientos de mantenimiento

Hay dos tipos principales de actividades de mantenimiento: el preventivo y el reactivo. Los programas bien planificados de mantenimiento preventivo suelen evitar las intervenciones reactivas, quedando solo las situaciones de emergencia, que en muchos casos son más costosas y complejas. Los colapsos de componentes de las ETLF pueden producir el fracaso de todo el sistema o su incumplimiento de las normas. Por lo tanto, cada componente de la ETLF tiene requisitos específicos de mantenimiento preventivo que se deben describir detalladamente en un plan de mantenimiento, incluyendo las tareas, su frecuencia y los procedimientos paso a paso para realizarlas, incluyendo su inspección. La inspección física realizada a intervalos programados es importante para que los operadores busquen indicadores específicos como alambres con el aislamiento roto, hormigón con grietas y tubos descoloridos y quebradizos, para identificar las necesidades del mantenimiento preventivo.

El plan de mantenimiento debe guiarse por el contexto local, el clima y la información de monitoreo específica del caso. Por ejemplo, las ETLF en la costa pueden requerir pintura y control de corrosión más frecuentes debido a la salinidad en el aire, en comparación con una estación similar pero ubicada lejos de la costa. Los detalles de las tareas incluyen los equipos, las herramientas, el tiempo y los suministros requeridos para llevarla a cabo. Una vez realizada, los detalles de la tarea deben anotarse en el diario de registro de mantenimiento de los equipos o en la base de datos, incluyendo cualquier dificultad que haya surgido.

Las tareas frecuentes de mantenimiento incluyen:

- Control de corrosión (raspar el óxido, pintar las superficies metálicas y reparar el hormigón dañado);
- Extracción de los lodos y sólidos gruesos de los tanques y canales;
- Cambiar los empaques, abrir y cerrar las válvulas (es decir, ubicar y mantenerlas totalmente funcionales);
- Lubricar los equipos mecánicos, como bombas, centrífugas o camiones de vaciado; y
- Realizar el aseo, incluyendo la recolección de basura y el desyerbe.

### 11.5 GESTIÓN DE BIENES

El manejo de los activos es un enfoque integral en el mantenimiento de las ETLF, para maximizar su eficacia a largo plazo, con el menor costo posible. Los rubros de gastos en la vida útil de un bien incluyen:

- Inversión para adquirirlo e instalarlo;
- Mano de obra requerida para la operación y mantenimiento;
- Repuestos para las reparaciones;
- Insumos consumibles esenciales, como grasas o sustancias químicas; y
- Costos de reposición una vez que el componente haya llegado al final de su vida útil.

El mantenimiento de unas reservas (un *'stock'*) de herramientas y suministros requeridos para las necesidades operativas a largo plazo es una parte integral de los costos de la vida útil de un bien e idealmente deben estar disponibles en cada ETLF (Lüthi *et al.*, 2011). Por otro lado, si varias ETLF dependen de los mismos equipos, se podría organizar un depósito centralizado.

La gestión de bienes es crucial para las grandes ETLF y los siguientes aspectos deben incluirse en el plan de mantenimiento (USEPA 2012):

- El estado actual de los bienes;
- Su estado mínimo funcional;
- Los bienes que son imprescindibles para un rendimiento continuo;
- Los costos mínimos de su vida útil; y
- La estrategia de financiamiento a largo plazo.

Sin un inventario de los bienes, no se puede hacer ninguna comparación de los costos de los equipos, ni de la importancia de los bienes. Los componentes que son cruciales para la operación de la ETLF deben resaltarse y, una vez que sean ocupados, deben reponerse inmediatamente. Por lo tanto, en estos casos es importante contar con un proveedor confiable y celebrar un acuerdo que asegure un servicio ágil. En el Caso de Estudio 11.1, se presenta un ejemplo del colapso de una ETLF por la falta de personal permanente y porque no constaba la bomba como componente clave.

## 11.6 MONITOREO

El mantenimiento de una ETLF requiere un entendimiento detallado de los procesos de tratamiento y los requisitos para su rendimiento. Este entendimiento debe basarse en información teórica sobre los mecanismos de tratamiento y el diseño de la tecnología y también sobre un procedimiento de monitoreo que requiere

### Caso de Estudio 11.1: Ejemplo del colapso de una estación de tratamiento

(Adaptado de Bassan, 2009)

Se construyó una ETLF con un canal con tamicos, dos tanques paralelos de sedimentación y espesamiento, nueve lechos de secado sin plantas y un tubo que transportaba la fracción líquida hasta las lagunas de estabilización en la cercana estación depuradora de aguas residuales.

En el 2009, después de menos de cinco años de operación, la ETLF dejó de funcionar durante algunos meses, pese a que se hayan seleccionado tecnologías resistentes. Esto se debió en parte al proceso de diseño mediante el cual se seleccionaron bombas que no eran lo suficientemente poderosas para extraer los lodos espesados del fondo de los tanques, pero también se debió a una extracción insuficiente de los lodos por los camiones aspiradores. Como resultado, los tanques de sedimentación y espesamiento no se vaciaron durante varios meses, los lodos no fueron secados en los lechos y las piscinas de estabilización de desechos se saturaron con altas cargas de sólidos suspendidos. Adicionalmente, no se hizo ningún mantenimiento en los lechos ni en los medios filtrantes, lo que produjo la degradación de las paredes y válvulas. Por consiguiente, se tuvo que gastar grandes montos para desyerbar y reestablecer un rendimiento adecuado.

Esta situación fue el resultado de una estrategia débil de recursos humanos (RR.HH.), la falta de procedimientos precisos para la OyM y un sistema administrativo demasiado rígido. No hubo personal permanente en el sitio de tratamiento, sino que se contrataban jornaleros que, en muchos casos, no tenían capacitación alguna. Este modo de reclutamiento no favorece un mismo hilo de información (lo que es imprescindible para un mantenimiento cabal) y tampoco permite que las actividades operativas sean continuas. Adicionalmente, no se contrató ningún técnico mecánico calificado para reparar la bomba. Una vez que se comunicó esta información a la oficina matriz, se realizó el trabajo requerido de reparación y mantenimiento y la ETLF pudo operar de nuevo eficientemente.

