



# Tecnologías de tratamiento en la práctica

Experiencias sobre el terreno del tratamiento de lodos fecales y aguas residuales

Traducido por: **SuSanA**  
Latinoamérica

Realizado por: **SNV**

**UTS** Institute for Sustainable Futures

## Acerca de SNV

SNV Netherlands Development Organization es una organización de desarrollo internacional sin fines de lucro que hace diferencia en la vida de las personas que viven en la pobreza, ayudándolas a aumentar sus ingresos y acceder a los servicios básicos. Impulsada por los Objetivos de Desarrollo Sostenible, estamos dedicados a una sociedad equitativa en la que todas las personas sean libres de buscar su propio desarrollo sostenible. A través de nuestro trabajo en los sectores de Agricultura, Energía y Agua, Saneamiento e Higiene (WASH, siglas en inglés), ayudar a realizar soluciones de propiedad local que fortalecen a las instituciones, ponen en marcha los mercados y permiten que las personas trabajen para salir de la pobreza mucho más allá del alcance de nuestros proyectos. SNV tiene presencia local a largo plazo en más de 25 países y cuenta con el apoyo de más de 1.300 empleados en todo el mundo.

Para más información ingresar a: [www.snv.org](http://www.snv.org)

## Acerca de ISF-UTS

El Instituto de Futuros Sostenibles (ISF, siglas en inglés) fue establecido por la Universidad de Tecnología de Sydney (UTS) en 1996 para trabajar con la industria, el gobierno y la comunidad pudiendo así desarrollar futuros sostenibles a través de la investigación y la consultoría. Nuestra misión es generar cambios hacia futuros sostenibles que protejan y mejoren el medio ambiente, el bienestar de los seres humanos y la equidad social. Adoptamos un enfoque interdisciplinario de nuestro trabajo e involucramos a nuestras organizaciones asociadas en un proceso de colaboración que enfatiza la toma de decisiones estratégicas. En el desarrollo internacional llevamos a cabo investigaciones estratégicas y compromisos en las áreas de eficacia del desarrollo, agua, saneamiento e higiene, cambio climático, desarrollo urbano y política y planificación energética.

Para más información ingresar a: [www.isf.uts.edu.au](http://www.isf.uts.edu.au)

**Cita:** ISF-UTS y SNV, Tecnologías de tratamiento en la práctica: Experiencias sobre el terreno de lodos fecales y aguas de tratamiento residuales, La Haya, Organización de Desarrollo de los Países Bajos SNV, 2021.

**Autores:** Simone Soeters, Pierre Mukheibir, and Juliet Willetts.

Esta recopilación de casos de estudio se produjo como parte de Saneamiento e Higiene Urbanos para la Salud y el Desarrollo de SNV. (USHHD, siglas en inglés), que actualmente se implementa en 20 ciudades del mundo. Documenta los lodos fecales de la vida real y prácticas de tratamiento de aguas residuales narradas por propietarios de plantas, operadores y personal de SNV en Bangladesh, Indonesia, Kenia y Zambia. También se comparten las cuentas de Malasia, India, Sudáfrica y Benin.

Cada estudio de caso fue revisado por Antoinette Kome y Rajeev Munankami (SNV). Se agradece a los contribuyentes de los países al final de cada estudio de caso. Esta publicación fue editada y gestionada por Anjani Abella (SNV). Fue diseñado por

Grupo Creativo ThompsonStenning.

Para obtener más información sobre el enfoque USHHD de SNV favor ingresar a:

[www.snv.org/sector/water-sanitation-hygiene/product/urban-sanitation-hygiene](http://www.snv.org/sector/water-sanitation-hygiene/product/urban-sanitation-hygiene)

### Información de contacto

Antoinette Kome

SNV

Directora Global del Sector, WASH

[akome@snv.org](mailto:akome@snv.org)

Julieta Willetts

ISF-UTS

Profesora y Directora de Investigación

[Juliet.Willetts@uts.edu.au](mailto:Juliet.Willetts@uts.edu.au)



Esta publicación ha sido apoyada por el programa del consorcio WASH SDG, financiado por la Dirección General de Cooperación Internacional (DGIS) del Ministerio de Asuntos Exteriores de los Países Bajos.

## Tabla de contenidos

Prólogo	1
Introducción	3
Ideas clave que surgen de los estudios de caso	4
Consideraciones generales	5
Estudios de caso	
1 Tratamiento convencional y mecanizado de lodos fecales, Duri Kosambi, Indonesia	6
2 Humedal construido para el tratamiento de lodos fecales, Khulna, Bangladesh	14
3 Producción de filtrado y reutilización de turba de coco, Kushtia, Bangladesh	22
4 Producción de briquetas para reutilización, Nakuru, Kenia	30
5 Respiración anaeróbica para el tratamiento y la reutilización de lodos fecales, Lusaka, Zambia	38
6 Tratamiento (desechos) de la mosca soldado negra, Nairobi, Kenia	48
7 Trinchera profunda, Asia y África	54
8 Uso de contactores biológicos rotativos, Banjarmasin, Indonesia	61
9 Sistema de tratamiento de aguas residuales descentralizado, Makassar, Indonesia	69



## Prólogo

El saneamiento urbano es uno de los mayores desafíos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Con más de la mitad de la población mundial viviendo ahora en áreas urbanas, la cobertura apenas se mantiene con el crecimiento de la población. Con la creciente comprensión de que solo una pequeña parte de esa cobertura se maneja de manera segura, una emergencia de salud ambiental nos está mirando de frente. Los efectos del cambio climático harán que este desafío sea aún mayor.

Esto significa que tomar las decisiones “correctas” sobre inversiones en saneamiento urbano se está convirtiendo cada vez más importante que nunca. Claramente, nuestra infraestructura debe diseñarse para una gama más amplia de eventos extremos. Pero en paralelo, debemos reconocer que la capacidad adaptativa de nuestras estructuras administrativas y los sistemas gubernamentales serán exigidos al máximo.

Durante mucho tiempo, el alcantarillado se consideró la opción principal, a menudo única, para abordar la gestión de desechos humanos (heces y orina) en entornos urbanos. Sin embargo, la construcción de alcantarillas y tratamientos afines requieren elevadas inversiones de capital. Entonces, en ausencia de la financiación necesaria, muchas ciudades simplemente continuaron con el status quo de vaciado informal (no regulado) y la eliminación insegura. Recientemente, ha aumentado el interés en las soluciones de alcantarillado sin alcantarillado y de bajo costo. Hay un reconocimiento cada vez mayor, de que, en la mayoría de los entornos, los servicios de saneamiento en toda la ciudad deberán involucrar una combinación de opciones con alcantarillado, descentralizadas y sin alcantarillado. Desarrollar e integrar estos de manera operativa, financiera y técnicamente apropiada es una prioridad en estos contextos.

SNV trabaja en saneamiento urbano desde hace casi 10 años; esforzándose por desarrollar un enfoque que aborde toda la cadena de valor del saneamiento, todas las personas y todas las áreas de una ciudad en un forma integrada y sostenible<sup>1</sup>. ISF-UTS ha sido nuestro socio de conocimiento y juntos, hemos ido desarrollando una variedad de resultados de conocimiento<sup>2</sup>, que abarcan temas desde planificación de saneamiento y financiamiento, a la aplicación de la ley y los barrios marginales, entre otros. También hemos estado organizando una gama de eventos de aprendizaje.<sup>3</sup> Sin embargo, sentimos que había una brecha en torno al tratamiento de aguas residuales y lodos fecales. Esto no fue tanto en términos de orientación técnica sobre opciones de tratamiento, sino más bien información

sobre la realidad del día a día y las perspectivas de las personas involucradas. Factores que creemos podrían ayudar a los gobiernos locales y/o empresas de servicios públicos a reflexionar sobre las diferentes opciones disponibles.

Las discusiones sobre inversiones en saneamiento urbano están muy centradas en plantas de tratamiento. El financiamiento y la construcción de plantas de tratamiento a menudo se perciben como la intervención que resolverá el problema de saneamiento urbano en una ciudad; Se piensa muy poco en cómo llevar todos los residuos a la planta de tratamiento (ya sea para aguas residuales o para lodos fecales). Sin embargo en los lugares donde se construyen las plantas de tratamiento, las tasas de funcionalidad son bajas; este es particularmente el caso de plantas de tratamiento de lodos fecales. He visto más plantas de tratamiento de lodos fecales abandonadas y no funcionales que las que están operacionales.

Al buscar casos para este libro, queríamos incluir algunas de las historias de éxito en la reutilización de lodos de materia fecal que vimos presentados en múltiples conferencias internacionales. Les pedimos a nuestros equipos en los distintos países que conduzcan hasta los sitios donde se reutilizaban y se entristecieron al descubrir que algunos de estos proyectos habían desaparecido por completo.

Esto hace que uno se pregunte si corremos el riesgo de crear realidades paralelas en nuestro sector: una realidad con fabulosas historias de éxito sobre innovación y economía circular, siendo financieramente viable, ambiental y socialmente sostenible; la otra realidad es aquella en la que la mayor parte de la infraestructura de saneamiento urbano está pasando apuros. ¿No es acaso hora de que hagamos un balance y fundamentar todas estas expectativas con el fin de llegar a una narrativa más realista en torno al tratamiento y reutilización?

Si bien un enfoque limitado en “solo tratamiento”, la reutilización y la eliminación rara vez resultan en soluciones, esta es sin duda una parte importante del rompecabezas del saneamiento urbano. Necesitamos comprender mejor cómo se tomaron las decisiones en torno a la construcción de todas estas plantas y por qué hay tantos problemas hoy.

Hay herramientas y compendios que describen diferentes opciones tecnológicas, pero al hablar a los municipios o empresas de servicios públicos, la toma de decisiones sobre su infraestructura no siempre ha sido tomada como una “elección informada”. Más bien, las decisiones se basaron en recomendaciones de un consultor o diseños predefinidos por un banco de desarrollo multilateral u ONG; replicado de una ciudad vecina o construida porque encaja dentro de un ciclo de presupuesto municipal. Mientras los municipios y las

<sup>1</sup> SNV, “Urban Sanitation and Hygiene for Health and Development (USHHD)”, Capability statement, The Hague, SNV, 2020, [https://snv.org/cms/sites/default/files/explore/download/ushhd-capability-statement\\_0.pdf](https://snv.org/cms/sites/default/files/explore/download/ushhd-capability-statement_0.pdf), [accessed 3 May 2021].

<sup>2</sup> View some of SNV and ISF-UTS collaborative learning papers and briefs here, <https://interactive.snv.org/snv-urban-sanitation-publications#196515> and <https://interactive.snv.org/snv-urban-sanitation-publications#195070>.

<sup>3</sup> Documentation on SNV-organised USHHD learning events available for download [here: https://interactive.snv.org/snv-urban-sanitation-publications#257720](https://interactive.snv.org/snv-urban-sanitation-publications#257720).

empresas de servicios públicos estaban felices de asegurar la inversión para sus plantas de tratamiento, eran menos conscientes de lo que supondría mantener estas plantas en funcionamiento. Sin embargo, estas son las mismas personas que se espera que operen y mantengan esa infraestructura durante 20 años o más tiempo y con la expectativa de ver los beneficios que esto traería a sus ciudades o pueblos. También son las mismas personas que se espera que soporten la carga de reembolsar los préstamos a través de la infraestructura, la cual pudo haber sido financiada.

La misión de SNV es contribuir a una sociedad en la que todas las personas tengan la libertad de seguir su propio desarrollo sostenible. Eso significa que no promovemos una tecnología específica sobre otra, sino que facilitamos un proceso de "elección informada" que explora varias tecnologías. Como regla general, esto significa que más de una opción tecnológica debe ser explorada. Presentar solo una opción deja a las autoridades de la ciudad sin comparación y sin alternativa(s) para elegir.

Si bien comparar opciones tiene el beneficio de profundizar la comprensión de las personas, debería el curso también se hará (a) en consideración del sistema de prestación de servicios para toda la ciudad (o región si se trata de una empresa de servicios públicos regional), y (b) incorporando datos relevantes y posibles escenarios a lo largo del tiempo. Se trata de consideraciones complejas que, en ausencia de cualquier esfuerzo, corren el riesgo de convertirse en discusiones técnicas entre un grupo restringido. Por lo tanto, la elección informada también se trata de traducir datos en información accesible, para que las partes interesadas puedan participar de manera significativa tanto en las discusiones como en la toma de decisiones.

Facilitar la elección informada para la toma de decisiones por parte de un individuo es bastante complejo. Sin embargo, facilitar la elección informada por parte de una autoridad local se cruza con sus deberes de realización de los derechos, buena gobernanza y rendición de cuentas. No están tomando estas decisiones informadas por ellos mismos, sino para la población de su ciudad; los que se beneficiarán del servicio; aquellos que pagan los impuestos que reembolsa el préstamo; y los que viven en el entorno del tratamiento planta y puede verse afectado por ella. Esta es una complejidad adicional. Además, las autoridades de la ciudad están responsable, directa o indirectamente, de las condiciones laborales de los trabajadores sanitarios de la planta. Por lo tanto, además de comprender las opciones de tratamiento, la elección informada en este contexto significa comprender y sopesar las implicaciones de las opciones de tratamiento para diferentes grupos de partes interesadas dentro de sus ciudades.

Desafortunadamente, la comprensión y también el interés de las autoridades de la ciudad y otras partes interesadas en tecnologías de tratamiento son generalmente limitados. La información se considera demasiado técnica y las historias presentadas o demasiado

teóricas o milagrosas en su éxito.

La realidad diaria tanto en las plantas de tratamiento de lodos fecales como de aguas residuales es menos limpia y rosada. La curva de aprendizaje suele ser mucho más pronunciada y la creación de las condiciones propicias requiere mucho trabajo duro. Lo que necesitamos son historias de la vida real que ayuden a las partes interesadas a reflexionar sobre estos aspectos. Solo entonces la innovación tan necesaria en el sector del saneamiento urbano se convertirá en una realidad. En este libro, presentamos una colección de estas historias cotidianas. Espero que lo leas, compartirlo, usarlo y que se comprometió a garantizar opciones más informadas sobre el tratamiento y reutilizar. Si solo quita un mensaje, recuerde que el tratamiento funcional es difícil trabajar y que no hay una fórmula mágica.

**Antoinette Kome**

**Jefa de Sector Global de SNV, WASH**

## Introducción

La operación de las plantas de tratamiento de lodos fecales y aguas residuales rara vez se desarrolla como se describe en un manual o libro de texto. Sin embargo, poco se ha documentado sobre los desafíos prácticos de la vida real involucrados. Esta brecha limita la capacidad de los planificadores y tomadores de decisiones para tomar las decisiones de inversión correctas. Esta recopilación de casos prácticos hace accesibles las experiencias y realidades que enfrentaron las personas involucradas en la operación de las instalaciones de tratamiento, disposición y reutilización de lodos fecales y aguas residuales, y las decisiones que tuvieron que tomar. Dicho conocimiento puede informar la selección de tecnologías de tratamiento que sean apropiadas para las realidades contextuales esperadas.

La compilación pretende ser ilustrativa y no es exhaustiva en todas las tecnologías disponibles. Cada estudio de caso describe un sistema, su propósito de tratamiento, su contexto regulatorio y el proceso que llevó a su selección. Además, se describen las realidades, desafíos y oportunidades de operar y mantener cada tecnología. Los estudios complementan los documentos técnicos existentes orientados a procesos al proporcionar relatos de experiencias de campo con las tecnologías de tratamiento. No es un manual para una elección informada; más bien, es un recurso al que se puede recurrir durante los procesos de elección informada.

El público objetivo de este documento son los planificadores, los responsables de la toma de decisiones y los profesionales del tratamiento de lodos fecales y aguas residuales. Esto puede incluir a quienes trabajan en el gobierno, organizaciones no gubernamentales (ONG), instituciones de investigación y aprendizaje o el sector privado. Esta compilación se puede utilizar en un nivel amplio para tener una idea de las diferentes opciones descritas en las diversas tecnologías, o en un nivel detallado, para examinar tecnologías específicas.

La selección deliberada de estudios de caso presenta una combinación de tecnologías de manejo de lodos fecales y aguas residuales implementadas a gran escala durante un período de tiempo prolongado. Los operadores y diseñadores de cada tecnología entrevistados para esta investigación fueron identificados y accedidos a través de las redes de la SNV Netherlands Development Organisation y el Institute for Sustainable Futures-University of Technology Sydney (ISF-UTS). Las siguientes secciones de este documento presentan los nueve estudios de caso en detalle.



## Ideas clave que surgen de los estudios de caso

A partir de estos nueve estudios de caso, surgieron una serie de cuestiones y consideraciones clave que los planificadores, los responsables de la toma de decisiones y los profesionales pueden considerar al diseñar u operar las tecnologías de tratamiento de lodos fecales y aguas residuales descritas en este documento. Estos se presentan a continuación.

### **Hacer coincidir la capacidad prevista con las realidades de la demanda es un desafío.**

El diseño de la capacidad de tratamiento para satisfacer la creciente demanda de vaciado de lodos fecales y tratamiento de aguas residuales puede ser un desafío. Se encontró que varias plantas de tratamiento de lodos fecales estaban operando por debajo de su capacidad. La baja demanda de depuración regular o de conexión a redes de aguas residuales por tuberías fueron las principales razones de esta subutilización. En todos los casos, para aumentar la demanda, se llevaron a cabo campañas de promoción y comunicación para informar a los hogares de los beneficios de la limpieza regular o de unirse a las redes de tuberías. Es importante señalar que lleva tiempo desarrollar la demanda y vaciar la capacidad del servicio. Hasta que las plantas de tratamiento de lodos fecales estén en pleno funcionamiento, aún se necesitan opciones de eliminación seguras. Opciones como el atrincheramiento de hileras profundas pueden ofrecer soluciones provisionales al problema de la eliminación de lodos fecales. En algunos casos, el atrincheramiento de hileras profundas puede proporcionar una estrategia a más largo plazo y, en un caso, el lodo se reutilizó para la agro silvicultura.

### **Las características de los lodos y la variabilidad de la entrada de residuos son consideraciones clave, pero a menudo se omiten.**

Las características del lodo son consideraciones importantes al elegir una tecnología y al tomar decisiones operativas; por ejemplo, frente a la calidad variable del lodo. Sin embargo, las características de los lodos a menudo están mal documentadas o no se realizan análisis. Esto da como resultado una falta de datos locales para tomar decisiones informadas. Cuando los lodos de los tanques sépticos contienen arena rugosa o basura, y/o cuando se arroja grasa a las letrinas, los lodos pueden bloquear y dañar el equipo de detección y retrasar el proceso de tratamiento. Los objetos extraños mezclados en el lodo pueden ser un problema de salud y seguridad ocupacional para el personal. Por ejemplo, los elementos metálicos afilados pueden lesionar a los trabajadores cuando clasifican manualmente la materia orgánica. Una consideración temprana reforzada de las características de los insumos facilitaría mejores elecciones y esfuerzos de mitigación proactivos durante la operación.

**Es necesario consultar a las comunidades cercanas sobre los impactos locales.** Obtener el apoyo de la comunidad para una planta de tratamiento puede ser crucial para su sostenibilidad a largo plazo. Siempre que sea posible, se debe consultar a las comunidades y considerar y abordar sus preocupaciones durante las etapas de planificación y diseño. Las preocupaciones de la comunidad pueden incluir olores, fugas en pozos de agua subterránea o interrupciones

del tráfico local durante la etapa de construcción. La falta de aceptación por parte de la comunidad puede amenazar el funcionamiento de una planta, ya que los miembros de la comunidad pueden negarse a utilizar el servicio, lo que lleva a la subutilización y al déficit financiero.

**Comprender todos los costos de los insumos es fundamental para desarrollar arreglos financieros sólidos para la reutilización.** Las opciones de reutilización (por ejemplo, briquetas, co-compostaje/fertilizantes y alimentos para animales a base de insectos) se prueban y utilizan cada vez más para garantizar la eliminación segura en el último paso de la cadena y para reciclar recursos y generar ingresos. Sin embargo, la rentabilidad de estas opciones no siempre está clara al principio. Los altos costos operativos y de insumos (como la energía) pueden en algunos casos significar que un esquema no es financieramente viable, o puede necesitar apoyo externo.

### **La posible contaminación del medio ambiente circundante puede requerir medidas de mitigación.**

Durante la selección del sitio, es importante estar consciente del riesgo de contaminar la tierra circundante y los recursos de agua subterránea. Se necesitan controles estrictos para garantizar que los efluentes tratados se gestionen de manera responsable para evitar impactos locales y aguas abajo. Esto se notó particularmente en los atrincheramientos de hileras profundas donde no es posible usar zanjas en áreas que experimentan inundaciones o inundaciones, o que tienen suelo arenoso. Se debe considerar el riesgo de contaminación para todos los tipos de sistemas de tratamiento.

### **La seguridad y la continuidad de la energía pueden afectar el funcionamiento exitoso.**

Es posible que se necesiten fuentes de respaldo o alternativas a la red eléctrica para garantizar la continuidad del funcionamiento, o es posible que se necesiten opciones alternativas que no requieran energía. Los cortes de energía y la falta de generadores de respaldo pueden interrumpir el tratamiento mecánico de lodos fecales y aguas residuales. Las tecnologías que dependen de la energía solar pueden no ser confiables debido a su dependencia del clima soleado.

Las condiciones climáticas deben tenerse en cuenta en las opciones de selección y diseño. La tecnología de tratamiento elegida debe coincidir con las condiciones climáticas locales. El clima lluvioso, por ejemplo, puede afectar la velocidad de secado en los lechos de secado de lodos y el secado de las briquetas. Esto es particularmente importante en el contexto del cambio climático y los posibles aumentos de períodos secos o lluvias extremas en muchos lugares.

### **La necesidad de conocimientos altamente técnicos y la falta de repuestos disponibles localmente pueden hacer que ciertas tecnologías sean indeseables.**

La falta de las habilidades técnicas necesarias para mantener algunas tecnologías y la imposibilidad de obtener piezas de repuesto localmente pueden provocar interrupciones o pueden significar que algunas tecnologías estén fuera de servicio durante períodos prolongados. Por tanto, es importante la contratación y la formación adecuada.

## Consideraciones generales

Esta compilación de estudios de caso puede ayudar a los planificadores, profesionales y tomadores de decisiones a mejorar las opciones contextualizadas de tecnologías de tratamiento y abordar los desafíos operativos locales. Pueden considerar las tecnologías presentadas en esta compilación, o pueden aplicar las consideraciones de elección informada descritas aquí para evaluar otras tecnologías además de las presentadas aquí.

Al seleccionar las opciones de tratamiento más adecuadas, las tecnologías deben considerarse en períodos de tiempo corto, mediano y largo. Esto incluye la mejor manera de combinar la generación o entrada de desechos con una inversión adecuada en tecnologías de tratamiento viables. La cantidad de desechos dependerá de la demanda de la comunidad, las prácticas de eliminación de lodos y la infraestructura de aguas residuales. La viabilidad de las tecnologías de tratamiento dependerá de la disponibilidad de recursos humanos y del contexto en el que operarán las tecnologías, así como de factores más amplios, incluidos el clima, el suministro de energía y las consideraciones ambientales.

Por último, es importante reflexionar sobre cómo funcionan las tecnologías en la práctica en contextos de países específicos. Las instrucciones teóricas de los libros de texto pueden parecer sencillas, pero esta impresión puede ser engañosa. Esta compilación de estudios de caso proporciona una visión de las realidades y desafíos de operar y mantener tecnologías a diario, lo que puede servir como punto de partida para una mayor documentación e intercambio de dicho conocimiento en diferentes países y contextos.



Briquetas carbonizadas de forma redonda en lechos de secado (Foto: SNV)



ESTUDIO DE CASO 1

# Tratamiento de lodos fecales mecanizado y convencional

Duri Kosambi,  
Indonesia



## Antecedentes

### Selección y finalidad del tratamiento

La planta de tratamiento de lodos fecales Duri Kosambi (FSTP) es uno de los dos FSTP que operan en Yakarta. La otra planta es Pulo Gebang FSTP. Ambos son administrados por PD PAL Jaya, una empresa de gestión de aguas residuales propiedad de la ciudad.

El Duri Kosambi FSTP consiste en un sistema convencional (no mecanizado) construido en 1983 y un sistema mecanizado construido en 2013. La planta trata los lodos fecales de las fosas sépticas. Los principales criterios para la selección y el diseño del FSTP fueron el costo y la disponibilidad de la tierra.

Cuando se construyó el sistema convencional, se eligió la tecnología debido a sus menores costos operativos. Cuando la planta necesitaba expansión, la disponibilidad de terreno era limitada, por lo que se eligió un sistema mecánico que necesitaba menos espacio. El exdirector de PD PAL explicó que el municipio pagó por la construcción de la planta de tratamiento, pero PD PAL ha tenido que realizar inversiones adicionales desde que asumió la administración y operación en 2016 (es decir, camiones de lodos fecales, camiones de vacío, computadoras y sistemas relacionados, bomba, pantalla, etc.). PD PAL autofinancia todos los costos de operación y mantenimiento (O&M).

*La principal razón para seleccionar la tecnología es el costo operativo. El sistema convencional tiene el costo operativo más económico, por lo que construimos uno en 1983. Para 2013 necesitábamos aumentar la capacidad de tratamiento. Debido a que los sistemas convencionales requieren un área grande, decidimos utilizar el sistema mecánico como una alternativa para hacer frente a la baja disponibilidad de terreno.*

EX DIRECTOR DE PD PAL JAYA



Cribado mecánico de lodos desde camiones de vacío (Foto: SNV)

## Descripción del sistema

En la *Figura 1* se muestra un diagrama de flujo de la planta de tratamiento. Los camiones transportan los residuos sépticos desde los tanques sépticos hasta la planta de tratamiento. Hay dos áreas de recepción de lodos-una para el sistema convencional y otra para el sistema mecánico.

La *Tabla 1* muestra el diseño y la capacidad operativa de Duri Kosambi FSTP. PD PAL gasta aproximadamente el 50% de sus costos operativos en mano de obra, con otros costos importantes que incluyen electricidad y productos químicos para el sistema de tratamiento. Los costos restantes son de agua, comidas, vitaminas, seguro médico, seguro de empleo, uniformes y equipo de seguridad.

Cuadro 1. Capacidad y costos operativos de Duri Kosambi FSTP

	Sistema convencional	Sistema mecánico
Capacidad de diseño	300 m <sup>3</sup> de lodos/día.	600 m <sup>3</sup> de lodos/día.
Capacidad de carga	140-200 m <sup>3</sup> de lodos/día.	

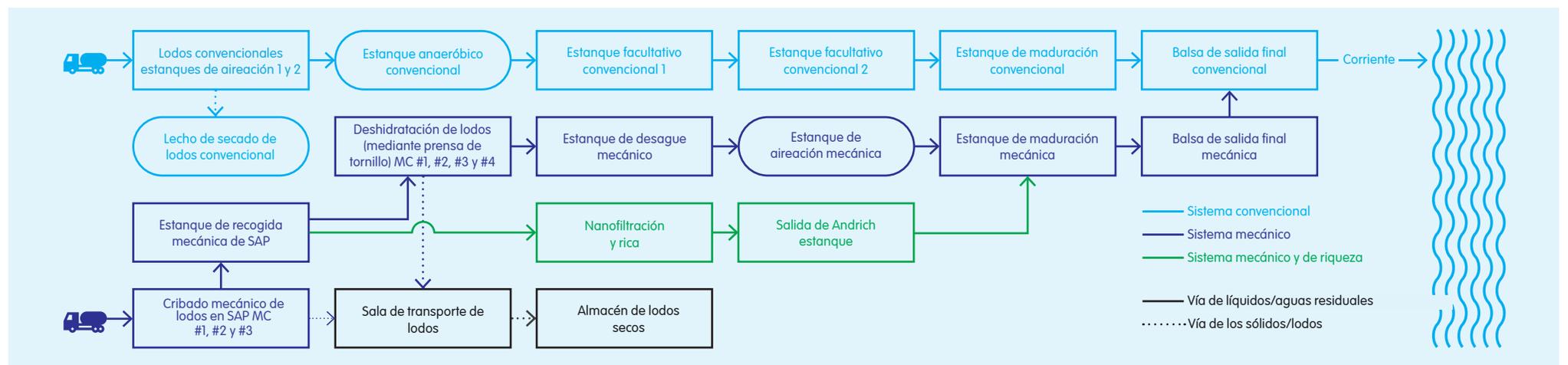


Salida de maduración convencional



Cribado mecánico de lodos mediante planta de aceptación Huber

Figura 1. Diagrama de flujo de bloques de Duri Kosambi FSTP <sup>1</sup>



<sup>1</sup> Diagrama de flujo de bloques elaborado por SNV basado en entrevistas de visita al sitio.

## Entorno regulatorio y cumplimiento

Durante el diseño y la planificación del FSTP Duri Kosambi, el principal estándar regulatorio y de cumplimiento seguido para la calidad del efluente fue el Reglamento del Gobernador (Pergub) N°. 122/2005 de 2005. Desde 2016, se ha aplicado un reglamento de calidad del efluente más estricto en Indonesia.<sup>2</sup> Las regulaciones de 2016 introdujeron estándares más estrictos para los sólidos totales en suspensión (TSS), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el aceite y la grasa. El requisito de demanda química de oxígeno (DQO) es ahora menos estricto; El manganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>) y el principio activo azul de metileno (MBAS) ya no están regulados, pero se ha introducido el control de bacterias coliformes. Los resultados de laboratorio más recientes para el FSTP Duri Kosambi mostraron que, en algunos aspectos, la calidad del efluente no cumplía con los estándares y no hubo informes sobre concentraciones de bacterias coliformes, aceite y grasa, a pesar de estar cubiertos por las nuevas regulaciones.

Para cumplir con los nuevos estándares de efluentes de 2016, PD PAL instaló un filtro adicional en la tubería de salida del estanque de maduración antes de que el agua ingrese al estanque de salida final. PD PAL instaló el nuevo filtro para minimizar las concentraciones de TSS. PD PAL también instaló un soplador para aireación adicional en el estanque de salida final. Si bien estas acciones han mejorado el desempeño de la calidad del efluente de Duri Kosambi, aún se necesitan mejoras adicionales en el proceso de tratamiento para cumplir con los estándares.

Tabla 2. Calidades de los afluentes y efluentes de las aguas residuales tratadas en la planta Duri Kosambi FSTP en 2019, en comparación con los estándares de efluentes

Parámetro	Entrada	Salida	Norma (N° 68/2016)	Método
pH	6, 45-7, 88 pH	7, 12-7, 61 pH	6-9 pH	SNI 06-6989.11-2004
Sólidos suspendidos totales, TSS	340-8933, 33 mg/L	22, 5-84, 29 mg/L	30 mg/L	SNI 06-6989.26-2005
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO <sub>5</sub>	106, 38-646, 82 mg/L	2, 76-69, 79 mg/L	30 mg/L	Respirométrico, 2005
Demanda química de oxígeno, DQO	687, 9-2780, 37 mg/L	41, 25-127, 67 mg/L	100 mg/L	Espectrofotometría, 2002
Materia orgánica total, KMnO <sub>4</sub>	108, 04-568, 72 mg/L	54, 21-150, 50 mg/L	85 mg/L	SNI 06-6989.22-2004
Ammonia, NH <sub>3</sub> -N	108, 75-239, 25 mg/L	0, 45-29, 81 mg/L	10 mg/L	Espectrofotometría
Tensioactivo azul de metileno, MBAS	0, 74-2, 69 mg/L	0, 13-0, 78 mg/L	2 mg/L	Espectrofotometría

<sup>2</sup>Reglamento del Ministerio de Medio Ambiente y Silvicultura del Gobierno de Indonesia (2016) Permen LHK No. 68/2016.

## Operación y mantenimiento: realidades, desafíos y oportunidades

### Realidades del funcionamiento de la planta de tratamiento

#### Distribución de lodos en la aceptación

La distribución del lodo entrante en los dos sistemas (convencional y mecánico) está determinada por el número de camiones y la cantidad de lodo recibido. Si, por ejemplo, llegan cinco camiones simultáneamente, el lodo se distribuye entre los sistemas convencionales y mecánicos para facilitar un proceso de aceptación rápido. Si llegan menos camiones en un día determinado, entonces todo el lodo se dirige hacia el sistema convencional, ya que los costos operativos de energía y requisitos químicos son mucho más bajos que para el sistema mecánico.

La distribución de lodos también depende de los programas de mantenimiento y operación. Si el sistema mecánico está en mantenimiento, todos los lodos van al sistema convencional y viceversa. Además, los lodos solo se pueden descargar en el sistema mecánico por la mañana, ya que los operadores de máquinas capacitados necesarios para esta tarea sólo están presentes en ese horario, mientras que el sistema convencional apenas requiere supervisión.

### Requerimientos de personal

Sesenta personas trabajan en los FSTP de Duri Kosambi y Pulo Gebang. Hay ocho empleados permanentes que gestionan tanto FSTP como 26 empleados no permanentes que trabajan solo en Duri Kosambi. El personal de 26 incluye 13 operadores (dos para el sistema convencional, cuatro para el sistema mecánico, uno para un sistema de pre tratamiento Andrich en fase de prueba y seis entradas de registro) y 13 trabajadores responsables de seguridad, administración, conducción y limpieza. La mayoría de los operadores tienen una escuela secundaria o título de escuela vocacional. Dado que el personal y los operadores no trabajan fuera del horario laboral, PD PAL confía en el guardia de seguridad para evitar la entrada a las instalaciones fuera del horario de atención, manejar los problemas de emergencia e informar cualquier problema (como cortes de energía) o interrupciones tecnológicas (como en el caso que el ventilador deje de funcionar).

Todo el personal de la instalación ha recibido formación en Seguridad y Salud Ocupacional (SST), gestión de activos y funcionamiento general de la planta de tratamiento del Ministerio de Fomento. Los operadores recibieron capacitación en el funcionamiento de la planta de tratamiento de un programa de desarrollo urbano de agua y saneamiento financiado por USAID, y algunos también recibieron capacitación administrativa adicional. Todos los operadores están equipados con uniformes de seguridad, cascos, botas y guantes, y están capacitados en el uso del equipo de seguridad. Sin embargo, no existe un Procedimiento operativo estándar (POE) de OHS específico en la instalación para el manejo de lodos y efluentes tratados y sin tratar.

*Si hay algún corte de energía aquí, el sistema mecánico se interrumpirá ya que requiere electricidad para funcionar. Somos afortunados de que también tener el sistema convencional en Duri Kosambi STP que no requiere electricidad. Sin embargo, cuando el soplador muere en el tanque de aireación durante un corte de electricidad interrumpirá el proceso de aireación.*

JEFE DE IPLT DURI KOSAMBI

### Costos operativos vs. Ingresos

En la actualidad, los costos de operación y mantenimiento (O&M) de los FSTP de Duri Kosambi y Pulo Gebang superan los ingresos generados por las dos instalaciones. Los ingresos que obtiene PD PAL de las empresas privadas de limpieza que descargan lodos fecales en sus instalaciones es de US \$1,80/m<sup>3</sup> de lodos. Por su servicio de eliminación de lodos administrado por PD PAL, PD PAL cobra a los hogares US \$11/m<sup>3</sup>, con un cargo promedio de US \$22 por hogar. Para cubrir la brecha de ingresos actual, PD PAL utiliza fondos de sus otras unidades comerciales, a saber, un servicio de alcantarillado en el centro de Yakarta.