Este ejemplo demuestra el grado de influencia de la prioridad que se da a los RR.HH. que operan la ETLF, en su rendimiento y viabilidad a largo plazo. Por lo tanto, es esencial contar con un presupuesto suficiente para poder contratar a un personal permanente y calificado. También resalta que la operación de una ETLF requiere un proceso flexible de manejo interno. Si el procedimiento jerárquico es demoroso y complejo, las reparaciones o mejoras no serán posibles con agilidad, lo que podría causar el deterioro de la estación.

planificación específica, infraestructura (p.ej., un laboratorio), personal y financiamiento. El programa de monitoreo debe estructurarse para brindar al personal operativo suficiente información para optimizar el funcionamiento de la estación en forma continua y controlar la calidad de sus efluentes. El monitoreo podrá incluir toda una gama de diferentes métodos, como los siguientes:

- Observaciones visuales o sensoriales: esto incluye la inspección de las condiciones de la estación, como la formación de una nata sobre la laguna de tratamiento, el color del lodo o los olores que emane un tanque de bombeo;
- Medición en la fuente: esto incluye papel tornasol o kits que pueden utilizarse en el campo para medir el pH, el oxígeno disuelto o la temperatura; y
- Análisis de las muestras en el laboratorio (en el mismo sitio o en otro lugar).

El monitoreo es costoso y requiere mucho tiempo. Es imprescindible contar con un plan de monitoreo por escrito que ayudará a los operadores a recolectar y organizar los datos pertinentes y exactos que sean requeridos. Este plan se basa sobre los siguientes aspectos:

- ¿Por qué se requiere la información?;
- ¿Qué información será obtenida?;
- ¿Cómo y cuándo se recopilará la información o las muestras en el campo?; y
- ¿Quiénes las recolectarán?

### 11.6.1 Monitoreo de parámetros microbiológicos y físico-químicos

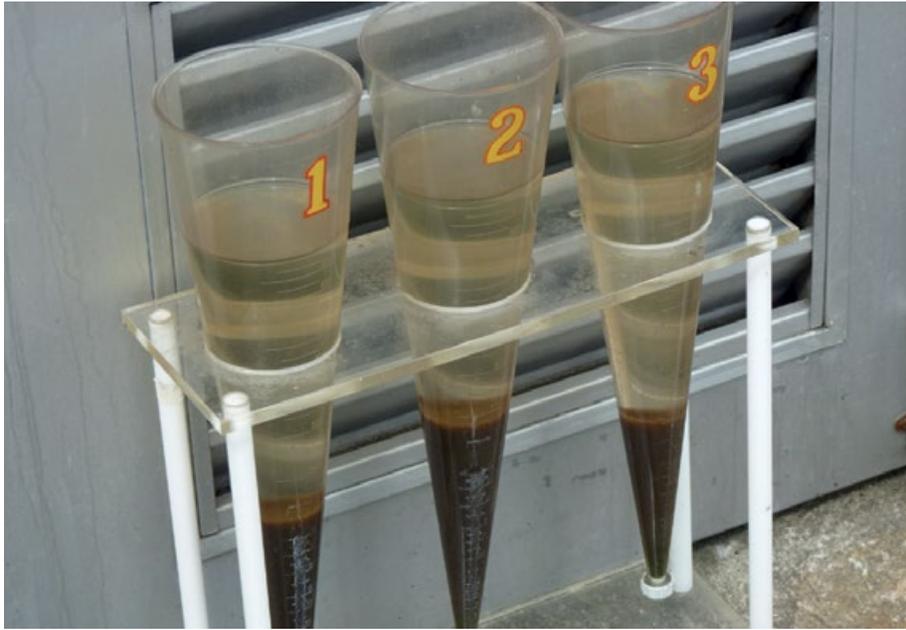
La planificación de un programa eficiente de análisis de laboratorio brinda los datos necesarios para tomar las decisiones operativas e informar de los resultados. Mientras más exacta y oportuna sea la información, mejores serán las decisiones operativas que se puedan tomar. Por ejemplo, la carga y el tiempo de retención en una laguna de estabilización de desechos o en un digester anaeróbico podrán regularse basándose en los resultados del análisis de laboratorio. Si los análisis de laboratorio revelan valores de la demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos suspendidos que están por encima de las normas para la descarga, podrá aumentarse el tiempo de retención a fin de mejorar el rendimiento del tratamiento.

El formulario de la 'Cadena de Custodia' es el mecanismo para que la persona que muestrea en la ETLF pueda comunicarse con el personal de laboratorio acerca de las muestras y solicitar los ensayos analíticos correspondientes. Proporciona un registro escrito de las condiciones del muestreo en el campo, de las instrucciones especiales y una lista de quiénes fueron los responsables de las muestras en todo momento. La información específica incluye:

- Identificación de las muestras;
- Condiciones del sitio en el momento del muestreo;
- Instrucciones para el laboratorio sobre cuáles ensayos analíticos se deben realizar con cada muestra; y
- Fecha, hora y firma de cada persona que tenga custodia de la muestra.

Los parámetros que más suelen analizarse incluyen (HPCIDBC, 2011):

- Contenido de sólidos suspendidos: estos análisis ayudan a evaluar el rendimiento de la sedimentación y la separación de sólidos y líquidos (Figura 11.4);
- Contenido de humedad en los productos finales: este parámetro permite estimar la eficacia del secado;
- Demanda biológica y química de oxígeno en la fracción líquida: estos parámetros monitorean el oxígeno disponible, que tiene un impacto directo para la vida acuática;
- Contenido de nutrientes (en especial de nitrógeno y fósforo) que influye en el potencial de recuperación de recursos en la agricultura, así como el riesgo de eutrofización de los cuerpos de agua; y
- Contenido de patógenos: esto implica una evaluación de la presencia y número de *E. coli*, coliformes fecales o huevos de helmintos, lo que permite controlar los riesgos relacionados con las enfermedades transmitidas por el agua.



**Figura 11.4** Ensayos de sedimentación en la estación de tratamiento de lodos fecales manila Water South, en las Filipinas (foto: David M. Robbins).

Estos parámetros de monitoreo pueden ajustarse según las tecnologías utilizadas, las normas locales para las descargas de efluentes y los objetivos de uso final (Capítulos 2 y 10). Por ejemplo, posiblemente no sea necesario evaluar el contenido de patógenos si los productos finales serán utilizados como combustible en un horno de cemento, pero el pH puede ser un factor muy importante al procesarlos en un digestor anaeróbico.

El monitoreo en laboratorio requiere procedimientos estrictos y personal calificado, así como recursos significativos para operar y mantener los equipos analíticos y la infraestructura y adquirir los insumos consumibles requeridos. Por lo tanto, se requiere un presupuesto específico para el laboratorio. Algunas tecnologías requieren un monitoreo más complejo en el laboratorio para asegurar la eficiencia del proceso (p.ej., el compostaje, los lodos activados, el tratamiento con cal), mientras que otras tan solo requieren el análisis de laboratorio para evaluar el rendimiento del tratamiento. Los laboratorios también requieren procedimientos de aseguramiento de calidad y control de calidad (QA y QC).

Al requerir análisis específicos, se pueden contratar laboratorios externos para realizar estos procedimientos. Los laboratorios contratados son una fuente importante de información y apoyo para la operación de las ETLF. En caso de usar laboratorios externos para el programa de monitoreo, se requiere una definición clara de las técnicas del muestreo, los métodos de preservación para mantener la integridad de las muestras y los procedimientos para el análisis de las mismas. Las ETLF que ocupan laboratorios contratados podrán solicitar copias de su plan de QA y/o QC para revisar sus procedimientos y verificar que cumplan con los requisitos.