<sup>3</sup> JICA, Plan maestro de gestión de aguas residuales en DKI Yakarta, Yakarta, JICA, 2012.

La brecha de ingresos se debe principalmente a que las instalaciones operan por debajo de su capacidad. En el Duri Kosambi FSTP, actualmente se están procesando 140-200 m<sup>3</sup>/día de lodos, mientras que la capacidad de la instalación es de 900 m<sup>3</sup>/día. No se espera que la instalación alcance el 100% de su capacidad hasta 2050.<sup>3</sup> La subutilización es abordada a través de campañas de promoción y comunicación para informar a los hogares sobre los beneficios de la depuración regular. Esto es un desafío, ya que muchos hogares prefieren los tanques sépticos que filtran efluentes en el suelo sobre aquellos que requieren limpieza, y la conciencia de cualquier necesidad de vaciar sus tanques es generalmente baja.

### Suministro de electricidad y mantenimiento continuo

Un suministro de energía constante y un mantenimiento continuo son cruciales para garantizar que tanto los sistemas de tratamiento mecánicos y convencionales funcionen correctamente. Un generador ha sido instalado como respaldo para posibles fallas de energía. Sin embargo, según el ex Director PD PAL, el generador casi no es necesario ya que los cortes de energía rara vez ocurren en Yakarta. La electricidad vuelve enseguida cuando ocurre un corte.

El mantenimiento continuo de equipos e instalaciones requiere importantes recursos financieros y recursos humanos para asegurar la optimización del proceso de tratamiento. Cuando PD PAL se hizo cargo de la gestión y operación en 2016, las entrevistas con el personal y los operadores revelaron que se requirió un trabajo significativo de mantenimiento y reparación para restaurar la instalación a su condición de buen funcionamiento. Un ensayo actual con un sistema de pre tratamiento Andrich (mecánico) es parte de los esfuerzos de optimización y mejora de PD PAL.

### Desafíos de operación y mantenimiento

#### Contaminación de lodos recibidos

Uno de los principales desafíos operativos que enfrenta la instalación de Duri Kosambi es la contaminación del lodo fecal recibido con aceite y grasa, probablemente vertido por los restaurantes en sus fosas sépticas, así como arena gruesa y basura de fosas sépticas domésticas. La instalación a veces también recibe lodos que contienen colorantes artificiales, que los operadores sólo pueden detectar después del tratamiento final. Como la instalación no está diseñada para tratar restaurantes o industrias con aguas residuales, estos contaminantes afectan negativamente el desempeño de la planta de tratamiento.

Para superar estos desafíos, los SOP establecen que los operadores deben agregar "químicos" al sistema, pero se desconocen los tipos de productos químicos. Los POE también dicen que los lodos contaminados deben aislarse para tratamiento mecánico. El uso del tratamiento



Estanque aeróbico convencional

mecánico asegura que el aceite y la grasa no se depositen en el sistema de estanque convencional ni obstruya las tuberías de conexión. En la actualidad, existe cierta discusión sobre si se podrían cobrar tarifas por la eliminación de lodos, no solo en función de la cantidad de lodos recibidos, sino también de la calidad, dada el impacto de lodos de mala calidad que fluyen al sistema. Sin embargo, PD PAL es reacio a aumentar los precios, ya que hacerlo puede reducir aún más la cantidad de lodo recibido.

### Fallo tecnológico y desafíos de capacidad relacionados

Los problemas de operación y mantenimiento más comunes incluyen fallas en las bombas, ventiladores y aireadores de superficie; tuberías con fugas y corroídas; procesos de selección convencionales ineficaces; y capacidad limitada para reparar unidades de tratamiento tecnológicamente exigentes.

Los lodos que contienen arena rugosa y grava, que no se eliminan en el proceso de cribado convencional, causan daños a las tuberías y estructuras a medida que limpian lentamente el hormigón en el sistema convencional. El gerente de la planta de tratamiento explicó que, idealmente, el sistema de entrada se rediseña para tamizar la basura y asentar las arenas rugosas de manera más efectiva y para ocupar menos espacio. Si se realizan estos ajustes, no



Una prensa de tornillo Huber en funcionamiento

se necesitaría la planta mecánica de aceptación de lodos. Entonces, todo el procesamiento podría realizarse mediante el sistema convencional. Esto requeriría menos recursos financieros.

Las unidades de tratamiento más exigentes para operar son las unidades de deshidratación de prensa de tornillo de Huber mecánicas. Los operadores no tienen la capacidad técnica para solucionar problemas o reparar daños, ya que la operación y el control se realizan a través de un panel de control eléctrico. Para estas tareas se necesitan técnicos de la oficina de distribución de Huber en Yakarta, y todas las piezas de repuesto deben solicitarse a Malasia. A pesar de estos desafíos, el sistema de desagüe nunca ha estado fuera de servicio ya que hay tres unidades en la instalación, cada una con una capacidad de 150 m<sup>3</sup>/día. Por lo tanto, si una unidad está fuera de servicio, se puede confiar en las otras dos.

*A menudo recibimos lodos de la industria de restaurantes o alimentos que contienen mucha grasa, grasa y aceite que causan mal olor en todo el sistema y obstruyen las tuberías. Tenemos que agregar algunos productos químicos para que no cause olor. Además, nos vemos obligados a operar el sistema mecánico los fines de semana en lugar de solo el sistema convencional, para tratar el lodo más rápido para que la grasa, la grasa y el aceite no se asienten en el sistema.*

ENCARGADO, DURI KOSAMBI FSTP



Briquetas de combustible

## Oportunidades de reutilización y tratamiento optimizado

### *Poniendo a prueba la producción de briquetas*

En la actualidad, los lodos tratados del FSTP Duri Kosambi se recogen y almacenan en la instalación. Se está llevando a cabo una investigación piloto con la Compañía Estatal de Electricidad para convertir el lodo tratado en briquetas para su reutilización como combustible. Se están probando dos tipos de briquetas. Uno está compuesto íntegramente por lodos tratados y el otro es una mezcla de lodos fecales tratados (80%) y residuos orgánicos (20%). La investigación piloto sugiere que 12 kg de briquetas podrían producir entre 3500 y 4500 vatios de electricidad, que es aproximadamente la mitad del valor calorífico del carbón. PD PAL está considerando vender estas briquetas a una planta de energía con sede en Bogor, pero la distancia desde Duri Kosambi a la planta de energía (más de 70 km) significa que esto no es financieramente viable actualmente, debido a los importantes costos de transporte. Además, la baja calidad y el poder calorífico de estas briquetas, así como el abundante suministro de gas licuado de petróleo (GLP) barato, significa que el valor de mercado actual de las briquetas es bajo.



Unidad Andrich en funcionamiento

### *Sistema de tratamiento Andrich*

En un esfuerzo por optimizar y mejorar el rendimiento del tratamiento en Duri Kosambi, actualmente se está probando un sistema de tratamiento Andrich como sistema de pre tratamiento. Andrich lleva el nombre de dos ingenieros indonesios que desarrollaron el sistema, Andri Oba y Chariunnas. El sistema consta de una unidad de membrana de nano filtración, que está equipada con un sistema de flotación por aire disuelto (DAF). El agua del estanque de recogida de efluentes de la Unidad de aceptación de lodos (SAP) se bombea a un sistema DAF convencional y luego se filtra en la unidad de membrana de nano filtración. A continuación, el efluente se descarga en el estanque de salida de Andrich. Desde el estanque de salida, el desbordamiento entra en el estanque de maduración mecánica y se mezcla con el desbordamiento del estanque de aireación mecánica. El costo operativo del sistema Andrich es de US \$1,50/m<sup>3</sup> de lodo, de los cuales US \$1 se requiere para mano de obra calificada. Además de sus costos operativos más económicos en comparación con los dos sistemas existentes, el beneficio principal es la calidad muy superior del efluente que se produce.

## Elección informada consideraciones

## Duri Kosambi FSTP en Yakarta, Indonesia, PD PAL Jaya (empresa estatal de aguas residuales)

	<b>Capacidad operativa y de diseño</b>	Capacidad de diseño = 900 m <sup>3</sup> /día. Capacidad operativa = 140-200 m <sup>3</sup> /día.
	<b>Ingresos</b>	Ingresos combinados (FSTP de Duri Kosambi y Pulo Gebang) = US \$ 366,686 / año (brecha con los gastos operativos [OPEX], cubiertos a través de las tarifas de alcantarillado externo de PD-PAL).
	<b>Requerimientos de energía</b>	Sistemas naturales mecánicos y convencionales: se prefiere el sistema natural (o convencional), ya que los costos de los requisitos de energía y químicos son menores.
	<b>Características de entrada</b>	Lodos con pH = 6,9; TSS 2,100 mg/L; DBO 800 mg/L; DQO 900 mg/L.
	<b>Características de salida</b>	Calidad del líquido efluente (límite de efluente según la norma de cumplimiento ambiental Permen LHK 68/2016): pH = 7,4-7,7 (6-9); TSS = 60-70 mg/L (30 mg/L) (no cumple con el estándar); DBO = 35-60 mg/L (30 mg/L) (no cumple con el estándar); y DQO = 90-160 mg/L (100 mg/L) (no siempre cumple con el estándar)  No se informa sobre bacterias coliformes, aceite y grasa a pesar de estar regulado en las nuevas regulaciones.
	<b>Requisito de tierra</b>	El área del terreno era una limitación, por lo que se eligió un sistema mecánico con una huella pequeña para complementar el sistema natural convencional.
	<b>Reutilizar</b>	Actualmente se está probando la producción de briquetas como fuente de combustible alternativa; el potencial de ingresos es limitado debido a la baja calidad de las briquetas y los altos costos de transporte, aunque al hacerlo se evitarán los costos de eliminación de lodos.
	<b>Requisitos de habilidades y recursos humanos</b>	60 personas en total (Duri Kosambi y Pulo Gebang FSTP): 8 empleados permanentes en ambos FSTP; 26 empleados en Duri Kosambi FSTP; 13 operadores (2 para el sistema convencional, 4 para el sistema mecánico, 1 para el sistema Andrich y 6 registros de entrada); y 13 trabajadores responsables de seguridad, administración, conducción y limpieza.
	<b>Disponibilidad de tecnología/material (local)</b>	Las piezas de repuesto de las unidades de deshidratación de prensa de tornillo de Mechanical Huber, que no se encuentran disponibles localmente en Indonesia, deben solicitarse a Malasia.

## Referencias

JICA, *Masterplan of Wastewater Management in DKI Jakarta*, Jakarta, JICA, 2012.

*Regulation of Ministry of Environment and Forestry of the Government of Indonesia* (2016) Permen LHK No. 68/2016.

**Colaboradores:** Lena Ganda Saptalena (SNV in Indonesia) | Dr Teguh Subekti, Hendry Sitohang, Romel Sitompul, and Ir. Erwin Marphy Ali (PD PAL Jaya).

**Fotos:** SNV.



## ESTUDIO DE CASO 2

# Humedal construido para tratamiento de lodos fecales

Khulna,  
Bangladesh



## Antecedentes

### Selección y finalidad del tratamiento

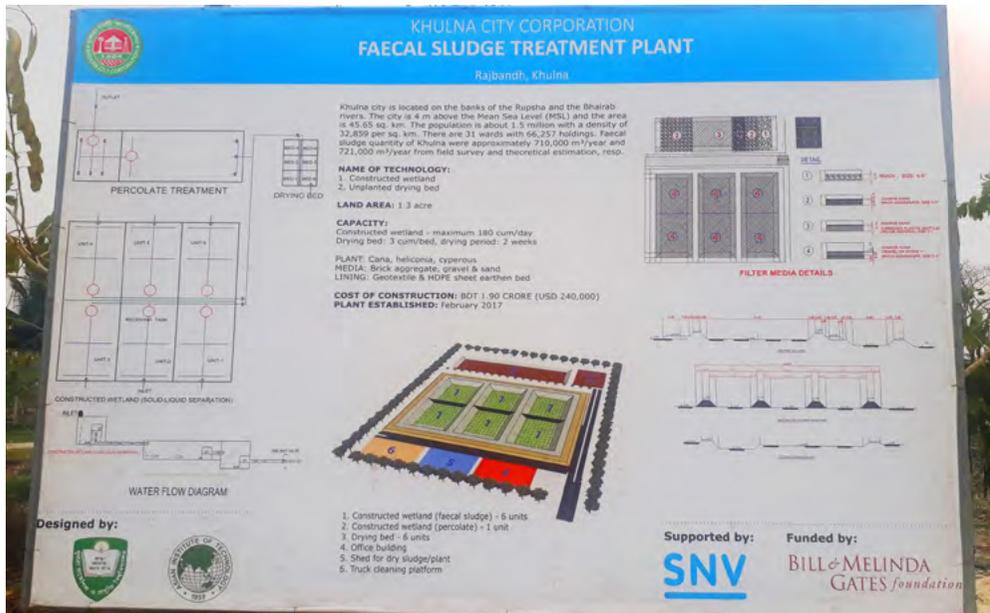
La planta de tratamiento de lodos fecales (FSTP) en Khulna, Bangladesh, propiedad y administrada por Khulna City Corporation (KCC), un organismo del gobierno local, se construyó en 2016 y comenzó a funcionar en 2017. El humedal construido (CW) y los lechos de secado sin plantar en el FSTP fueron seleccionados por sus bajos costos de mantenimiento, operación y construcción, y porque ofrecen un sistema amigable con el medio ambiente.

El diseño y la construcción de la planta de tratamiento fue un esfuerzo de colaboración. La Universidad de Ingeniería y Tecnología de Khulna (KUET) y SNV brindaron asistencia técnica en la selección del diseño mediante la implementación de un proceso de elección informada, y KCC tomó la decisión final sobre el diseño. La Universidad de Ingeniería y Tecnología de Khulna y el Instituto Asiático de Tecnología en Tailandia diseñaron la planta. SNV, con financiamiento de la Fundación Bill y Melinda Gates, financió la construcción de la planta; con KCC asumiendo la responsabilidad de la construcción, operación y mantenimiento de la planta. Para respaldar el funcionamiento eficaz de la planta, SNV y KUET ofrecen capacitaciones y actualizaciones periódicas.

*Hemos elegido [este diseño] porque es más rentable. Eso también es ecológico. Tenemos que usar máscaras en otras plantas, todos necesitamos usarlo aquí también, pero no hay mal olor aquí. Tampoco encontrará moscas aquí.*

**JEFE OFICIAL DE GESTIÓN DE RESIDUOS, KCC**





Visión general del KCC FSTP

## Descripción del sistema

El KCC FSTP se construyó en lo que solía ser un vertedero, que contenía cerca de 15.000 toneladas de desechos sólidos. Antes de la construcción, se realizó un estudio para investigar los riesgos potenciales asociados con la construcción del FSTP en un vertedero pasivo. Una vez que se despejó el sitio para su uso, se construyó el sistema de humedales construidos lineales, que incluyó seis unidades o cuencas de humedales construidos de flujo vertical y un humedal construido de flujo horizontal subterráneo. El efluente tratado fue diseñado para descargarse en un canal cercano. Se construyeron seis lechos de secado sin plantar para recolectar el lodo seco con fines de uso final.

Los camiones de vacío (conocidos como vacutugs en Bangladesh) transportan los lodos al FSTP, descargándolos en un tanque de mezcla y retención que está equipado con una pantalla de barras, que retiene el material grueso y la basura y evita la obstrucción de los lechos de CW. Esta pantalla de barra manual se instala a cada lado del flujo vertical en sentido horario en el Khulna FSTP. Para los lechos de secado de lodos no plantados, se utiliza un recipiente de plástico grande de fabricación local para separar los lodos de otros tipos de residuos.



Criba manual de barras para eliminar la basura de los lodos que se vierten en el humedal construido de flujo vertical

Cuadro 1. Capacidad de Khulna FSTP y costos operativos de humedales artificiales y lechos de secado sin plantar

	Humedal construido (CW)	Lechos de secado sin plantar
Capacidad de diseño	180 m <sup>3</sup> de lodos/día.	3 m <sup>3</sup> con un periodo de secado de dos semanas.
Capacidad operativa	10-15 m <sup>3</sup> de lodo/día.	
Gastos de funcionamiento	2.311 \$/año (salarios y gastos de electricidad).	



Los niveles de DBO del agua tratada son significativamente inferiores a los del agua del canal junto a la FSTP

## Entorno regulatorio y cumplimiento

El Khulna FSTP fue diseñado para cumplir con los estándares de calidad de efluentes establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Bosques del Gobierno de Bangladesh, de acuerdo con las Normas de Conservación del Medio Ambiente de 1997. Los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en la planta de tratamiento de efluentes tratados son consistentemente entre 26 mg/L y 33 mg/L, con el límite deseable permitido establecido en 40 mg/L para cuerpos de con niveles de DBO de lodos de 400-500 mg/L recibidos de tanques sépticos domésticos.

## Operación y mantenimiento: realidades, desafíos, y oportunidades

### Realidades del funcionamiento de la planta de tratamiento

#### *Medición de cantidades de lodos y mantenimiento del rendimiento.*

Khulna FSTP ha desarrollado un enfoque de baja tecnología para medir cantidades de lodos y garantizar el rendimiento de la planta de tratamiento. Para registrar las cantidades de lodos



Lodos secos en humedales construidos plantados

recibidos por la planta, se utilizan como patrón de medición los vacutugs que descargan los lodos. El volumen se calcula de acuerdo con el volumen de cada camión cisterna y el número de viajes realizados, todos los cuales están registrados.