### 11.6.2 Manual de análisis

Si se requieren análisis de laboratorio para una ETLF específica, se debe proporcionar un manual de análisis que contenga la siguiente información:

- Frecuencia de muestreo, el sitio y procedimiento (p.ej., muestras separadas o compuestas) y las condiciones bajo las cuales deben transportarse estas muestras;
- Almacenamiento de las muestras y de las sustancias químicas (p.ej., el tipo de recipiente, los químicos requeridos y la temperatura);
- Protocolo de los análisis para cada parámetro, lo que se debe hacer basado en métodos estandarizados, de ser posible;
- Plan de QA/QC para el muestreo y cualquier actividad analítica en el sitio para asegurar la exactitud de los datos analíticos;

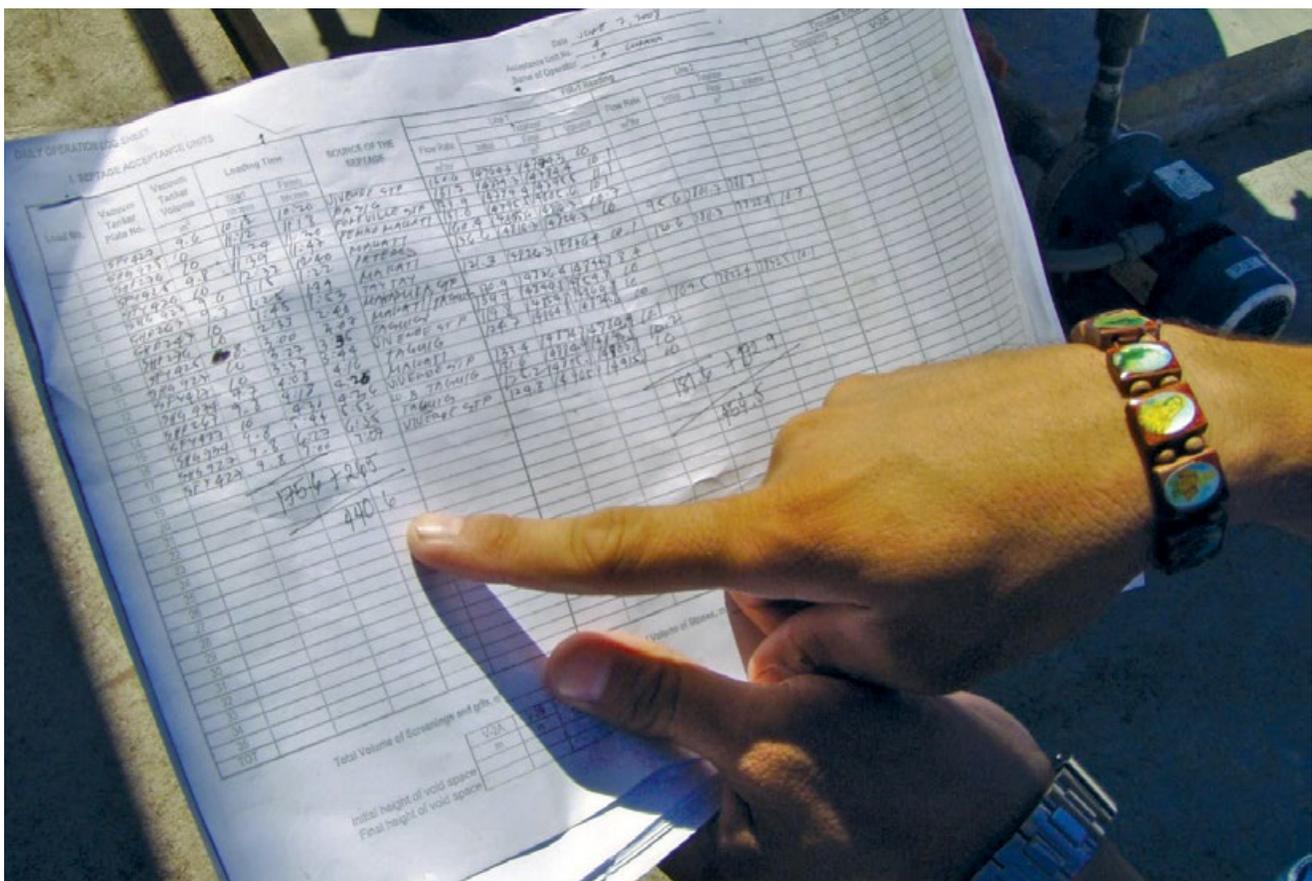
- Requisitos para la toma de muestras divididas o duplicadas o muestras testigo para controlar las condiciones de transporte; e
- Información sobre la calibración y el mantenimiento del laboratorio y de los equipos en la estación (p.ej., la sonda para el contenido de oxígeno y la evaluación del pH).

## 11.7 REGISTROS A MANTENER

En programas eficaces de OyM, se debe llevar registros precisos de todas sus actividades, su monitoreo y cualquier desperfecto. Los operadores suelen consultar sus registros para identificar las fluctuaciones anteriores en la operación de la estación y problemas operativos que podrían repetirse periódicamente, revisar la eficacia de las medidas de mitigación que se hayan aplicado para corregir los problemas operativos en el pasado y para optimizar los procedimientos. Por lo tanto, estos registros deben ser accesibles con facilidad para los operadores de las ETLF.

Unos ejemplos de registros que son útiles en una ETLF incluyen:

- Información sobre su operación, incluyendo los registros diarios de las operaciones, el diario de registro de los operadores, los informes de actas de entrega (Figura 11.5), la hoja de datos operativos de la unidad de tratamiento y otros registros relacionados con las entregas de LF a la estación;
- Respuesta a eventuales desastres o emergencias;
- Mantenimiento preventivo y correctivo, incluyendo los diarios de registros del mantenimiento de los equipos y los informes de bodega;
- Informes de cumplimiento de las normas, incluyendo datos analíticos y de campo, junto con la correspondencia de los funcionarios reguladores; y
- Personal presente, incluyendo sus horarios de trabajo, hojas de control horario, e informes de accidentes.



**Figura 11.5** Informes de recepción permiten el seguimiento al número total de cargas entregadas, la hora, la fecha y el nombre del chofer. Estos registros son importantes para el mantenimiento en todas las estaciones de tratamiento de lodos fecales (foto: David Robbins).

El tipo de registros y el tiempo durante el cual se los retiene en una estación específica serán determinados por el tamaño de la ETLF, sus requisitos reglamentarios y las tecnologías utilizadas. Ya que estos registros serán utilizados por el personal para apoyar la operación cotidiana de la estación, se debe resumir la información para optimizar el plan de OyM, así como la planificación de cualquier ampliación o el diseño de una nueva estación. Una explicación de algunos de los aspectos claves de los registros se presenta en las siguientes secciones.

### 11.7.1 Diario de registro de los operadores

El libro diario de los operadores puede ser el registro más importante para una ETLF, ya que constituye un medio de comunicación entre los operadores de la estación y provee un registro escrito de los eventos importantes. Las anotaciones más comunes incluyen el nombre de las personas que están en servicio durante el turno, las condiciones climáticas, desperfectos de los equipos, problemas operativos, mensajes telefónicos importantes, información de seguridad y acciones tomadas en respuesta a circunstancias inusuales. Un extracto de un diario de registro típico de un operador se presenta en el Caso de Estudio 11.2 del Código Administrativo de Nueva Jersey, EE.UU., sobre el Manejo de Aguas Residuales.

### 11.7.2 Informes de monitoreo de recepción de lodos

La cantidad de LF recibidos en la estación cada día, las tarifas de descarga cobradas y las novedades reportadas por los choferes o empleados quedan registrados en los informes de monitoreo de recepción. Es crucial mantener informes certeros de monitoreo de recepción, porque minimizan el fraude y ayudan a garantizar que los LF recolectados sean entregados en la ETLF, en vez de descargarse en otro lado.

### 11.7.3 Hojas de registro de cada unidad de tratamiento

Las hojas de operación de la unidad de tratamiento se usan para registrar: la cantidad de LF cargada; las actividades operativas realizadas (p.ej., la carga de LF o extracción de productos finales); la variable operativa aplicada (p.ej., la relación de mezcla entre lodos frescos y estabilizados o de adición de cal); la cantidad de productos finales y basuras extraídas; y los insumos consumibles requeridos. El número de empleados necesarios y sus destrezas requeridas para realizar las actividades también deben registrarse, junto con las dificultades encontradas y su posible solución. Estas hojas constituyen, entonces, los registros históricos del mantenimiento realizado con cada equipo, los desperfectos experimentados y la solución aplicada, juntamente con el presupuesto y los RR.HH. requeridos. Debe diferenciarse entre el mantenimiento preventivo y el reactivo y deben hacerse recomendaciones para optimizar el proceso de planificación.

#### **Caso de Estudio 11.2: Extracto del Código Administrativo de Nueva Jersey, EE.UU., acerca del manejo de las aguas residuales (diario de registro de los operadores)**

Los resultados de todas las inspecciones de equipos mecánicos y de accesorios relacionados que son imprescindibles para una OyM adecuada del sistema se registrarán en forma manual en tinta y se mantendrán en libros encuadernados del diario de registro de las inspecciones o se mantendrán en bases de datos computarizadas aseguradas u otro método equivalente para mantener los registros. Los diarios de registro o bases de datos computarizadas o el archivo o su equivalente también incluirán:

- Hora, fecha y temática de toda inspección del sistema;
- Informes de todas las fallas, colapsos, problemas, desvíos, fallas de bombas, acontecimientos, emergencias, reclamos o factores de intervención dentro del sistema que produzcan divergencias de la rutina de los procedimientos de OyM y las situaciones que tengan el potencial de impactar en la salud pública, seguridad, bienestar, ambiente o que tengan el potencial de incumplir en permisos, regulaciones o leyes;
- Registros de las acciones de compostura o seguimiento, así como los protocolos aplicados para corregir todos los asuntos indicados; y
- Fecha y hora de cada anotación, junto con el nombre de la persona que la hizo.

#### 11.7.4 Interpretación y comunicación de los datos técnicos

Los datos recolectados en el laboratorio y del monitoreo en el sitio, como los diarios de registro, los informes y las hojas de registro, se utilizan para optimizar el rendimiento del tratamiento mediante el reajuste de los procedimientos de OyM. Por ejemplo, el volumen de LF que se pone en los lechos de secado con plantas podrá reajustarse al comparar los resultados del laboratorio y observar la carga de contaminantes y el tiempo de retención (Kooottatep *et al.*, 2005). Entonces, es posible identificar las condiciones óptimas de operación y mejorar el rendimiento del tratamiento.

Toda la información recolectada mediante el monitoreo y los registros debe analizarse para elaborar informes de comunicación interna. Un sistema eficaz de comunicación es crucial para optimizar los procedimientos administrativos y operativos del manejo y también asegura que todos los empleados tengan información completa sobre la operación de la ETLF. Por lo tanto, este sistema de comunicación debe definir también la frecuencia de entrega de informes a fin de proveer oportunamente la información necesaria para la toma de decisiones.

Para asegurar que se utilicen los datos e informes del monitoreo, que se generen las conclusiones acertadas y que se tomen las acciones de seguimiento, los informes operativos y de laboratorio deben estar a la disposición de todo el personal. También, es necesario capacitar adecuadamente a los técnicos de laboratorio y al personal operativo de la ETLF, para que puedan entender los resultados de análisis. Si los datos generados quedan fuera del rango previsto, el técnico del laboratorio y el personal operativo deben reunirse para analizar los reajustes necesarios en las actividades operativas. Todos los datos registrados en las hojas de monitoreo y en los informes de los análisis de laboratorio deben juntarse en un informe resumido o en una base de datos que presenta una visión general del rendimiento y las dificultades de la ETLF en los meses y años anteriores. Por ejemplo, es importante saber cuántas veces falla una bomba durante el periodo de un año para reajustar la planificación del mantenimiento, mejorar el tamizaje previo o instalar un mejor tipo de bomba. Las épocas del año también influyen en las actividades de OyM y deben considerarse en el respectivo plan para optimizar las actividades operativas bajo diferentes condiciones climáticas.

### 11.8 SEGURIDAD EN LA ESTACIÓN

Las ETLF son infraestructuras críticas y, por lo tanto, deben impedir el ingreso no autorizado y el vandalismo, mediante cerramiento del perímetro y personal de seguridad. Los gerentes de las ETLF también pueden crear una cultura de seguridad aplicando los siguientes lineamientos:

- Incluir la seguridad como tema en las reuniones y conversaciones del personal;
- Contratar a un oficial de seguridad o asignar esta función a un miembro responsable del personal;
- Hacer cumplir las políticas y procedimientos de seguridad de manera consistente y equitativa; y
- Brindar capacitación sobre seguridad a todo el personal.

#### 11.8.1 Salud y seguridad

Existen muchos peligros para la salud y seguridad asociados con las tareas de Operación y Mantenimiento de una ETLF. Por eso, los aspectos de Salud y Seguridad deben constituir una parte integral del plan de OyM, pero en muchos casos no reciben suficiente atención.