Una actividad clave para mantener el desempeño del FSTP es asegurar que las plantas en el humedal construido estén saludables y prósperas. Se requiere deshierbe y limpieza regulares para garantizar esto. El desempeño de la planta de tratamiento se mide monitoreando de cerca la materia sólida de los lodos fecales en los lechos de secado, según explicó uno de los operadores. La Universidad de Ingeniería y Tecnología de Khulna lleva a cabo pruebas más sofisticadas, ya que Khulna FSTP no tiene actualmente un laboratorio.

*Vigilamos la materia sólida en el lecho de secado. Nosotros contamos cuántos días necesita para secarse. A partir de esto, podemos medir el rendimiento de los materiales filtrantes. También medimos la humedad.*

**OPERADOR, KCC**



Vacutug en la ciudad de Khulna

### *Costos de construcción y operación*

Los mayores costos asociados con el FSTP han sido los gastos de capital y los costos salariales continuos. Los costos de construcción solo para el FSTP se estimaron inicialmente en 58 930 \$ EUA. Debido a las obras de construcción civil, como los caminos de acceso a la planta de tratamiento y sus alrededores, el establecimiento de una instalación de pruebas, las necesidades de jardinería y la instalación de un sistema de seguridad, el costo final fue de 235.715 dólares estadounidenses. Los fondos fueron provistos a través de una donación por un proyecto de SNV financiado por la Fundación Bill & Melinda Gates, quienes han continuado apoyando mejoras al FSTP por un valor estimado de US \$ 30,000 por año.

El mayor costo continuo de la planta de tratamiento son los salarios del personal, que consiste en un cuidador, el conductor de vacutug y un ayudante. Los ingenieros de SNV y KUET brindan soporte técnico relacionado con la instalación o reparación de maquinaria y el monitoreo del desempeño del FSTP. Los operadores de la planta de tratamiento han recibido capacitación en Seguridad y Salud Ocupacional (OHS) de SNV, así como instrucciones sobre los procedimientos de operación.



Lechos de secado de lodos

### *Área de cobertura de la planta de tratamiento y crecimiento futuro*

La planta de tratamiento fue diseñada para una vida útil de 30 años, con conexiones de alcantarillado planeadas para cubrir a la mayoría de la población de Khulna en el futuro. En la actualidad, se estima que el FSTP cubre el 13% de los 1,5 millones de habitantes de Khulna, y se espera que el humedal se vacíe después de siete años para mantener la vida útil prevista de 30 años. Hay posibilidades de ampliar la planta de tratamiento, si es necesario, con terrenos adicionales disponibles y adyacentes al humedal actual.



Operadores que vierten el afluente directamente en un lecho de humedal construido plantado

## Desafíos de la construcción, operación y mantenimiento

### Descarga y cribado de lodos

Los desafíos relacionados con el cribado manual de la descarga de efluentes requirieron modificaciones en los sistemas de cribado. Debido al alto flujo de la descarga del afluente de las chimeneas y al tamaño insuficiente de las mallas de filtro y las tuberías, las unidades de cribado manual en el humedal construido plantado no pudieron manejar la tasa de flujo de entrada. Esto resultó en el derrame de lodos alrededor de las unidades.

Para hacer frente a estos desafíos, los operadores y operadores de vacutug a menudo han pasado por alto las unidades de cribado y han descargado el afluente directamente al lecho del humedal. Sin embargo, esta práctica ha provocado la obstrucción del medio filtrante del humedal construido. Como resultado, las tuberías de filtro de la planta se reemplazaron por tuberías de mayor diámetro y mayor calidad, y las válvulas de compuerta se reemplazaron por válvulas de bola. Si bien estos cambios han mejorado el rendimiento del sistema, según uno de los operadores, el "humedal artificial de flujo vertical no es tan sofisticado".

### Desafíos de la construcción

Falta de disponibilidad de los materiales requeridos y dependencia de los materiales de bajo costo presentaron desafíos para el equipo de diseño y construcción de Khulna FSTP. Como el sitio de la planta de tratamiento anteriormente estaba lleno de basura municipal, no fue posible sellar con agua la estructura con hormigón o materiales disponibles localmente. Por lo tanto, las láminas de polietileno de alta densidad fueron requeridas en la base de los lavabos. Estos no estaban disponibles en Bangladesh y debían ser importados, lo que implicó costos y tiempo adicionales. El uso de suelo compactado y rocas para formar las paredes del humedal artificial plantado también llevaron a problemas estructurales, particularmente durante temporada de lluvias, y debido a los agujeros formados por las ratas excavadoras. Este es un desafío de ingeniería que será necesario supervisar y abordar continuamente.

### Planta de tratamiento funcionando por debajo de su capacidad

Actualmente, la planta está operando por debajo de su capacidad de diseño. Esto puede afectar la eficacia del tratamiento y requiere esfuerzos para aumentar la demanda comunitaria de vaciado. La planta de tratamiento tiene capacidad de diseño de 180 m<sup>3</sup>/día de lodos, pero actualmente recibe entre 10 y 15 m<sup>3</sup>/día.

La falta de consistencia en los lodos recolectados y recibidos podría dificultar el crecimiento y la salud de las plantas en el humedal artificial y podría degradar el rendimiento del tratamiento. En las discusiones, los diseñadores y operadores de la planta de tratamiento reconocieron que la escala era en realidad demasiado grande; el desarrollo y la inversión deberían haberse organizado y organizado incrementalmente. El aumento de la demanda de eliminación de lodos por parte de las comunidades podría ayudar, pero presenta sus propios desafíos para facilitar iniciativas de comunicación para el cambio de comportamiento. Uno de los operadores de la planta de tratamiento afirmaron que: "aumentar la demanda de deslocalización es una asunto desafiante".

*Las tuberías de esta planta no eran tan anchas. El diámetro de estos tubos era de tres pulgadas. La calidad de las tuberías tampoco era buena. Después de discutir el asunto con SNV, hemos cambiado las tuberías. Válvulas de compuerta [han sido] reemplazadas por válvulas de bola.*

OFICIAL DE CONSERVACIÓN, KCC



Briquetas en bandejas de secado KCC

## Oportunidades de reutilización

### *Co-compostaje y producción de briquetas*

Actualmente se está investigando el posible uso rentable de la materia fecal sólida de la planta de tratamiento para el co-compostaje, la acuicultura y la producción de ambos no carbonizados y briquetas de carbón vegetal. Los fondos del gobierno nacional han sido asegurados recientemente por KCC y SNV para realizar más investigaciones y desarrollar y expandir la producción de briquetas.

*La materia sólida [reutilización] está en el nivel de investigación. Queremos co-compostarlo. De hecho, queremos hacer acuicultura. Estamos investigando al respecto. Recientemente hemos fabricado briquetas. Y el líquido fluye directamente al agua. No tenemos la opción de reutilizarlo. Nos aseguramos de que el líquido sea no es dañino y es amigable con el medio ambiente, luego fluye hacia el cuerpo de agua.*

**OFICIAL JEFE DE GESTIÓN DE RESIDUOS, KCC**

## Consideraciones de elección informada

## Humedal construido para el tratamiento de lodos fecales en Khulna, Bangladesh

	Capacidad operativa y de diseño	Capacidad de diseño = 180 m <sup>3</sup> /día. Capacidad operativa = 10-15 m <sup>3</sup> /día.
	Costos operativos	US \$ 2,311 por año (salarios y costos de electricidad).
	Características de entrada	DBO = 400-500 mg/L.
	Características de salida	DBO = 26-33 mg/L (límite de descarga: 40 mg/L).
	Reutilizar	Investigar opciones para el co-compostaje, la acuicultura y la producción de briquetas de carbón y no carbonizadas.
	Requisitos de habilidades y recursos humanos	Un cuidador, un conductor de vacutug y un ayudante; Los ingenieros de SNV y KUET brindan soporte técnico relacionado con la instalación o reparación de maquinaria y el monitoreo del desempeño del FSTP.
	Disponibilidad de tecnología/material (local)	Todos los materiales están disponibles localmente.

**Colaboradores:** Sk Shaker Ahmed (SNV in Bangladesh) | Muhammed Alamgir (University Grants Commission of Bangladesh) | Md Abdul Aziz and Anisur Rehman (KCC) | Md Forkan Sarder (Khulna FSTP).

**Fotos:** SNV.



ESTUDIO DE CASO 3

# Producción de filtrado y reutilización de turba de coco

---

Kushtia,  
Bangladesh



## Antecedentes

### Selección y finalidad del tratamiento

La Planta de tratamiento de lodos fecales (FSTP) en Kushtia, Bangladesh, comenzó a funcionar en 2012. Es propiedad de la municipalidad local, pero es operada de forma privada mediante un acuerdo contractual con Environmental Resource Advancement Services (ERAS), una pequeña empresa privada. El FSTP incluye lechos de secado sin plantar para separar los desechos sólidos y líquidos, un filtro de turba de coco para tratar el efluente líquido e implica un proceso de co-compostaje para tratar lodos secos con desechos orgánicos con fines de reutilización. Estas tecnologías fueron elegidas por su diseño simple y de bajo costo para la construcción, operación y mantenimiento (O&M). Se eligió una tecnología natural sobre las opciones mecanizadas para evitar costosas facturas de energía y los frecuentes requisitos de operación y mantenimiento de cualquier sistema mecanizado. Sin embargo, algunas bombas mecanizadas se utilizan como parte del sistema.

La selección del diseño se realizó a través de un proceso consultivo en el que participaron varias organizaciones públicas y privadas, entre las que se incluyen: (i) el Departamento de Ingeniería del Gobierno Local (LGED) de Bangladesh como financiador del FSTP (a través de su proyecto Secondary Towns Integrated Flood Protection [STIFP]); (ii) el municipio local de Kushtia como propietarios del FSTP; y (iii) una serie de consultores nacionales e internacionales como asesores técnicos. El sitio se desarrolló inicialmente para el compostaje de residuos municipales y posteriormente se agregó el componente de gestión de lodos fecales. Fue el municipio de Kushtia el que tomó la decisión final sobre el diseño después de discutir y consultar con los miembros del proyecto STIFP, el municipio y los asesores técnicos.



## Descripción del sistema

El Kushtia FSTP utiliza un sistema de tratamiento lineal para procesar el lodo fecal, que llega a la instalación a través de camiones de vacío operados y de propiedad municipal (conocidos como vacutugs en Bangladesh). La *figura 1* muestra el proceso de tratamiento. La instalación calcula el volumen de lodo recibido de acuerdo con el tamaño del vacío, ya que cada vehículo está marcado con su capacidad (es decir, 1000L, 2000L y 4000L). Tras la recepción del lodo, no se produce ningún cribado; más bien, se vierte en las dos cámaras de descarga principales de la instalación para la sedimentación de lodos (una cámara a cada lado de los dos lechos de secado en funcionamiento).

*Hemos tratado de adaptar dicha tecnología para reducir el costo de las operaciones a largo plazo, pensando en el costo operativo. Porque, a nivel municipal, la fuente de capital o de ingresos es limitada. Por eso elegimos esta tecnología de bajo costo.*

INGENIERO, MUNICIPIO DE KUSHTIA

En las dos cámaras de vertido primarias, los residuos sólidos y otras basuras se clasifican mediante un gran tambor perforado: los lodos se mueven a través de los orificios, pero los residuos sólidos permanecen. El lodo restante se mueve por gravedad a los lechos de secado natural a través de la boca de la cámara. En cada lecho de secado hay tres filas de ladrillos para distribuir los lodos fecales de manera uniforme. El efluente líquido se separa de la parte sólida en los lechos de secado a través de un material filtrante compuesto por ladrillos, arena, piedras y tuberías.

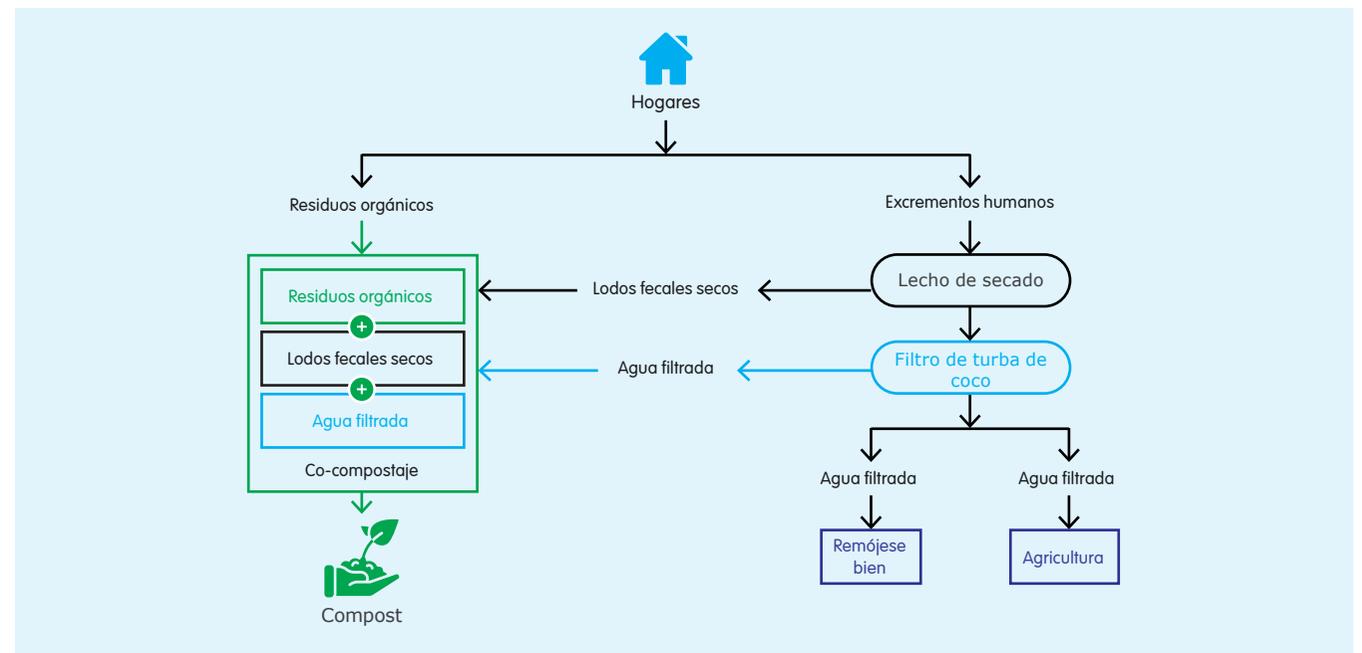


Eliminación de lodos de contención doméstica



Los lodos sedimentados pasan al lecho de secado natural a través de la compuerta de filtración

Figura 1. Diagrama de flujo del tratamiento,<sup>1</sup> adaptado por SNV



<sup>1</sup> I. Enayetullah, "Co-composting of municipal solid waste and faecal sludge in Kushtia Bangladesh", ISWA Congress 2015, Dhaka, Waste Concern, 2015, <https://www.unescap.org/sites/default/files/Waste%20Concern,%20Bangladesh.pdf> (accessed 10 November 2020).



Filtrado de efluentes en lecho filtrante de polvo de coco



Descarga de lodos en lechos de secado



Retirar los lodos secos de los lechos de secado

El efluente líquido se acumula en dos tanques de reserva y se bombea al filtro de turba de coco. El filtro de turba de coco es un sistema de filtrado vertical que utiliza fibra de coco de las plantas de procesamiento de coco. Después de la filtración a través del filtro de turba de coco, el agua filtrada se descarga en un estanque de reserva. Esta agua se utiliza para la agricultura en el vivero de plantas de la instalación interna o se vierte en un canal cercano. La parte sólida de los lodos tratados se combina con residuos orgánicos para el co-compostaje con el fin de producir fertilizante agrícola, que luego se comercializa.

*La razón por la que el filtro de turba de coco me parece bueno es que el agua se filtra dos veces. Una vez dentro del lecho seco, el agua entra en el tanque. Desde el tanque subimos el agua a la turba de coco. El agua va al estanque desde allí. El agua ha sido probada y ha cumplido con el estándar. Esta es la primera vez que vi el sistema de turba de coco en mi vida*

**GERENTE DE PRODUCCIÓN, ERAS**

Figura 1. Diagrama de flujo del tratamiento,<sup>2</sup> adaptado por SNV

	Lechos de secado de lodos
Capacidad de diseño	8-9 m <sup>3</sup> de lodos/día.
Capacidad operativa	8-9 m <sup>3</sup> de lodos/día.
Gastos de funcionamiento	US\$ 115,000 gastado en gastos de capital US\$ 900/mes por personal para gastos salariales (siete personas en el centro).

## Entorno regulatorio y de cumplimiento

El Kushtia FSTP sigue los estándares de calidad de efluentes ambientales y de cumplimiento establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Bosques del Gobierno de Bangladesh.<sup>2</sup> La instalación cumple de manera confiable los estándares de calidad del agua regulados por el gobierno, que requieren que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) no debe ser superior a 40 mg/L, y que las bacterias coliformes fecales deben ser menos de 1,000 por 100 ml. El FSTP actualmente cumple con estos estándares de efluentes y tiene un laboratorio en el sitio de la instalación para evaluar la calidad del agua de manera regular. Para los desechos sólidos procesados, no se siguen estándares de calidad, excepto para garantizar que los desechos sean seguros de eliminar mediante la realización de pruebas de laboratorio para detectar patógenos en la instalación.

<sup>2</sup> S.R.O. No. 197-Law/97-Environment Conservation Rules (1997) Ministry of Environment and Forest, Government of Bangladesh.



Lechos de secado de lodos en la FSTP de Kushtia

## Operación y mantenimiento: realidades, desafíos y oportunidades

### Realidades del funcionamiento de la planta de tratamiento

#### *Costos, capacitación y soporte*

La instalación es arrendada a ERAS por el municipio, y cada entidad es responsable de diferentes costos de operación y mantenimiento. ERAS paga una tarifa de US \$590 por año para arrendar la instalación, y el arrendamiento actual se extiende hasta junio de 2021. Como arrendatario, ERAS es responsable de los pequeños costos operativos. Esto incluye los costos salariales del personal para siete personas, lo que constituye los mayores costos operativos. Los costos de infraestructura más importantes, como reparaciones importantes y gastos de capital, son responsabilidad del municipio. Hasta la fecha, el municipio ha invertido en conectar la instalación a la red eléctrica y garantizar un adecuado acceso por carretera. El municipio también está reparando actualmente algunas de las celdas de co-compostaje. Los siete empleados que trabajan en la planta han recibido capacitación práctica en operación y mantenimiento de SNV, quienes brindan soporte técnico regular. A través de la capacitación práctica recibida, el personal conoce y responde a las necesidades continuas de operación y mantenimiento de la instalación.



Tanques de reserva que drenan el agua de los lechos de secado de lodos

*No existe tal protocolo [operación y mantenimiento]. Nos ocupamos de ello por nuestro propio interés. Si lo entendemos a simple vista, está sucio, tenemos que eliminarlo o reducir la mercancía [lodo] si es más de capacidad. Luego nos aseguramos de que el mantenimiento [esté asegurado].*

**GERENTE DE PRODUCCIÓN, ERAS**

#### *Limpieza y mantenimiento de unidades de tratamiento.*

La limpieza y el mantenimiento del filtro de turba de coco y los lechos de secado de lodos son las tareas más importantes para el personal, ya que requieren una limpieza diaria. Las tareas operativas frecuentes incluyen levantar el efluente en el filtro de turba de coco varias veces a la semana para garantizar que el sistema de filtración funcione de manera eficaz. Semanalmente se realizan deslodos o remoción de lodos secos para limpiar los lechos y prepararlos para nuevos lotes de lodos.

#### *Necesidades de electricidad*

Se necesita electricidad mínima para operar el FSTP, con el laboratorio y las bombas operadas desde la red eléctrica, y un generador de combustible si ocurren cortes de energía. Las principales necesidades de electricidad son alimentar una bomba, que mueve el agua de los tanques de reserva al filtro de turba de coco, y operar el laboratorio para las pruebas de calidad de los efluentes. Además, la instalación de co-compostaje requiere una fuente de energía para las máquinas rompedoras y de enrejado.

### Vida útil de la planta

El FSTP se diseñó a pequeña escala para evaluar el rendimiento del sistema elegido y medir la necesidad de una expansión futura. En el momento del diseño de la planta en 2011, la población total de la ciudad de Kushtia era 102,988. Los servicios de la instalación, incluida la eliminación de sedimentos, están disponibles para todos, y la vida útil de la instalación será de al menos otros 20-30 años. Con el sistema de tratamiento modelo considerado exitoso, los procesos de licitación actuales están en marcha para expandir la capacidad de la planta para hacer frente a volúmenes más grandes a medida que aumentan las prácticas de vaciado.

## Desafíos de la construcción, operación y mantenimiento

### Variabilidad de la entrada de residuos

La planta ha experimentado una entrada de residuos variable en términos de calidad y cantidad, lo que ha generado desafíos operativos. Los lodos de mala calidad recibidos de los hogares (contaminados con basura, o suciedad, o con un porcentaje de líquido demasiado alto) afectan la producción ya que incrementan los recursos humanos necesarios para procesar los lodos, aumentando los costos.

Cuando la entrada de residuos es demasiado baja, esto afecta la cantidad de fertilizante que se puede producir. Del mismo modo, como se describió anteriormente, cuando la entrada es demasiado alta y la planta recibe cantidades excesivas de lodo, este exceso de lodo se descarga en zanjas, lo que genera problemas de contaminación ambiental. El municipio aceptó una solicitud de ERAS para ampliar la capacidad de la instalación mediante la adición de dos lechos de secado, con financiamiento del municipio (80%) y un proyecto SNV financiado por la Fundación Bill y Melinda Gates (20%). Mediante un proceso de licitación, el municipio asignó a un contratista para construir dos camas adicionales y un cobertizo. Se completó la actualización de las instalaciones y actualmente se están instalando cámaras de circuito cerrado de televisión con fines de vigilancia y seguridad.

*Anteriormente, dijimos, dimos capacitación en el trabajo. Ahora, aquellos que están involucrados en ERAS o compostaje analizan los problemas de salud [y] seguridad. Se les proporcionan botas de goma para las piernas, guantes para las manos, mascarillas para la cara... el personal tiene que usar estos artículos.*

INGENIERO, MUNICIPIO DE KUSHTIA



Trabajadores del FSTP de Kushtia retirando la basura de los residuos orgánicos sólidos para su co-compostaje

### Obstrucción de filtros

La obstrucción de la cámara de descarga de los filtros del lecho de secado ha provocado problemas de desbordamiento y fallas del mecanismo en ocasiones. El FSTP está en funcionamiento las 24 horas del día, pero los operadores solo trabajan desde las 8 am hasta las 4 pm, por lo que en ocasiones los operadores de vacutug descargan lodos sin supervisión del personal de la planta. Como los operadores de vacutug no saben cuánto lodo puede recibir el sistema de tratamiento en un momento dado, se han producido problemas de desbordamiento y obstrucciones ocasionales del mecanismo de tratamiento del medio filtrante dos veces hasta la fecha. Para hacer frente a los problemas actuales de altos insumos, los operadores de vacutug han recibido instrucciones de descargar el lodo en las zanjas mientras se construyen los lechos de secado adicionales. Se han instalado grandes tambores perforados en la cámara de descarga para abordar el problema de la obstrucción del filtro.



Co-compostaje de lodos tratados y residuos orgánicos

### Temporada de lluvias

Las preocupaciones por las inundaciones y la temporada de lluvias presentaron desafíos durante la construcción y afectaron la operación y mantenimiento en curso. Durante la construcción, fue una prioridad para los diseñadores elevar los lechos de secado por encima del nivel de inundación, lo que requirió un importante movimiento de tierras. Anteriormente, la operación y mantenimiento estaba bajo presión durante la temporada de lluvias ya que no había cobertizos ni cubiertas para los lechos de secado, lo que significaba que los lodos no se podían secar, lo que interrumpió el proceso de tratamiento. Se requirió un esfuerzo significativamente mayor por parte de los operadores para tratar el lodo en la temporada de lluvias, ya que los lechos de secado debían vaciarse y limpiarse. A mediados de 2018, el gerente de producción informó al municipio de este desafío en curso y solicitó la construcción de un galpón para proteger los lechos de secado de las lluvias.

### Desafíos de seguridad y salud ocupacional (OHS)

Debido a la clasificación manual de la materia orgánica de los desechos sólidos para los procesos de co-compostaje, el personal se ha visto afectado con frecuencia por los desechos de metal. A pesar de las medidas exigidas por OHS, incluido el uso de botas de goma, guantes, mascarillas, uniformes y lavado de manos con jabón antibacteriano, el gerente de



Un trabajador del FSTP de Kushtia sellando el abono co-compuesto en bolsas (izquierda) y el producto final del abono (derecha)

producción explicó que el personal no siempre usaba ropa protectora debido a la incomodidad de estas prendas en climas cálidos. Sin embargo, en la actualidad, el personal se ha habituado a usar ropa protectora, lo que minimiza estos desafíos de SSO. La autoridad municipal siempre está animando a los limpiadores a usar Equipo de Protección Personal (EPI).

### Oportunidades de reutilización

El co-compostaje - la degradación aeróbica controlada de los orgánicos utilizando más de una materia prima (lodos fecales y desechos sólidos orgánicos)<sup>3</sup> - ocurre en el FSTP para la producción minorista de fertilizantes agrícolas. En Kushtia FSTP, el compostaje abierto ocurre donde el lodo mezclado y los desechos sólidos orgánicos se apilan en montones y se dejan descomponer por un período de 45 a 50 días. Estas pilas se voltean periódicamente para proporcionar oxígeno y para garantizar que todas las partes de la pila se sometieran al mismo tratamiento térmico.<sup>4</sup> Los operadores de la planta clasifican los residuos orgánicos para mezclarlos con el lodo tratado. El fertilizante que se produce se vende luego para uso agrícola en el mercado local y en otros distritos (Dinajpur, Bogura, Chittagong, Dhaka, Jashore). Desde 2018, dos años después de la participación del sector privado en la operación de co-compostaje, la instalación ha obtenido ganancias.

<sup>3</sup> E. Tilley, L. Ulrich, C. Lüthi, Ph. Reymond and C. Zurbrügg, *Compendium of Sanitation Systems and Technologies, 2nd Revised Edition*, Dübendorf, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (eawag), 2014, [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%202nd%20Revised%20Edition.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%202nd%20Revised%20Edition.pdf) (accessed 5 November 2020).

<sup>4</sup> As part of SNV's support, compost was sent to the Bangladesh Agriculture Research Institute for testing in different agriculture products, and the Fisheries & Marine Resource Technology Discipline of Khulna University to analyse compost impact on pisciculture. Findings of both research were used to improve the quality of compost production. Read more here: [https://snv.org/cms/sites/default/files/explore/download/snv\\_-\\_co-composting\\_of\\_faecal\\_sludge.pdf](https://snv.org/cms/sites/default/files/explore/download/snv_-_co-composting_of_faecal_sludge.pdf) and [https://snv.org/cms/sites/default/files/explore/download/snv\\_-\\_impact\\_of\\_treated\\_faecal\\_sludge\\_on\\_fish\\_growth.pdf](https://snv.org/cms/sites/default/files/explore/download/snv_-_impact_of_treated_faecal_sludge_on_fish_growth.pdf).

## Consideraciones de elección informada

## Producción de filtrado y reutilización de turba de coco en Kushtia, Bangladesh

	<b>Capacidad operativa y de diseño</b>	Capacidad de diseño = 8-9 m <sup>3</sup> /día. Capacidad operativa = 8-9 m <sup>3</sup> /día.
	<b>Costos de operación</b>	US \$ 10,800 por año (salarios) + US \$ 950 por año por arrendamiento de instalaciones.
	<b>Requerimientos energéticos</b>	Baja demanda de energía.
	<b>Características de entrada</b>	Variabilidad tanto en calidad como en cantidad.
	<b>Características de salida</b>	DBO = <40 mg/L (límite de descarga: 40 mg/L).
	<b>Reutilizar</b>	Co-compostaje para fertilizantes agrícolas minoristas.
	<b>Requisitos de habilidades y recursos humanos</b>	Siete empleados.
	<b>Disponibilidad de tecnología/material (local)</b>	Las tecnologías naturales fueron elegidas por su diseño simple y de bajo costo en términos de construcción, operación y mantenimiento.

## Referencias

Enayetullah, I., 'Co-composting of municipal solid waste and faecal sludge in Kushtia Bangladesh', *ISWA Congress 2015*, Dhaka, Waste Concern, 2015, p.9, [https://www.unescap.org/sites/default/files/Co-Composting%20Kushtia\\_Waste%20Concern.pdf](https://www.unescap.org/sites/default/files/Co-Composting%20Kushtia_Waste%20Concern.pdf) (accessed 5 November 2020).

S.R.O. No. 197-Law/97-Environment Conservation Rules (1997) Ministry of Environment and Forest, Government of Bangladesh

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph. and Zurbrügg, C., *Compendium of Sanitation Systems and Technologies, 2nd Revised Edition*, Dübendorf, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (eawag), 2014, [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%20-%202nd%20Revised%20Edition.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%20-%202nd%20Revised%20Edition.pdf) (accessed 5 November 2020).

**Colaboradores:** Ranver Ahmad (Kushtia Paurashava) | Md Nazrul Islam (ERAS).

**Photos:** SNV.



## CASO DE ESTUDIO 4

# Producción de briquetas como reutilización

---

Nakuru,  
Kenya



## Antecedentes

### Selección y finalidad del tratamiento

NAWASSCOAL produce y comercializa briquetas carbonizadas de forma redonda elaboradas a partir de lodos tratados como combustible alternativo para la cocina y la calefacción domésticas. NAWASSCOAL es una subsidiaria de Nakuru Water and Sanitation Services Company Ltd (NAWASSCO) y se estableció en 2018, después de una fase piloto que comenzó en 2013. La planta de tratamiento de agua doméstica convencional de NAWASSCO se construyó en 1956 y se rehabilitó en 2018 para permitir la compatibilidad y un vínculo que funciona bien con las operaciones de NAWASSCOAL. Las consideraciones clave en la selección del diseño de producción de briquetas NAWASSCOAL incluyeron: (i) capacidad tecnológica para procesar desechos humanos en material concentrado de carbono adecuado para la producción doméstica de briquetas; (ii) capacidad para operar en diversas condiciones climáticas, particularmente durante la temporada de lluvias; (iii) la necesidad de adaptarse a la superficie disponible; y (iv) el requisito de satisfacer las preocupaciones de impacto ambiental de las partes interesadas clave, ya que la instalación está ubicada en un parque nacional.

La instalación de producción de briquetas fue diseñada localmente por una variedad de partes interesadas bajo el Programa de Saneamiento del Condado de Nakuru (NCSP) (2013-2018). NAWASSCO implementó el NCSP con el apoyo de Vitens Evides International (VEI), SNV, Umande Trust y el gobierno del condado de Nakuru. El programa formó un comité directivo con representantes de los departamentos clave de la empresa de agua NAWASSCO, así como socios del proyecto y representantes gubernamentales, quienes participaron a través de subcomités en el diseño de la instalación y el suministro de tecnologías. Las recomendaciones del comité directivo informaron la decisión final tomada por el programa y el donante. La decisión también se basó en la puesta a prueba de posibles productos de reutilización, por ejemplo, diferentes tipos de biofertilizantes y combustibles de biomasa a través de una asociación con la Universidad de Egerton y otros socios del proyecto. El piloto incluyó el desarrollo de productos y estudios de mercado, un modelo de viabilidad y negocio, un piloto comunitario y pruebas de campo.

*La prueba comunitaria con hogares en las zonas de bajos ingresos de Nakuru confirmó la voluntad de las personas de utilizar combustible producido a partir de lodos fecales, siempre que satisfaga sus necesidades culinarias (y sea) asequible. Las pruebas proporcionaron información clave para un mayor desarrollo de productos y estrategias de marketing, distribución y ventas.*

ASESOR DE LAVADO, SNV EN KENIA



Planta de producción de briquetas NAWASSCOAL



Aglomerador en funcionamiento con tambor giratorio



Briquetas carbonizadas de forma redonda en lechos de secado



Briquetas carbonizadas de forma redonda utilizadas como fuente de combustible alternativa

## Descripción del sistema

La planta de tratamiento NAWASSCO está diseñada para recibir cualquier tipo de aguas residuales domésticas, siendo los lodos tratados utilizados para la producción de las briquetas NAWASSCOAL. NAWASSCO recibe aguas grises y negras a través de líneas de alcantarillado y lodo de camiones de vacío o tecnologías de vaciado de fosas. La planta de tratamiento de NAWASSCO recibe un estimado de 2.800 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales, que se someten a un proceso de cribado para eliminar arena y arenilla. A esto le sigue el espesamiento en un clarificador primario para reducir el contenido de humedad del lodo, lo que da como resultado 1.020 m<sup>3</sup>/día de lodo. Luego, el lodo se bombea desde la planta de tratamiento NAWASSCO, a través de una tubería de conexión recién construida, al sitio de producción de briquetas de NAWASSCOAL para un secado adicional al 20% de contenido de humedad utilizando lechos de secado al aire libre y un secador solar, o una combinación de los dos. Este proceso da como resultado aproximadamente 200 m<sup>3</sup> o 140 t/día de lodo para su procesamiento en briquetas. La tecnología de carbonización utilizada en la instalación fue diseñada para acomodar una amplia gama de desechos de biomasa (cualquier desecho orgánico, incluido aserrín, cáscara de arroz, bagazo y cualquier tipo de desecho humano). Por lo tanto, los residuos se pueden tomar de la planta de tratamiento convencional, así como directamente de los camiones de vacío.

El diseño de producción de briquetas se ha optimizado para garantizar las propiedades físicas y de combustión requeridas de las briquetas. La *Figura 1* (en la página siguiente) describe el proceso de producción de NAWASSCOAL, que incluye un tanque de almacenamiento, lechos de secado al aire libre, un secador solar, una unidad de carbonización, molinos de martillos, un mezclador por lotes y un tambor o aglomerador giratorio. Las briquetas están hechas de una combinación de aserrín seco y carbonizado (50%) y desechos humanos/lodos (50%) en volumen. El aglomerador funciona volteando el lodo y el aserrín en un tambor giratorio, en presencia de un agente aglutinante como la melaza, seguido del secado de las briquetas en lechos durante hasta cuatro días. Las pruebas mostraron que las briquetas exhibieron los atributos positivos de contenido de humedad (7.3%), materia volátil (34.5%), contenido de cenizas (36.4%) y valor calorífico (22.001 MJ/kg), mientras que las briquetas ligadas con melaza tienen un valor calórico más bajo que las briquetas unidas con materia fecal.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> M.J. Mbuba, D.M. Nyaanga, P.A. Kabok and R. Eppinga, "Effect of mix ratios and binders on physical and physical combustion characteristics of faecal matter – sawdust briquettes" *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 7, issue 4, 2017.

Figura 1. Proceso típico de producción de briquetas NAWASSCOAL, incluido el proceso de tratamiento NAWASSCO (parte superior de la figura), dibujado por SNV según la visita al sitio.