El “Plan de Salud y Seguridad” describe los procedimientos, prácticas y equipos que debe utilizar el personal a fin de realizar sus actividades de una manera segura. Se elabora específicamente para cada ETLF, pero también contiene los aspectos que son comunes para todas. La administración debe hacer cumplir estrictamente los procedimientos de salud y seguridad, elaborando el plan de seguridad y también mediante afiches y rótulos ubicados en las áreas de riesgos (p.ej., piscinas, tanques, aparatos eléctricos y espacios confinados). Un ejemplo de un aviso de seguridad se presenta en la Figura 11.6. A partir de la experiencia de los autores, los siguientes temas deben incluirse en los Planes de Salud y Seguridad:

- Equipos de protección personal (EPP) y medidas de seguridad para las actividades de OyM;
- Control de infección y medidas de higiene;



**Figura 11.6** Rótulos de seguridad son buenos recordatorios de los procedimientos correctos a seguir (foto: David M. Robbins).

- Procedimientos de contacto en emergencias;
- Prevención de caída o ahogamiento;
- Prevención de entrada a espacios confinados; y
- Seguridad eléctrica y el uso del procedimiento de aplicar candados y rótulos a todo circuito que esté sometiéndose a trabajos (para evitar que se enciendan durante la reparación o revisión; 'Lock-Out Tag-Out').

Se pueden encontrar más detalles y recomendaciones en el sitio Web de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales (<http://www.osha.gov/>). Las siguientes secciones explican cada uno de estos aspectos más detalladamente.

### 11.8.2 Equipos de protección personal

El equipo de protección personal (EPP) minimiza la exposición de los empleados a las condiciones peligrosas e incluye:

- Cascos para proteger la cabeza de objetos que caigan;
- Protección para los ojos, como gafas de seguridad o caretas de protección contra la exposición a polvo, sustancias químicas o LF;
- Guantes para proteger las manos de químicos o lesiones, hechos de caucho u otros materiales según el peligro específico;
- Aparatos para la seguridad respiratoria, como respiradores, mascarillas contra el polvo o equipos de respiración autónoma (ERA), para las tareas específicas que los requieran;
- Otra ropa protectora, incluyendo overoles y protección para los pies; y
- Otros equipos requeridos para la seguridad en tareas específicas.

Mientras el plan de salud y seguridad detalla los EPP requeridos para cada tarea, es la responsabilidad de la administración asegurar que se los proporcionen, que el personal reciba capacitación en su uso correcto y que a su vez cumpla con los requisitos del uso.

También, se requieren procedimientos claros de seguridad para toda actividad de OyM y monitoreo en la ETLF, incluyendo: la recepción y los movimientos de los camiones; la descarga de LF; la OyM de los equipos; el uso, almacenamiento y disposición final de las sustancias químicas; el muestreo de los diferentes procesos; y el procesamiento y entrega de los productos finales. Por ejemplo, los requisitos de seguridad para recepción de los camiones y su descarga incluyen el uso de trabas para inmovilizar las ruedas durante la descarga o cuando los están estacionados, el uso de EPP y la prohibición de fumar.

### 11.8.3 Prevención de infecciones

Por su propia naturaleza, los LF constituyen material infeccioso. En muchos casos, contienen bacterias, virus u otros patógenos que pueden producir enfermedades. Los trabajadores deben tener las vacunas apropiadas (p.ej., contra hepatitis A, tétano) y seguir los procedimientos higiénicos en todo momento al manejar equipos que podrían haber entrado en contacto con materia fecal. Los trabajadores deben tener acceso a duchas y áreas para lavarse las manos, así como una zona de vestidores donde cambiarse de ropa. Los procedimientos para la prevención de las infecciones incluyen:

- Usar EPP apropiados para proteger la piel del contacto con materia fecal;
- Lavarse las manos antes de comer o después de estar en contacto con materia fecal;
- Abstenerse de comer o beber en las áreas donde se almacenan o procesan los LF o las sustancias químicas;
- Reportar cualquier enfermedades a los supervisores de la estación inmediatamente; y
- No fumar, ya que así se pueden introducir patógenos fecales en la boca.

### 11.8.4 Procedimientos para emergencias

Los procedimientos de contactos para las emergencias proporcionan los números telefónicos e información correspondiente que puede usar el personal en tales casos. Esta lista debe exhibirse en una zona común que sea accesible para todo el personal y donde exista un teléfono funcional. En toda ETLF, pero especialmente en las que están en lugares remotos, debe haber un botiquín de primeros auxilios. El procedimiento para las emergencias generalmente incluye las siguientes acciones:

- Avisar al gerente de la estación;
- Llamar al personal apropiado de emergencia (p.ej., bomberos, policía);
- Evacuar al personal según la situación (p.ej., explosión, incendio o derrame químico); y
- Brindar apoyo a los afectados hasta que llegue el personal de emergencias para tomar control de la situación emergente.

Las emergencias deben documentarse en un formulario de emergencias, que luego se remite a la administración para su investigación. Todas las emergencias también deben detallarse completamente en el diario de registro de los operadores.

### 11.8.5 Prevención de caídas y ahogamiento

En las ETLF con lagunas de estabilización o tanques grandes, debe haber un programa de prevención de ahogamiento, mediante equipos de seguridad, señalización y capacitación. Las estaciones con grandes celdas en sus lagunas suelen tener botes para realizar las tareas de OyM. En estas situaciones, los trabajadores deben usar chalecos salvavidas, trabajar en parejas y recibir capacitación en los procedimientos correctos para minimizar el peligro de ahogarse. En toda ETLF, deben tomarse las medidas necesarias para reducir el riesgo de resbalarse, por ejemplo al evitar que se derramen los LF y, por otro lado, asegurar que las bocas de revisión estén tapadas para evitar que las personas se caigan adentro.

### 11.8.6 Espacios confinados

Se define como ‘espacio confinado’ cualquier lugar dentro de una ETLF que esté encerrado y tenga acceso limitado, como tanques y pozos vacíos. Son potencialmente peligrosos para la respiración humana debido a su reducido flujo de aire, bien sea por la falta de oxígeno o por la posible presencia de gases químicos, como el cloro o el sulfuro de hidrógeno. Para evitar los accidentes en estos lugares, se recomienda seguir un programa de ‘Permiso de Ingreso a Espacios Confinados’.

El primer paso en este programa es que la gerencia identifique todos los espacios confinados de la estación. Al requerir mantenimiento en estas áreas, podrán definirse ciertos procedimientos para proteger al trabajador, como los siguientes:

- El trabajador debe llenar un formulario para ingresar a un espacio confinado, que luego es firmado por su supervisor;
- Antes de ingresar, se comprueba la atmósfera con un medidor de oxígeno o, en el caso de bocas de revisión del alcantarillado, con un medidor de sulfuro de hidrógeno; y
- El trabajo se realiza entre dos compañeros: uno que ingresa al espacio confinado, asegurado con un arnés conectado a una soga de seguridad y otro que permanece afuera del espacio confinado, listo para prestar apoyo en caso de que sea necesario. Cuando se termina el trabajo, se devuelve el permiso al supervisor para que lo firme de nuevo, indicando que se ha cumplido la tarea.

### 11.8.7 Seguridad eléctrica

Las ETLF que cuentan con equipos eléctricos deben aplicar procedimientos específicos para garantizar la seguridad de sus trabajadores durante las actividades de OyM con estos equipos. Un ejemplo de este tipo de procedimiento de seguridad es poner un candado y una etiqueta (‘Lock-out Tag-out’), procedimiento que asegura que el interruptor para el equipo que se está reparando quede apagado y con un candado que asegura esto. Se coloca en ese interruptor una etiqueta que especifica el trabajo que se realizará, la persona encargada del trabajo y la fecha y hora del trabajo. Esta etiqueta debe llevar la firma del supervisor de la estación o del turno y también la del electricista que realiza el trabajo. Cuando la tarea se ha cumplido, el supervisor y el electricista sacan la etiqueta y el candado. Solo así, se puede operar nuevamente el equipo.

## 11.9 GESTIÓN ADMINISTRATIVA

El manejo eficaz de las ETLF requiere una estrategia de administración bien definida y específica para cada una. Si no se incorporan en la estrategia de manejo aspectos como la coordinación del personal, planificación, supervisión y capacitación, esto podría perjudicar su rendimiento en el tratamiento. Esto podrá deberse a débiles destrezas operativas del personal, falta de entendimiento de las prioridades técnicas por parte del personal administrativo, mala comunicación o gerencia financiera deficiente (Caso de Estudio 11.1). Los procedimientos para la OyM y monitoreo de la estación, así como los requisitos de comunicación, deberían ser definidos estratégicamente por los responsables de tomar decisiones, coordinados con la gerencia financiera y de RR.HH. de la compañía. Estos aspectos se describen más detalladamente en las siguientes secciones.

### 11.9.1 Procedimientos financieros

Se recomienda definir los procedimientos financieros basándose en las necesidades operativas. Por lo tanto, deben controlarse los costos operativos y debe reajustarse el presupuesto a partir de los gastos reales. (Los diferentes tipos de costos se analizan en el Capítulo 13.) Debe haber provisiones especiales y mecanismos administrativos específicos para el caso de un desperfecto de los equipos que son imprescindibles para la operación de la ETLF, así como para reemplazar los equipos antiguos. Los procedimientos para la adquisición de herramientas, otras reservas de materiales y equipos de seguridad deben ser ágiles y se debe contar con los recursos específicos necesarios para las reparaciones menores, a fin de asegurar una operación continua (p.ej., reparaciones de un tamiz o una válvula). Por ejemplo, si se daña una válvula o bomba, deben estar inmediatamente disponibles los recursos requeridos para su reparación (sin retrasos de tres o seis meses por un trámite de aprobación presupuestaria).

## 11.9.2 Administración de recursos humanos

La administración de los RR.HH. se refiere a la manera de manejar y capacitar al personal, incluyendo la definición de sus funciones, la cadena de mando y las políticas y procedimientos para las actividades laborales.

Aunque la administración de los RR.HH. puede considerarse como un aspecto clave para el éxito en la operación de cualquier estación de tratamiento, en muchos casos no se definen los mecanismos de financiamiento para asegurar que se dispongan de RR.HH. suficientes y apropiados para operar la ETLF. Los requisitos en materia de RR.HH. pueden definirse basados en las especificaciones de la consultoría del diseño o mediante observaciones de los requisitos operativos durante la puesta en marcha. En algunos casos, cuando las actividades de OyM requieren destrezas o recursos muy específicos (p.ej., conocimientos especializados para la reparación de centrifugas o camiones aspiradores) que no estuvieran disponibles internamente, se pueden contratar servicios externos. En tal caso, se debe proveer lo necesario para que se pueda prestar el tipo de servicio requerido (Caso de Estudio 11.3). En este caso, el servicio y su frecuencia deben definirse claramente para permitir la operación continua de la ETLF.

Sin importar el tamaño de la ETLF, el personal debe tener sus responsabilidades claramente definidas para poder comprender a fondo los requisitos específicos de sus puestos. Por lo tanto, los aspectos de RR.HH. en las ETLF deben incluir:

- Descripción de los canales de comunicación, con la indicación del supervisor de cada empleado;
- Determinación de quién puede tomar cuáles decisiones operativas; y
- Capacitación apropiada y continua para asegurar que el personal pueda cumplir con sus responsabilidades.

## 11.9.3 Personal y sus responsabilidades

Las ETLF pueden tener toda una gama de requisitos de personal, dependiendo del tamaño de la estación, su volumen de tratamiento y el grado requerido de capacidades técnicas.

Un organigrama que detalla claramente las responsabilidades de cada empleado y los canales de comunicación es útil para la administración y capacitación y debe definirse durante la fase de diseño y planificación. Se recluta el personal mediante sistemas adecuados de la administración de RR.HH., basándose en las descripciones de las funciones para cada tipo de empleado.

### Caso de Estudio 11.3: Tercerización de los servicios de mantenimiento para las estaciones de tratamiento

La Operadora Nacional de Agua y Saneamiento en Marruecos (ONEP) tiene la responsabilidad de manejar la operación de varias estaciones depuradoras de aguas residuales en todo el país. Por la amplitud del territorio que administra, la ONEP no alcanza a cubrir el costo de los equipos ni del personal para las actividades específicas de mantenimiento para todas estas estaciones (p.ej., la reparación mecánica de las bombas). Por eso, se requiere contratar a empresas particulares con contratos de cinco años, para asegurar el mantenimiento de los equipos de tratamiento. Cada compañía abarca una región, tiene que cumplir las normas de calidad definidas por la ONEP y sus empleados se capacitan en el centro de capacitación de la ONEP. Este tipo de estructura organizacional permite optimizar los costos de equipos y operaciones y asegura un plan de mantenimiento adecuado para las estaciones de tratamiento.

Esta dependencia de los servicios externos debe manejarse hábilmente. Se debe alentar la colaboración a largo plazo y definir bien las normas de calidad. Si este servicio externo incluye el mantenimiento de los equipos claves y no se lo puede planificar con precisión, el servicio tendrá que estar disponible rápidamente en cualquier de los sitios de tratamiento.

Es posible combinar varias funciones, como por ejemplo de gerente de la estación, oficial de seguridad y técnico de mantenimiento en un solo cargo. Las siguientes secciones describen las responsabilidades de los cargos claves (aparte de los obreros) en una ETLF de una ciudad de tamaño mediano y estas pueden ajustarse según las prácticas y costumbres locales.