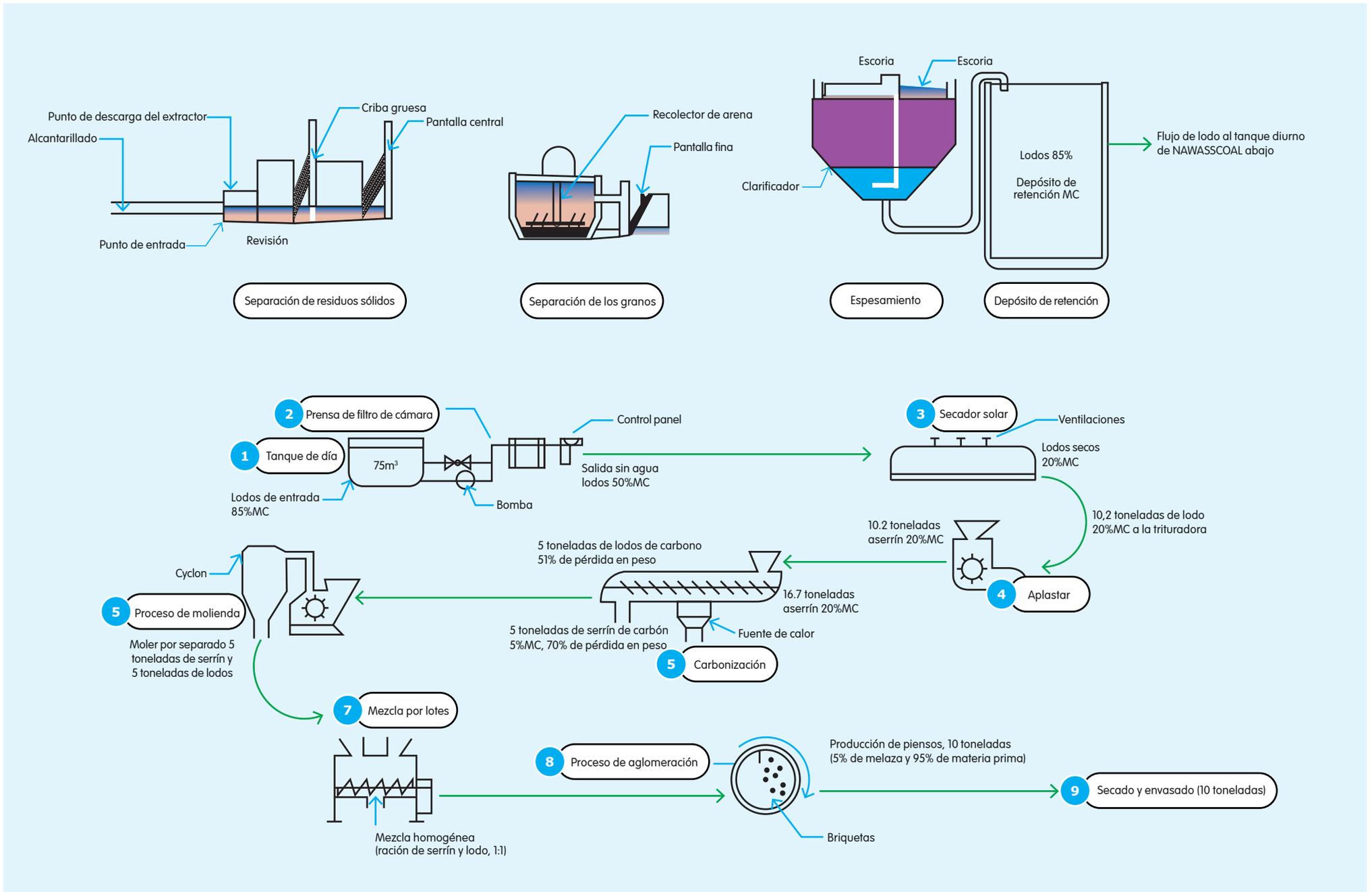


Tabla 1. Capacidad y costes operativos del plan de tratamiento de NAWASSCOAL y operaciones de briquetado

	Planta de tratamiento convencional	Producción de briquetas para su reutilización
Capacidad de diseño	3,400 m <sup>3</sup> /día de aguas residuales.	250 t/mes
Capacidad operativa	2,800 m <sup>3</sup> /día de aguas residuales.	10 t/mes
Costos	CAPEX = US\$ 366,497.	
Gastos de capital (CAPEX)	OPEX para NAWASSCOAL = US\$ 14,020 (primer año).	
	OPEX para NAWASSCOAL = US\$ 1,473 (segundo año).	
	OPEX para NAWASSCOAL = US\$ 18,172 (tercer año, estimado).	
Gastos operativos (OPEX)	OPEX para NAWASSCOAL = US\$ 55,640 (cuarto año, estimado).	
	OPEX para NAWASSCOAL = US\$ 206,458 (año cinco, estimado) <sup>2</sup> .	

## Entorno regulatorio y cumplimiento

Los estándares de efluentes tratados establecidos por la Autoridad de Gestión del Medio Ambiente Natural de Kenia (NEMA) son seguidos y cumplidos por NAWASSCO. Los estándares de efluentes para la planta de tratamiento convencional son DBO (demanda bioquímica de oxígeno) < 50 mg/L y DQO (demanda química de oxígeno) < 30 mg/L.<sup>3</sup> La parte líquida de los desechos se trata adicionalmente a través de un filtro de roca y estanques de pasto, hasta el estándar requerido por NEMA, luego lanzado al lago Nakuru. Antes de la construcción, se requirió la aprobación de todas las partes relevantes, incluido el Servicio de Vida Silvestre de Kenia y el gobierno del condado de Nakuru, para garantizar que se cumplan las normas ambientales debido a la ubicación delicada de la instalación en un parque nacional. Las preocupaciones expresadas por algunas partes interesadas se superaron mediante un amplio proceso de consultas.

*El proceso de participación pública, que incluyó a representantes de escuelas y comunidades vecinas, así como de Kenya Wildlife, NEMA y las oficinas del Jefe, aseguró que todos los interesados estuvieran informados y desde entonces apoyaron la iniciativa.*

GERENTE GENERAL, NAWASSCOAL

<sup>2</sup> Every year, capacity of the facility is increased. This will require an increase in operational costs and capital expenditure. Operational cost increases will be covered by additional profits from briquette production.

<sup>3</sup> Environmental management and co-ordination (water quality) regulations (2006) Kenyan Natural Environment Management Authority, [https://www.nema.go.ke/images/Docs/water/water\\_quality\\_regulations.pdf](https://www.nema.go.ke/images/Docs/water/water_quality_regulations.pdf) (accessed 1 December 2020).



Planta carbonizadora

## Operación y mantenimiento: realidades, desafíos y oportunidades

### Realidades del funcionamiento de la planta de tratamiento

#### *Optimización de la producción a través de consideraciones tecnológicas*

En el diseño de la instalación de NAWASSCOAL se eligieron tecnologías de tratamiento que optimizaron los procesos de producción. El carbonizador se eligió para permitir la carbonización a gran escala de lodos fecales secos y otros materiales de biomasa. El secador solar se introdujo para acelerar el secado y para ser utilizado en combinación con los lechos de secado al aire libre. Usando materiales de retardo solar tratados con UV, las temperaturas en el secador solar pueden alcanzar los 50° Celsius y el secado no se ve afectado por condiciones climáticas como la lluvia.

#### *Capacitación de personal, OHS y operadores*

Las consideraciones clave para operar la instalación incluyen asegurarse de que se emplee suficiente personal, se sigan las medidas de salud y seguridad ocupacional (OHS) y se cumplan los requisitos de capacitación. Actualmente, hay cuatro empleados capacitados que incluyen un gerente general, un oficial de marketing, un oficial comercial y un supervisor de producción,

así como tres asistentes de producción no calificados que trabajan en las instalaciones de NAWASSCOAL. Las actividades típicas realizadas por los asistentes de producción incluyen briquetado, molienda, mezcla, alimentación del carbonizador, trituración de materias primas en preparación para la carbonización, secado de productos finales, secado de lodos, envasado y distribución/ventas. Para garantizar la OHS, la empresa trabaja para eliminar el contacto con lodos crudos sin tratar tanto como sea posible. Cuando ocurre el contacto, se requiere el uso de equipo y equipo de protección, así como seguir la capacitación adecuada en el manejo de lodos no tratados. También es fundamental asegurarse de que las máquinas se construyan siguiendo las reglas y regulaciones como se describe en la Ley de Seguridad y Salud Ocupacional de Kenia (OSHA) de 2007.

La capacitación en el trabajo y los manuales que describen los procedimientos clave ayudan a capacitar al personal. NAWASSCOAL tiene un manual de salud y seguridad, un manual de finanzas, un manual corporativo y de gobierno, un manual de producción, un manual de recursos humanos y un manual de procedimientos estándar de operación y mantenimiento que describe los procedimientos de operación adecuados. Los operadores han sido capacitados en el trabajo por quienes pueden operar la maquinaria, incluidos los proveedores locales e internacionales de maquinaria utilizada en la instalación para operaciones y mantenimiento (O&M) y capacitación en seguridad.

*Se realizó una evaluación integral de los requisitos de seguridad y se implementaron recomendaciones como la inoculación del personal, el uso de equipo de seguridad y capacitaciones en primeros auxilios y seguridad contra incendios. Se desarrolló un manual de salud y seguridad para guiar las operaciones diarias. Desde entonces, se han implementado señalización, marcado en los pisos, aislamiento de tuberías calientes, entre otros procedimientos de seguridad.*

**GERENTE GENERAL NAWASSCOAL**

### *Satisfacer la demanda del mercado mediante la ampliación y mejora de las instalaciones.*

Se requiere la expansión de las instalaciones de NAWASSCOAL y mejoras continuas para satisfacer la creciente demanda del mercado de briquetas. Con una población de 500.000 habitantes en la ciudad de Nakuru, el estudio de mercado de la fase de diseño indicó que la necesidad de briquetas es mayor de lo que puede satisfacerse con la escala actual de operaciones. Teniendo en cuenta los planes del gobierno local para extender las instalaciones de alcantarillado y tratamiento de la ciudad en los próximos años, se han invertido 115.134 dólares adicionales en la instalación de NAWASSCOAL, y la compañía actualmente busca fondos adicionales para continuar la expansión según su plan de negocios.



Secador solar en las instalaciones de NAWASSCOAL

La vida útil total de la instalación es de entre 5 y 20 años debido a las diferentes tecnologías en funcionamiento. La vida útil de algunas maquinarias de producción local es de hasta cinco años, mientras que para la maquinaria importada más grande, es de entre 15 y 20 años. Para garantizar que la maquinaria cumpla con su vida útil prevista, se llevan a cabo mejoras y mantenimiento continuos. Ejemplos de mejoras realizadas incluyen aislamiento del carbonizador, mayor durabilidad del piso del secador solar usando materiales de alta calidad (incluido concreto reforzado con una capa superior de cemento impermeable y pilares de concreto entre el lodo y el metal) y rejillas de secado construidas con metal en su lugar de madera. Las actividades de mantenimiento clave incluyen la reparación de los molinos de martillos y el tambor giratorio, que el personal puede realizar fácilmente a nivel local.

## Desafíos de operación y mantenimiento

### Consideraciones clave para elegir la tecnología más adecuada

Un aprendizaje clave de los operadores de las instalaciones de fabricación de briquetas fue el tipo de tecnologías que se deben usar y no usar si la ampliación de las operaciones es una prioridad. Para aumentar la velocidad de producción, se habría preferido una máquina briquetadora profesional a las máquinas aglomeradoras actualmente en funcionamiento, que en el caso de Kenia tendrían que ser importadas. También se encontró que el carbonizador requiere un trabajo de preparación bastante significativo antes de que pueda instalarse, y es posible que no se requiera el elemento secador. El trabajo preparatorio incluyó asegurar que hubiera suficientes tanques de agua y tanques de enfriamiento, construir un marco para transportadores, construir canales para el piso, instalar el pilar requerido para que el carbonizador se asentara e instalar cables eléctricos. El elemento secador no es necesario cuando hay suficiente luz solar y se puede confiar en el secado solar. Esto ahorra una cantidad significativa de energía. Finalmente, los molinos de martillos más profesionales que manejan bien los materiales carbonizados también son recomendables si la planta pasa a operaciones a gran escala, al igual que los dispositivos de deshidratación. Generalmente, la idoneidad de varias máquinas depende de la escala prevista y del presupuesto disponible.

*Maximizamos el uso del sol para secar las materias primas así como los productos finales. Al utilizar el calor natural del sol, la empresa ahorra en costos de electricidad.*

**GERENTE GENERAL NAWASSCOAL**

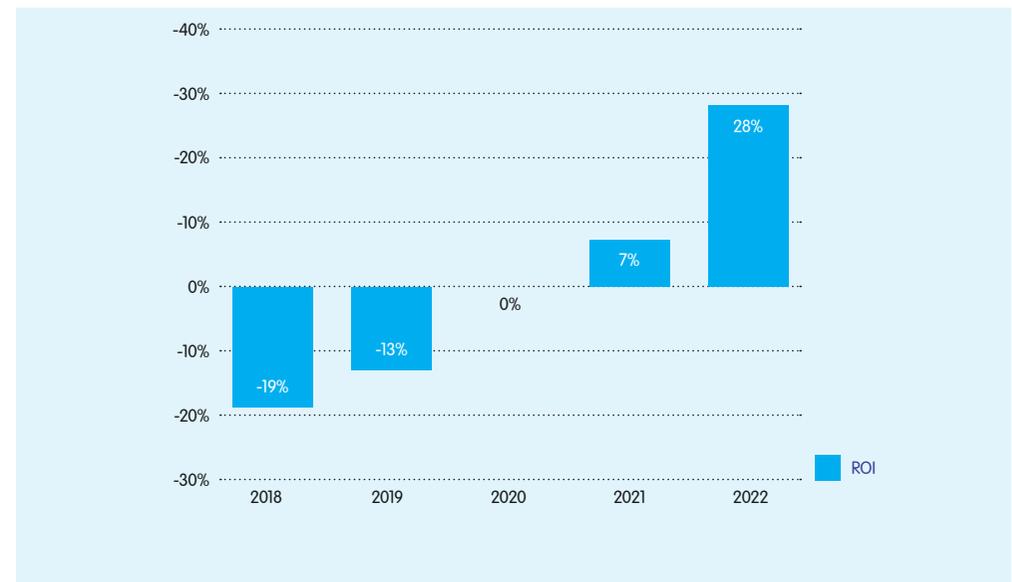
### Ausencia de fuente de alimentación de respaldo

Un desafío clave al que se enfrenta la instalación de NAWASSCOAL es la falta de una fuente de alimentación de respaldo. La instalación depende de la red eléctrica para obtener energía, que es uno de los mayores costos, junto con los costos de mantenimiento continuo. Los cortes de energía pueden provocar retrasos en la producción de las briquetas. Sin embargo, cuando no hay energía, el personal puede trabajar en otros procesos que no dependen de la electricidad. Aunque los lechos de secado están cubiertos, el clima húmedo también puede provocar retrasos en el secado del lodo y las briquetas. NAWASSCOAL propone actualmente el secado en horno de las briquetas para evitar retrasos debido al clima húmedo.

### Asegurar la sostenibilidad financiera

Era necesario que la empresa alcanzara el punto de equilibrio durante los primeros tres años de funcionamiento para reembolsar los fondos invertidos por NAWASSCO y ser financieramente sostenible. NAWASSCOAL heredó las inversiones de capital realizadas en la instalación de briquetas a través del programa cofinanciado por NCSP EU y recibió préstamos de su empresa matriz NAWASSCO (US \$ 126,335) para cubrir los gastos operativos durante los primeros dos años. El monto de este préstamo debe reembolsar a una tasa de interés del 5% una vez que la empresa se recupere y comience a obtener ganancias, lo que se espera en el cuarto año de operación, como se muestra en la *Figura 2*. NAWASSCOAL planea aumentar la capacidad de producción a 60 toneladas en el tercer año con el fin de cubrir los costos operativos y aumentar constantemente la producción, lo que les permite pagar sus préstamos y ser financieramente sostenibles.

Figura 2. Predicción del retorno de la inversión (ROI) de NAWASSCOAL, basada en la conversación mantenida durante la visita al emplazamiento



## Consideraciones de elección informada

## Producción de briquetas para reutilización en Nakuru, Kenia (NAWASSCOAL)

	Capacidad operativa y de diseño	Capacidad de diseño = 250 t/mes de briquetas. Capacidad operativa = 10t/mes de briquetas.
	Costos de operación	CAPEX = US\$ 366,497 OPEX para NAWASSCOAL = US \$ 14,020 (año uno). OPEX para NAWASSCOAL = US \$ 1,473 (año dos). OPEX para NAWASSCOAL = US \$ 18,172 (año tres, estimado). OPEX para NAWASSCOAL = US \$ 55,640 (año cuatro, estimado). OPEX para NAWASSCOAL = US \$ 206,458 (año cinco, estimado).
	Requerimientos energéticos	Electricidad de la red utilizada para máquinas monofásicas y trifásicas que utilizan un transformador de 250KvA, algunos procesos naturales incluyen el secado solar; por tonelada de briquetas es de US \$ 20 para electricidad.
	Características de entrada	Cualquier tipo de lodo puede ser recibido por la planta de tratamiento de NAWASSCO (aunque no lodos industriales) o directamente por los lechos de secado de NAWASSCOAL; Para permitir el uso de lodos en el carbonizador, el contenido de humedad debe ser inferior al 20% y el tamaño de partícula inferior a 5 cm.
	Características de salida	Para el efluente líquido, la DBO debe ser menor a 50 mg/L y la DQO menor a 30 mg/L, según los estándares de efluentes tratados establecidos por NEMA; cualquier patógeno en la parte sólida se elimina completamente durante el proceso de carbonización.
	Reutilizar	Briquetas carbonizadas de forma redonda (50% lodos/desechos y 50% aserrín con melaza como aglutinante).
	Requisito de tierra	El tamaño de la tierra para la instalación es mínimo de un acre; la instalación actual de NAWASSCOAL está construida en 2.5 acres.
	Requisitos de habilidades y recursos humanos	Siete miembros del personal en total: cuatro empleados calificados que incluyen un gerente general, un oficial de marketing, un oficial comercial y un supervisor de producción, así como tres asistentes de producción no calificados; cuando se escala más, se requerirá personal adicional.
	Disponibilidad de tecnología/material (local)	La unidad de carbonización fue diseñada, probada e importada de China; todas las demás máquinas en funcionamiento fueron adquiridas localmente y las piezas de repuesto para todas las máquinas (incluidas las del extranjero) están disponibles localmente; Con el tiempo, parte de esta maquinaria se mejoró por razones de seguridad y eficiencia, en consulta con los fabricantes.