## Gerente de estación

El gerente de la ETLF dirige el equipo que se encarga de la administración cotidiana de la ETLF. Determina los objetivos, metas, políticas y prioridades para la OyM y se encarga de:

- Realizar toda la documentación y correspondencia;
- Dirigir el mantenimiento de las instalaciones y equipos y la supervisión del personal;
- Participar en la determinación e implementación de los objetivos, metas, políticas y prioridades;
- Coordinar la organización, el personal y las actividades operativas, incluyendo la responsabilidad de las decisiones críticas sobre cambios operativos, control de los procesos, prioridades para el mantenimiento, programación y cumplimiento con las normas;
- Identificar las oportunidades para mejorar la OyM, el monitoreo y los métodos y procedimientos de seguridad;
- Dirigir, coordinar y revisar el plan de trabajo de la OyM;
- Dirigir los ensayos en varias fases del tratamiento e interpretarlos para determinar los cambios necesarios en los parámetros del tratamiento;
- Dirigir la calibración y reparación de los equipos como bombas, dispensadores de cloro, instrumentos de medición, tableros de control eléctrico y aparatos para desaguar los lodos tratados o digeridos;
- Servir como miembro del equipo en los proyectos de construcción, junto con las compañías o individuos contratados;
- Seleccionar, capacitar, motivar y evaluar el personal asignado;
- Supervisar los programas de seguridad para las secciones y los grupos de trabajo asignados y ayudar con la planificación de acciones para los programas de seguridad; y
- Participar en el desarrollo y administración del presupuesto asignado.



**Figura 11.7** Sacando el lodo de los lechos de secado en la Estación de Tratamiento Bugolobi en Kampala, Uganda (foto: Linda Strande).

## Ingeniero de la estación

El ingeniero de la ETLF es el principal funcionario técnico. Sus responsabilidades generalmente incluyen:

- Asegurar la eficiencia general de la estación y optimizar el proceso de tratamiento;
- Controlar los gastos operativos;
- Organizar y coordinar el trabajo realizado por el personal a su cargo (p.ej., sacar el lodo de los lechos de secado; Figura 11.7);
- Recomendar soluciones técnicas para los problemas que se surjan;
- Contribuir al monitoreo y los informes sobre el rendimiento de los equipos y procesos; y
- Coordinar con los subcontratistas técnicos y proveedores.

## Operador de la estación

El operador de la ETLF se encarga de los aspectos técnicos cotidianos de las operaciones para asegurar que los equipos estén funcionando correctamente y cumpliendo con todos los requisitos. Sus deberes incluyen:

- Realizar inspecciones de los equipos, hacer el monitoreo de las operaciones y recolectar muestras para verificar el rendimiento del sistema, en colaboración con el personal del laboratorio;
- Operar los camiones, bombas, ventiladores, generadores, compresores y otros equipos;
- Comprobar, calibrar, reparar y operar los sistemas de control e instrumentación bajo supervisión;
- Llevar registros de las actividades operativas, así como posibles deterioros y fallas;
- Elaborar informes que resumen los registros y ofrecen recomendaciones para optimizar el sistema; y
- Ayudar con las investigaciones ambientales y acciones de aseo que sean requeridas.

## Técnico de la estación

El técnico de mantenimiento de la ETLF realiza la operación diaria, así como el mantenimiento rutinario y de emergencia, en las instalaciones, bombas, motores, máquinas, filtros, tamices, válvulas, tubos y demás equipos. Sus responsabilidades suelen incluir:

- Verificar, calibrar y mantener los equipos mecánicos, incluyendo el engrasado de las piezas móviles, el cambio de aceite y las demás actividades rutinarias de mantenimiento;
- Mantener edificios, caminos y jardines;
- Realizar el trabajo de aseo;
- Reponer las piezas desgastadas y realizar servicio técnico y reparaciones rutinarias o de emergencia, incluyendo el reemplazo de los motores, rodamientos, rebordes, sellos y otros componentes de los equipos;
- Inspeccionar los equipos mecánicos e hidráulicos que se instalan bajo contrato para asegurar el cumplimiento de los requisitos contractuales;
- Hacer monitoreo de las instalaciones y equipos para identificar y reparar las fugas u otros desperfectos; y
- Llevar registros de las actividades de operación y mantenimiento, elaborando informes que resumen las principales actividades, desperfectos y recomendaciones.

## 11.10 COORDINACIÓN

Se debe fomentar la comunicación entre el personal de OyM y monitoreo de las diferentes ETLF en una misma jurisdicción, entre sí y con sus supervisores. Una comunicación vertical eficaz asegura que los empleados administrativos comprendan las limitaciones y necesidades del personal de OyM y permite que ágilmente se adquieran los repuestos o realicen las reparaciones para asegurar la operación continua de la ETLF. La comunicación horizontal entre las diferentes ETLF les permite intercambiar sus experiencias y, por lo tanto, ayuda a optimizar sus procedimientos. Deben hacerse reuniones frecuentes (semanales o mensuales) para

facilitar las conversaciones entre el personal operativo, de monitoreo y administrativo sobre las dificultades que experimentan y las posibles soluciones. Si la empresa operadora está a cargo de varias ETLF, se puede designar a una persona para que asegure el control de calidad y armonice los procedimientos de OyM entre todas las estaciones. Esto produciría un mejoramiento progresivo de los procedimientos y lineamientos basándose en la experiencia, estandarizándolos para todas las ETLF similares y asegurando la aplicación uniforme de las reglas de seguridad y los procedimientos de OyM.

### 11.11 PERIODO DE PUESTA EN MARCHA

Las ETLF recién construidas requieren un periodo de transición al inicio de su operación para evaluar los procedimientos preliminares. Esto permite definir las medidas de seguridad, líneas de comunicación y frecuencia de las actividades de operación, mantenimiento y monitoreo. Durante este periodo de arranque inicial, debe haber comunicación frecuente entre el personal operativo y administrativo para analizar cualquier problema. Los procedimientos y documentos definitivos (el manual de operación, las fichas informativas, los formularios de monitoreo, los diarios de registros, etc.) son elaborados basados en la información recolectada durante este periodo inicial.

Para algunas tecnologías de tratamiento, el periodo inicial puede incluir determinados procedimientos específicos. Por ejemplo, los digestores de biogás deben iniciarse paulatinamente para permitir el desarrollo de su comunidad de microorganismos anaeróbicos adecuados y asimismo los lechos de secado con plantas deben ser cargados de lodos en forma progresiva para permitir que estas crezcan y se aclimaten.

Aunque una infraestructura y los equipos asociados estén funcionales dentro de un lapso relativamente breve (p.ej., los lechos de secado sin plantas o los tanques de sedimentación y espesamiento), se deben evaluar y optimizar los siguientes aspectos operativos durante el periodo inicial:

- Cantidades de LF descargadas en la ETLF;
- Circulación de los camiones dentro y cerca de la ETLF;
- Cantidades de los desechos que se acumulan en los tamices y la frecuencia adecuada de su retiro;
- Cantidades de LF que se colocan en las unidades de tratamiento;
- Organización de las actividades requeridas para el proceso de tratamiento (p.ej., virar los montículos en las estaciones que incluyen el co-compostaje o los secadores solares de lodos);
- Cantidad y frecuencia de los productos finales que salen de las unidades de tratamiento;
- Tiempo y otras condiciones requeridos para una estabilización eficiente y la eliminación de patógenos, según los objetivos para el uso final;
- Frecuencia y tipo de actividades rutinarias de mantenimiento; e
- Interpretación del monitoreo y su frecuencia.

El tiempo requerido para la puesta en marcha puede variar según la tecnología utilizada. Por ejemplo, aclimatar las plantas en los lechos de secado o lagunas (Figura 11.8) puede requerir de 3 a 6 meses hasta llegar a la eficiencia de tratamiento que se calcula en el diseño. Para algunas tecnologías, también es importante planificar este periodo inicial tomando en cuenta las variaciones climáticas a lo largo del año, ya que influyen en las actividades operativas y el rendimiento. Por ejemplo, el tiempo requerido para que los LF se sequen en la superficie de los lechos de secado sin plantas puede variar considerablemente entre las temporadas secas y lluviosas en los climas áridos. Las cantidades de LF generadas también pueden variar según los patrones de lluvia. Por lo tanto, es útil evaluar las cargas y tiempos de retención más convenientes durante las épocas secas y lluviosas, así como las temporadas más frías o cálidas, y se recomienda que el periodo de puesta en marcha inicial abarque al menos unos seis meses.

Para asegurar el éxito del periodo de puesta en marcha, todo el personal debe recibir la capacitación suficiente para comprender todos los procedimientos necesarios antes de iniciar la operación. Con esta finalidad, deben organizarse visitas a estaciones de tratamiento similares y se les debe dotar de la información básica acerca de los mecanismos de tratamiento. Durante el arranque inicial, es posible que el operador requiera apoyo técnico y gerencial de los expertos en este campo.



**Figura 11.8** Puesta en marcha de un sistema de lagunas para lodos fecales en San Fernando, Filipinas. En este caso, las lagunas fueron inoculadas con lodos activados de una estación de tratamiento cercana. (Foto: David M. Robbins).

Los horarios de operación de la ETLF y los procedimientos para la descarga de los LF (p.ej., las tarifas de descarga y confirmación de las características de los LF) deben someterse al monitoreo durante varios meses y analizarse con los actores de recolección y transporte. Asimismo, se debe evaluar la eficiencia del tratamiento en la estación y la cantidad y calidad de sus productos finales. Por otro lado, se debe determinar y concordar los procedimientos para el uso o disposición final con los actores respectivos.

Al final del periodo de puesta en marcha, todos los procedimientos administrativos, operativos, de mantenimiento, monitoreo y comunicación deben estar definidos y plenamente comprendidos por todo el personal. En ese momento, las versiones definitivas de los documentos operativos (p.ej., planes y manuales de OyM, formatos de los informes de laboratorio, formularios de monitoreo y los planes de salud y seguridad) deben estar desarrollados, validados y aplicados.

## 11.12 BIBLIOGRAFÍA

- Bassan, M. (2009). Metodología d'évaluation des facteurs de succès et d'échec des stations de traitement des eaux usées et des boues de vidange à grande échelle. A methodology to evaluate success or failure of full-scale wastewater and faecal sludge treatment systems. Master Thesis, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suiza. Disponible en: <http://infoscience.epfl.ch/record/140429>.
- Bassan, M., Mbéguéré, M., Tchonda, T., Zabsonre, F., Strande, L. (2013). Integrated faecal sludge management scheme for the cities of Burkina Faso. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* 3(2), p.216–221.
- Bräustetter, A. (2007). Operation and maintenance of resource-oriented sanitation systems in peri-urban areas. Tesis de maestría. Fachhochschule Weihenstephan Abteilung Triesdorf, Fakultät Umweltsicherung, Triesdorf, Alemania. Disponible en: <http://www.susana.org/en/resources/library/details/962>
- Departamento de Salud de las Filipinas. (2008). Operations Manual on the Rules and Regulations Governing Domestic Sludge and Septage. Con apoyo de la US Agency for International Development. Disponible en: [www.waterlinks.org/library/septage-management/operations-manual-governing-domestic-sludge-and-septage](http://www.waterlinks.org/library/septage-management/operations-manual-governing-domestic-sludge-and-septage)
- Fernandes, A., Kirshen, P., Vogel, R. (2005) Faecal Sludge Management, St. Elizabeth, Jamaica. Impacts of Global Climate Change: pp. 1-11. American Society of Civil Engineers. Disponible en: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40792%28173%29120>
- HPCIDBC (2011). Status and Strategy for Faecal Sludge Management in the Kathmandu Valley. High Powered Committee for Integrated Development of the Bagmati Civilization, Nepal.
- Koné, D. (2002). Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'Ouest et du Centre: Etat des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Faculté Environnement Naturel, Architectural et Construit. Lausanne, Suiza, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Tesis de PhD.
- Koné, D. (2010). Making Urban Excreta and Wastewater Management contribute to Cities' Economic Development - A paradigm shift. *Water Policy* 12(4), p.602-610.
- Koottatep, T., Surinkul, N., Polprasert, C., Kamal, A.S.M., Koné, D., Montangero, A., Heinss, U., Strauss, M. (2005). Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate: lessons learnt from seven years of operation. *Water Science and Technology* 51(9), p.119-126.
- Lennartsson, M., Kvarnström, E., Lundberg, T., Buenfil, J., Sawyer, R. (2009). Comparing Sanitation Systems Using Sustainability Criteria. Estocolmo, Suecia: EcoSanRes. Disponible en: <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1138>
- Lüthi, C., Panesar, A., Schütze, T., Norström, A., McConville, J., Parkinson, J., Saywell, D., Ingle, R. (2011). Sustainable Sanitation in Cities: A Framework for Action. Rijswijk, Holanda, Papiroz Publishing House. Disponible en: <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1019>
- USEPA. (2012) Asset Management. United States Environmental Protection Agency página web. Accedido [http://water.epa.gov/infrastructure/sustain/asset\\_management.cfm](http://water.epa.gov/infrastructure/sustain/asset_management.cfm)

### Preguntas para el Estudio de este Capítulo

1. ¿Cuáles factores de operación y mantenimiento son los más importantes a considerar durante la planificación de ETLF? ¿Por qué son importantes?
2. Enumere tres factores que varían según los sitios y que podrían influir en la operación y mantenimiento de las ETLF.
3. Nombre cuatro ejemplos de registros que se deben llevar durante la operación de una ETLF.
4. Explique por qué el monitoreo es crucial en la operación continua de las ETLF.