## Referencias

*Environmental management and co-ordination (water quality) regulations (2006)* Kenyan Natural Environment Management Authority, [https://www.nema.go.ke/images/Docs/water/water\\_quality\\_regulations.pdf](https://www.nema.go.ke/images/Docs/water/water_quality_regulations.pdf) (accessed 1 December 2020).

Mbuba, M.J., Nyaanga, D.M., Kabok, P.A. and Eppinga, R., 'Effect of mix ratios and binders on physical and physical combustion characteristics of faecal matter – sawdust briquettes', *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 7, issue 4, 2017.

**Colaboradores:** Reinilde Eppinga (SNV in Kenya) | John Irungu (NAWASSCOAL).

**Fotos:** SNV.



## ESTUDIO DE CASO 5

# Respiración anaeróbica para el tratamiento y reutilización de lodos fecales

---

Lusaka,  
Zambia



## Antecedentes

El vaciado y tratamiento formal de los lodos recolectados de las instalaciones de saneamiento in situ en Lusaka Zambia se estableció entre 2012 y 2014 mediante la construcción de dos Plantas de Tratamiento de Lodos Fecales (FSTP) y el consiguiente desarrollo de equipos de vaciado de fosas en dos complejos periurbanos en el ciudad, a saber, Kanyama en el sur y Chazanga en el norte. Los FSTP son propiedad de Lusaka Water and Sanitation Company (LWSC) y son administrados por Kanyama y Chazanga Water Trusts, que son organizaciones comunitarias (CBO).

## Selección y finalidad del tratamiento

Los principales objetivos de los FSTP de Kanyama y Chazanga son la estabilización de lodos mediante digestión anaeróbica y recuperación de recursos (lodos): en forma de biogás como combustible y lodos estabilizados como acondicionador del suelo. Los FSTP fueron financiados por Agua y Saneamiento para los Pobres Urbanos (WSUP) a través de una subvención de la Fundación Stone Family. El Kanyama FSTP fue diseñado por la Asociación de Investigación y Desarrollo de Ultramar de Bremen (BORDA) en asociación con la Asociación de Agua y Saneamiento de Zambia (WASAZA), con WSUP proporcionando apoyo técnico continuo. El Chazanga FSTP fue una modificación del enfoque Kanyama FSTP. Según BORDA Zambia, el enfoque del sistema anaeróbico para el diseño de FSTP fue elegido por su alta eficiencia de estabilización de lodos y bajos requisitos de energía para operaciones y mantenimiento (O&M). La obtención de biogás del proceso de tratamiento primario fue una motivación secundaria. Inicialmente, los gerentes consideraron suministrar biogás a los hogares cercanos como una alternativa al combustible, pero ahora el biogás está reservado para su uso en el sitio.

*La esencia del proyecto piloto fue estabilizar y secar los lodos. El flujo de gravedad natural, los bajos requisitos de energía y el biogás para cocinar también fueron parte de la motivación.*

INGENIERO DE PROYECTO, BORDA ZAMBIA



Digestor de biogás de Chazanga en construcción

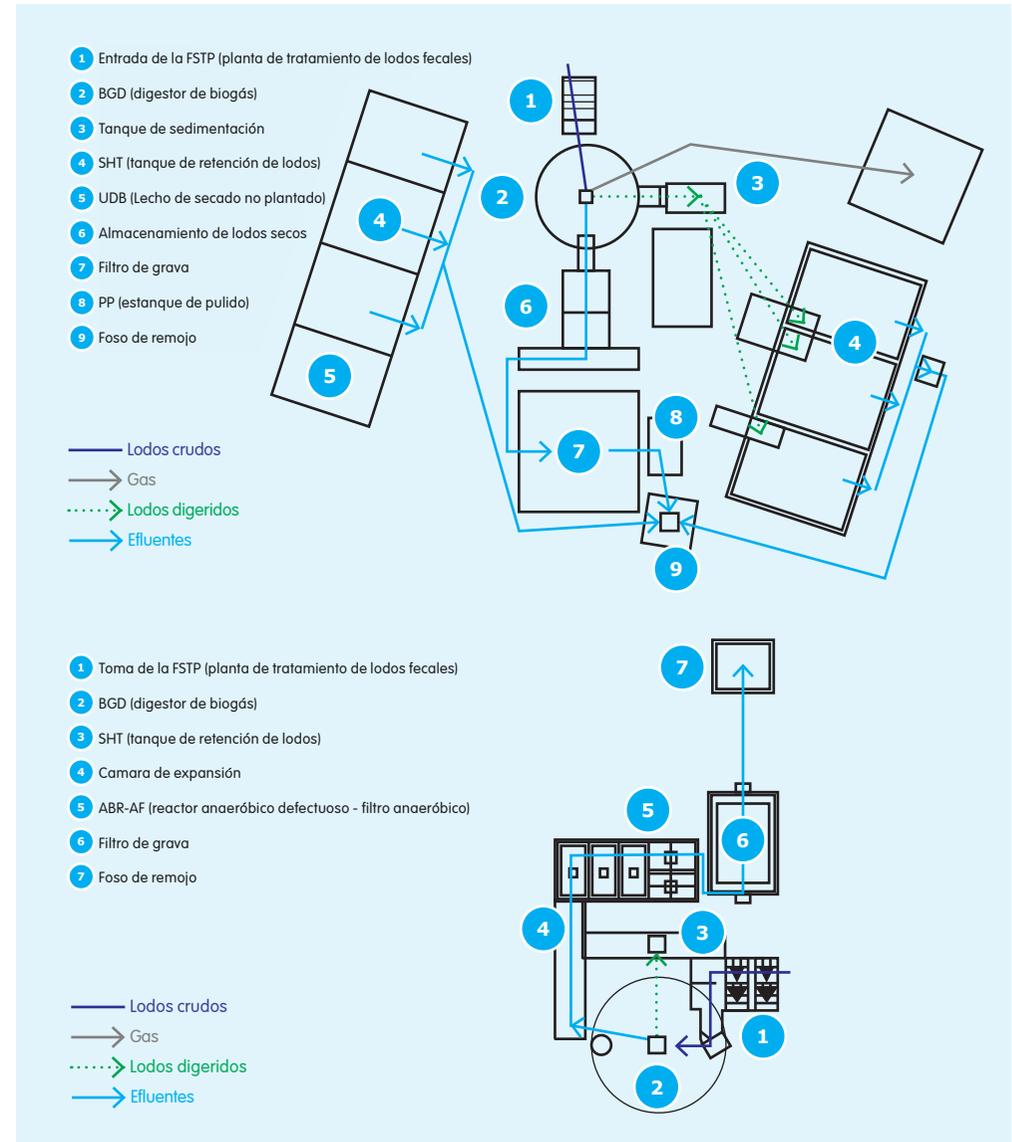


Trabajador de la FSTP de Kanyama vaciando los lodos

## Descripción del sistema

Los FSTP de Kanyama y Chazanga tienen flujos de proceso similares, con diferencias clave sólo en la fase de tratamiento secundario. Los FSTP están diseñados únicamente para lodos de letrinas de pozo vaciados manualmente. Los lodos se transportan a las instalaciones en barriles de 60L y se transportan en camionetas abiertas. En los FSTP, los lodos en barriles se descargan en una serie de cámaras con las dos primeras cámaras con pisos inclinados y pantallas de barras inclinadas para la separación de residuos sólidos. Los residuos sólidos capturados por las rejillas de la barra se colocan en rejillas de secado separadas en preparación para su transporte a un vertedero. La segunda cámara conduce a una trampa de arena en la que se retiene la arena y la arena del lodo para evitar que fluya hacia la unidad de tratamiento principal, que es un digestor de biogás de cúpula fija (BGD). Cada instalación tiene un digestor de biogás de cúpula fija, el Kanyama FSTP tiene una cúpula de 58 m<sup>3</sup> y el Chazanga una cúpula de 50 m<sup>3</sup>. El objetivo principal de las BGD es estabilizar y digerir el lodo fresco y crudo. El lodo se homogeneiza dentro de la unidad debido a las turbulencias creadas por los cambios de presión durante la producción y el consumo de biogás. El lodo estabilizado fluye naturalmente por gravedad y presión de gas hacia los tanques de retención de lodos desde los cuales se bombea el lodo a las unidades terciarias de estabilización antes de venderse para su reutilización. El lodo entrante y el aumento de la presión del gas empujan el líquido del BGD a la etapa de tratamiento secundario.

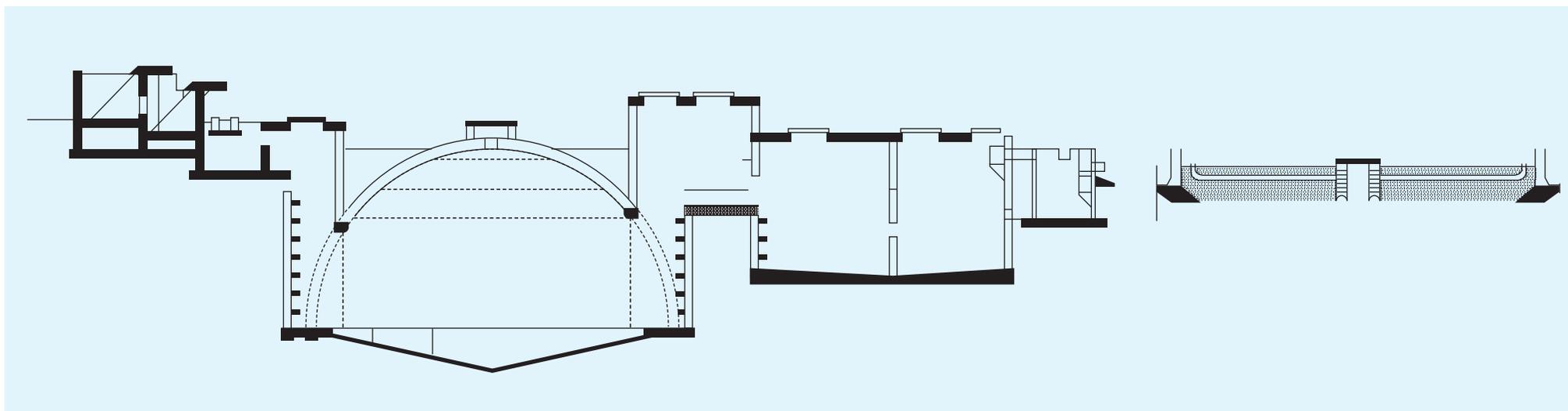
Figura 1. Presentación del plano de distribución y diagrama de flujo de Chazanga FSTP (arriba)<sup>2</sup> y el plano de distribución y diagrama de flujo de Kanyama FSTP (abajo)<sup>3</sup> adaptado por SNV



<sup>1</sup> A. Simwambi, S. Hibler, B. Pietruschka and P. Hawkins, "Approaches to Faecal Sludge Management in Peri-Urban Areas: A Case Study in the City of Lusaka", in P. Hawkins and I. Blackett, eds., *FSM Innovation Overview and Analysis, Implementing FSM Services: Emerging Examples of Success*, Seattle, Bill & Melinda Gates Foundation, 2017.

<sup>2</sup> M. Klinger, A. Gueye, A. Manandhar Sherpa and L. Strande, 'Scoping Study: Faecal Sludge Treatment Plants in South-Asia and sub-Saharan Africa', eFSTP Project Report, Zurich, eawag, 2010, p.31, <https://dgo52087pnd5x.cloudfront.net/posters/docs/gatesopenres-191067.pdf> (accessed 9 November 2020).

<sup>3</sup> eawag, eFSTP Phase I - Scoping study, Chazanga, Kanyama and Manchini (Lusaka), Zurich, eawag, 2019, p. 3.

Figura 2. Plano de la sección Chazanga FSTP con toma, BGD, tanque de sedimentación, cámara de expansión y filtro de grava<sup>4</sup> adaptado por SNV

El tratamiento secundario del efluente líquido de las BGD difiere en las instalaciones de Chazanga y Kanyama. En Chazanga, dos cámaras de sedimentación y una cámara de expansión rectangular separan los líquidos y sólidos del BGD. El líquido sale de la unidad de tratamiento a través de una tubería hacia el filtro de grava, que es el siguiente componente de tratamiento. Los sólidos (lodo) permanecen para asentarse en las cámaras de sedimentación a medida que el líquido pasa a través de la unidad. Las cámaras se vacían al menos dos veces al año y el lodo se transfiere a lechos de secado de lodos o un tanque de retención de lodos. En Kanyama, el BGD está conectado a una cámara de expansión y un reactor con deflectores anaeróbicos que consta de tres cámaras y un filtro anaeróbico con dos cámaras (ABR-AF). La degradación anaeróbica del efluente ocurre en el ABR-AF, y el líquido fluye hacia el filtro de grava a través de una tubería de desbordamiento. La materia sólida que se deposita en las tres cámaras con deflectores debe vaciarse con regularidad, y la frecuencia depende de las características del efluente entrante. El lodo eliminado se transfiere a lechos de secado fuera del sitio.

Si bien ambas instalaciones utilizan lechos de secado de lodos sin plantar (cubiertos y descubiertos) para la separación sólido-líquido del lodo estabilizado sedimentado, los lechos de secado están ubicados en el sitio en la instalación de Chazanga y fuera del sitio en la instalación de Kanyama ya que no hay suficiente tierra disponible para este último. El lodo entregado en el Kanyama FSTP se estabiliza en el digestor de biogás o en el tanque de retención (en otro sitio) antes de ser bombeado por un camión de vacío a través del tanque

de eliminación y llevado a los lechos de secado fuera del sitio. En el FSTP de Chazanga, el lodo estabilizado con BGD se bombea fuera del tanque de eliminación de lodos usando una bomba de basura y se seca en lechos de secado de lodos en el sitio.<sup>1</sup> El FSTP de Chazanga tiene seis lechos de secado de lodos operativos cuyos lixiviados drenan a través de un medio filtrante de arena y grava en capas. El lixiviado de los lechos de secado fluye hacia un pozo de remojo desde el cual drena hacia el medio ambiente. Después de la deshidratación del lodo, los operadores de la planta lo extraen manualmente y lo apilan en el espacio de almacenamiento de lodo seco. El lodo seco se vende para su reutilización como acondicionador del suelo. En el caso de Kanyama, el lodo se transporta al sitio de tratamiento de aguas residuales de Manchinchi para el tratamiento conjunto o se coloca para el secado directo en los lechos, ya que existe el temor de contaminación cruzada de los pozos de sondeo cercanos en el sitio de Kanyama.

Ambas instalaciones utilizan un filtro de grava y un pozo de remojo para el tratamiento final del efluente líquido. En Chazanga, el efluente luego se mueve desde el filtro de grava a un estanque de pulido (tanque abierto poco profundo) que almacena el líquido antes de que vaya al pozo de remojo. A través de la exposición a la luz ultravioleta, puede ocurrir un tratamiento adicional. El efluente tratado se utiliza para diluir el lodo fecal entrante para limpiar el equipo y regar los jardines de la instalación. La etapa final del tratamiento es el pozo de remojo, que es una cámara cubierta de paredes porosas que está diseñada para descargar efluentes tratados en el suelo circundante.

<sup>4</sup> eawag, eFSTP Phase I – Scoping study, Chazanga, Kanyama and Manchinchi (Lusaka), 2019, p.3.



Lechos de secado de lodos techados en la FSTP de Kanyama



Lechos de secado revestidos pero no techados en la FSTP de Kanyama



Clasificación y secado de residuos sólidos en la FSTP de Kanyama

Tabla 1. Capacidad y costes de explotación de las FSTP de Chazanga y Kanyama

	Lechos de secado de lodos
Capacidad de diseño	4 m <sup>3</sup> de lodo/día.
Capacidad funcional	5-7 m <sup>3</sup> de lodo/día.
Gastos de funcionamiento	<p><b>Chazanga FSTP</b></p> <p>CAPEX: US\$ 166,500.</p> <p>OPEX: US\$ 490-1,080/mes (salarios, electricidad, O&amp;M).</p> <p>Ingresos: 366-975 dólares/mes (servicios de vaciado y venta de biosólidos).</p>
CAPEX (gastos de capital)	<p><b>Kanyama FSTP</b></p> <p>CAPEX: US\$ 70,000.</p>
OPEX (gastos operativos)	<p>OPEX: US\$ 1,090-1,440/mes (salarios, electricidad, O&amp;M).</p> <p>Ingresos: US\$ 1,058-1,480/mes (servicios de vaciado y venta de biosólidos).</p>

## Entorno regulatorio y cumplimiento

Los estándares nacionales para el efluente de lodos fecales están en desarrollo debido a la novedad del enfoque, y las regulaciones de control de la contaminación del agua se utilizan actualmente para fines de cumplimiento ambiental. Varios estándares de calidad (límites) para efluentes y aguas residuales se mencionan en el reglamento gubernamental, "Tercer Reglamento del Programa 5 (2) del Control de la Contaminación del Agua (Efluentes y Aguas Residuales)".<sup>5</sup> Estos incluyen que la DBO no exceda los 50 mg/L, El total de sólidos disueltos no debe exceder los 3000 mg/L y el total de sólidos en suspensión no debe exceder los 100 mg/L. Los resultados de las pruebas de laboratorio de las instalaciones de Chazanga y Kanyama no estaban disponibles.

<sup>5</sup> The Environmental Protection and Pollution Control Act (1990) Ministry of Legal Affairs, Government of the Republic of Zambia, <http://www.parliament.gov.zm/sites/default/files/documents/acts/Environmental%20Protection%20and%20Pollution%20Control%20Act.pdf> (accessed 5 November 2020).

## Operación y mantenimiento: realidades, desafíos y oportunidades

### Realidades del funcionamiento de la planta de tratamiento

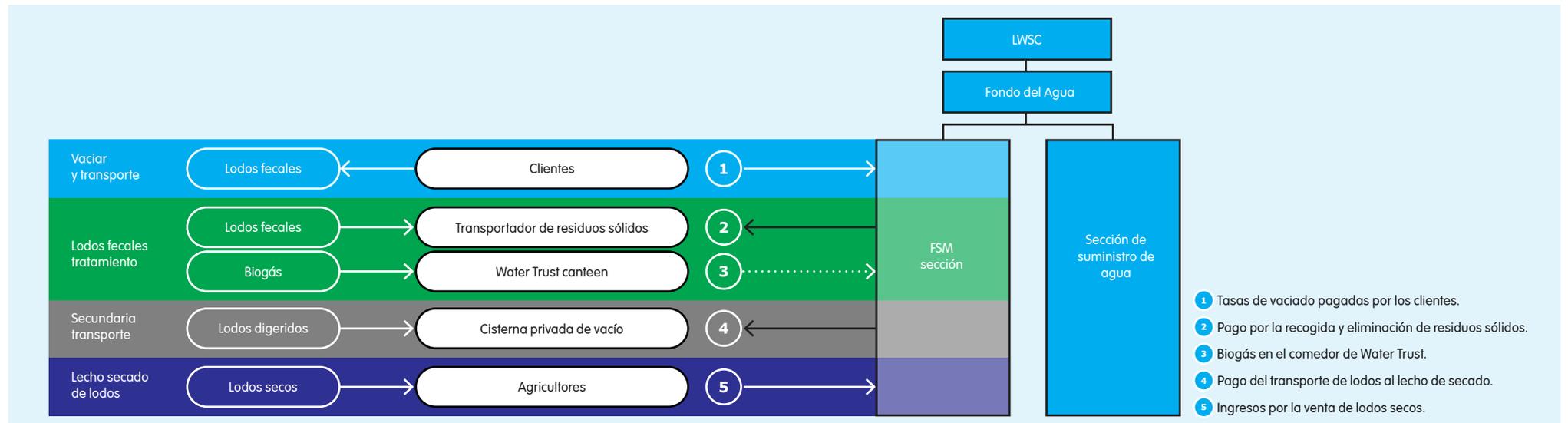
#### Acuerdos de gobernanza, gestión e ingresos

El LWSC es propietario de las instalaciones de FSTP y es responsable de las principales inversiones de capital, reparaciones y de proporcionar información experta a los operadores de Water Trust. Los fideicomisos de agua de Kanyama y Chazanga son empresas comunitarias propiedad de los residentes locales, con la supervisión comunitaria de los comités de desarrollo de distrito y el concejal de área del ayuntamiento de la ciudad de Lusaka como presidente de la junta del fideicomiso de agua. Estas empresas son responsables de las operaciones diarias de los servicios de manejo de lodos fecales en sus respectivas comunidades.<sup>6</sup> Los Water Trusts emplean vaciadores de pozo comunitarios a quienes se les paga en base a comisiones. A los vacíos se les paga el 60% de los ingresos totales de FSM y el 40% se retiene para pagar los costos de mantenimiento, como el manejo de desechos sólidos tamizados, el transporte de lodos a los lechos de secado, desinfectantes y compra de equipo de seguridad. La *Figura 3* describe la gestión de FSM por parte de Kanyama Water Trust, incluida una descripción general de los flujos de ingresos.



Biogás producido en el BGD de Kanyama

Figura 3. Gestión de FSM de Kanyama Water Trust,<sup>7</sup> adaptada por SNV



<sup>6</sup>A. Simwambi, S. Hibler, B. Pietruschka and P. Hawkins, "Approaches to Faecal Sludge Management in Peri-Urban Areas: A Case Study in the City of Lusaka", 2017.

<sup>7</sup>eFSTP Phase 1, 2019, p. 3.



Chazanga FSTP separación de arenas en el punto de descarga del afluente

### Consideraciones de construcción

Durante la construcción y rehabilitación de los FSTP de Chazanga y Kanyama, las consideraciones clave incluyeron asegurarse de que hubiera suficiente personal disponible, impermeabilizar el digestor de biogás, abordar las preocupaciones sobre las inundaciones y responder a las preocupaciones de la comunidad. Los vaciadores de pozo identificados que luego trabajarían para el Water Trust participaron en las obras de construcción para familiarizarse con la tecnología FSTP. Se contrató a un albañil externo, familiarizado con la construcción de digestores de biogás, para supervisar y guiar a los albañiles y vaciadores locales. Los ingenieros de BORDA y WASAZA también participaron en la capacitación y supervisión del proceso de construcción.

Para garantizar que el digestor de biogás fuera impermeable, se forró con materiales de revestimiento de presa de 6 mm de espesor y se reforzó con acero y mortero para reducir las posibilidades de contaminación de las aguas subterráneas. Para el FSTP de Kanyama, las inundaciones fueron una de las principales consideraciones en el diseño y la construcción de las instalaciones. El complejo está asentado sobre una formación rocosa de dolomita y es propenso a inundaciones frecuentes, lo que significó que el FSTP debía elevarse un poco del suelo para evitar la entrada de agua. Al ser un subsuelo rocoso, se requirió mucha voladura. Se facilitaron los procesos de participación de la comunidad antes y durante la construcción para abordar cualquier riesgo de objeción pública.

*Se contrataron vaciadores informales como trabajadores de la construcción para comenzar a inculcarles aspectos de propiedad del sistema.*

INGENIERO DE PROYECTO, BORDA ZAMBIA



Cubeta de lavado para la limpieza de barriles en la FSTP de Kanyama

### Disposiciones de personal y medidas de seguridad y salud en el trabajo

Tanto en los FSTP de Kanyama como en Chazanga, el personal está equipado con las medidas de apoyo y capacitación en salud y seguridad ocupacional (SSO) necesarias. En cada instalación hay ocho empleados semi-calificados que participan en el vaciado de letrinas de pozo y en la operación de los FSTP.

Todo el personal cuenta con el equipo de protección personal necesario. Han recibido capacitación en el trabajo en las siguientes áreas: SSO, procedimientos operativos estándar (administrativos y técnicos), procedimientos de operación y mantenimiento para las unidades de tratamiento y técnicas de vaciado y despojado. Las medidas de OHS que se han implementado en las instalaciones incluyen la construcción de una rampa hasta el punto de descarga para que el personal pueda rodar fácilmente los barriles llenos de lodo fecal para su eliminación en lugar de levantarlos, e instalaciones para lavarse las manos para los trabajadores y provisión para limpiar los barriles en de manera higiénica, mientras se recupera el agua usada en el sistema. Todo el personal se somete a controles médicos periódicos, se les administran vacunas orales contra el cólera, el tétanos y la hepatitis B.

*Los procesos de participación comunitaria incluyeron visitas de sensibilización y exposición a instalaciones que utilizan tecnología de digestor de biogás.*

INGENIERO DE PROYECTO, BORDA ZAMBIA

## Desafíos de la construcción, operación y mantenimiento

### Obstrucción debido al alto contenido de arena y desechos sólidos

Según los operadores del sistema, los FSTP de Chazanga y Kanyama se bloquean dos o tres veces al año debido al alto contenido de arena, sedimentos y desechos sólidos del pozo de letrinas y falta de mantenimiento regular. El alto contenido de residuos sólidos del lodo (hasta un 20% de residuos sólidos) provoca obstrucciones en las tuberías de distribución perforadas del BGD, las cámaras de sedimentación secundaria y las trampas de arena. Como el lodo recibido es muy espeso y las instalaciones tienen acceso y presión de agua limitados, encuentran dificultades para diluir el lodo para lograr la consistencia requerida para un buen flujo. Este desafío provocó el cierre de las instalaciones durante un promedio de tres semanas (2-3 veces al año), lo que obligó a los vaciadores de pozo a realizar un vaciado manual mediante baldes. Se requieren fondos adicionales de los Water Trust para cubrir los salarios de los vaciadores de pozo mientras realizan el trabajo.

Durante las operaciones normales, los residuos sólidos se eliminan del lodo. Pero cuando las instalaciones deben cerrarse 2 o 3 veces al año, los residuos sólidos se secan y luego se trasladan periódicamente al vertedero municipal por un transportista de residuos registrado a un costo de US \$ 40/tonelada.<sup>8</sup>

*Hubo momentos en que el sistema se sobrealimentó con demasiado lodo. La acumulación de arena de los pozos es otro desafío, que hace que el sistema se llene más rápido y se reduzca el tiempo de retención.*

**LÍDER DE DESARROLLO EMPRESARIAL DE FSM, EMPRESA DE SUMINISTRO DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LUSAKA**



Interior del digester de biogás de Chazanga

### Lechos de secados sobrecargados y no operativos

Actualmente, los lechos de secado de Chazanga FSTP están sobrecargados con lodo y los lechos de secado utilizados para Kanyama FSTP no están operativos. En Chazanga, la capacidad de los seis lechos de secado no es suficiente para todos los lodos sedimentados procesados en la instalación. Como resultado, se construyó una cámara de recepción de lodo temporal para almacenar el exceso de lodo, particularmente cuando se están limpiando el BGD y las cámaras de sedimentación. En la instalación de Kanyama, no hay lechos de secado en el lugar, y los 12 lechos que se estaban utilizando a unos tres kilómetros de distancia han sido desmantelados debido a su proximidad a los pozos. Actualmente, todo el lodo recolectado por el FSTP de Kanyama se lleva a la planta de tratamiento de aguas residuales de Manchinchi fuera de servicio para su almacenamiento en sus tanques de almacenamiento de lodos. Se ha propuesto la construcción de dos nuevos lechos de secado de lodos en un nuevo sitio dentro del asentamiento de Kanyama, aproximadamente a un kilómetro del FSTP de Kanyama. La construcción está prevista para 2021.

*Ambas instalaciones experimentan desafíos operativos con los lechos de secado de lodos*

**INGENIERO DE DISEÑO Y FSM, WSUP**

<sup>8</sup>A. Simwambi, S. Hibler, B. Pietruschka and P. Hawkins, 2017.



Los lechos de secado de lodos de la FSTP de Kanyama se dismantelan

### *Fijación de precios de servicios restringidos por la disposición de los clientes a pagar y la competencia en el mercado*

El precio de los servicios de FSM ofrecidos por las instalaciones de Chanzanga y Kanyama se basa en los costos estimados de operación y mantenimiento en curso, pero está limitado por la disposición de los clientes a pagar y la necesidad de competir con los proveedores de servicios informales. El modelo de precios requiere que los clientes paguen US \$34 por 12 barriles de sesenta litros, US \$48 por 24 barriles y US \$68 por 32 barriles.<sup>9</sup> El modelo de precios cambió en 2020 con el apoyo del Programa de Saneamiento de Lusaka, que tiene la intención de aumentar la aceptación mediante la reducción de precios y la provisión de incentivos para que los operadores de vacío del sector privado eliminen el lodo de las letrinas de pozo. Esto ha resultado en un precio más bajo para los hogares de US \$7/m<sup>3</sup>. Lo que no está claro es durante cuánto tiempo se puede mantener este precio más bajo.

<sup>9</sup> A. Simwambi, S. Hibler, B. Pietruschka and P. Hawkins, 2017.

<sup>10</sup> A. Simwambi, S. Hibler, B. Pietruschka and P. Hawkins, 2017.



Venta de lodos secos

### Oportunidades de reutilización

Para generar ingresos a través de la recuperación de recursos, se planeó vender el lodo seco como acondicionador del suelo y vender biogás a los hogares cercanos. En la actualidad, el lodo procesado y seco se envasa y vende a los paisajistas como acondicionador del suelo. Dentro del diseño inicial del FSTP, el biogás producido por el BGD estaba destinado a ser canalizado para su venta a hogares cercanos a un valor equivalente al del carbón vegetal. Sin embargo, esto falló ya que estas casas fueron ocupadas predominantemente por inquilinos que no pudieron obtener el consentimiento de sus propietarios para las conexiones de gas.<sup>10</sup> Además, el precio del gas era más alto que el del carbón y la electricidad. El costo de conectar solo unas pocas casas no era viable desde el punto de vista financiero. Por lo tanto, el gas es utilizado por los propios Water Trusts, para el comedor de trabajadores en Kanyama y por el cuidador que vive en el sitio de Chanzanga FSTP. La producción de gas es de aproximadamente 12,5 m<sup>3</sup>/d, pero depende en gran medida de la cantidad de lodo que se introduce en el biodigestor cada día. El gas se utiliza principalmente para cocinar, y el consumo estimado es de unos 4-6 m<sup>3</sup>/d, con el exceso de gas quemado al aire libre.

## Consideraciones de elección informada

## Digestores de biogás para tratamiento y reutilización en Lusaka, Zambia (Compañía de Agua y Saneamiento de Lusaka)

	<b>Capacidad operativa y de diseño</b>	Capacidad de diseño = 4 m <sup>3</sup> /día de lodos. Capacidad operativa = 5-7 m <sup>3</sup> /día de lodos.
	<b>Costos de operación</b>	<b>Chazanga FSTP</b> CAPEX: US \$ 115,000 (costos iniciales) + US \$ 11,500 (obras adicionales, por ejemplo, camas de secado adicionales) = US \$ 166,500. OPEX: US \$ 490-1,080/mes OPEX (salarios, electricidad, O&M). Ingresos: US \$ 366-975/mes (servicios de vaciado y venta de biosólidos). <b>Kanyama FSTP</b> CAPEX: US \$ 125,000. OPEX: US \$ 1,090-1,440/mes (salarios, electricidad, O&M). Ingresos: US \$ 1,058-1,480/mes (servicios de vaciado y venta de biosólidos).
	<b>Requerimientos energéticos</b>	Sistema natural, sin requisitos energéticos.
	<b>Características de entrada</b>	Fracción de residuos sólidos de lodos hasta un 20%.
	<b>Requisito de tierra</b>	970 m <sup>2</sup> para Kanyama sin secaderos y Chazanga con secaderos en parcela de 1.400 m <sup>2</sup> .
	<b>Requisitos de habilidades y recursos humanos</b>	En cada instalación (Kanyama y Chazanga) trabajan ocho personas semi-calificadas que participan en el vaciado de letrinas de pozo y en el funcionamiento de los FSTP.
	<b>Disponibilidad local de tecnología/material</b>	Materiales y fabricación, todos disponibles y gestionados localmente.

## Referencias

Eawag, eFSTP Phase I – *Scoping study, Chazanga, Kanyama and Manchinchi (Lusaka)*, Zurich, eawag, 2019.

Klinger, M., Gueye, A., Manandhar Sherpa, A. and Strande, L., 'Scoping Study: Faecal Sludge Treatment Plants in South-Asia and sub-Saharan Africa', *eFSTP Project Report*, Zurich, eawag, 2010, <https://dgo52087pnd5x.cloudfront.net/posters/docs/gatesopenres-191067.pdf> (accessed 9 November 2020).

Simwambi, A., Hibler, S., Pietruschka, B. and Hawkins, P., 'Approaches to Faecal Sludge Management in Peri-Urban Areas: A Case Study in the City of Lusaka', in P. Hawkins and I. Blackett, eds., *FSM Innovation Overview and Analysis, Implementing FSM Services: Emerging Examples of Success*, Seattle, Bill & Melinda Gates Foundation, 2017.

*The Environmental Protection and Pollution Control Act (1990)* Ministry of Legal Affairs, Government of the Republic of Zambia, <http://www.parliament.gov.zm/sites/default/files/documents/acts/Environmental%20Protection%20and%20Pollution%20Control%20Act.pdf> (accessed 5 November 2020).

**Colaboradores:** Moffat Tembo (SNV in Zambia) | Pride Kafwembe (Lusaka Water and Sanitation Company) | Audrey Simwambi (BORDA) | Karnea Kashweka (WSUP).

**Fotos:** WSUP.



ESTUDIO DE CASO 6

# Tratamiento de (desechos) de la mosca soldado negra

---

Nairobi,  
Kenya



## Antecedentes

### Selección y propósito del tratamiento

Sanergy ha estado utilizando sistemas Black Soldier Fly (BSF, mosca soldado negra) para tratar y reciclar residuos orgánicos en productos agrícolas y briquetas de biomasa. Como empresa social, Sanergy se creó en 2011 en respuesta al acceso inadecuado a servicios seguros de saneamiento y gestión de desechos que experimentan los residentes de Nairobi que viven en barrios marginales. Sanergy también vio una oportunidad para desarrollar insumos agrícolas, como proteínas a base de insectos para la alimentación animal y fertilizantes orgánicos. Sanergy utiliza un enfoque de cadena de valor completo, y la tecnología BSF se probó inicialmente en Kenia a través de una asociación con la Fundación Bill y Melinda Gates en 2013.

*En Nairobi, el 66% de todos los desechos fecales generados terminan sin ser tratados en el ecosistema, contaminando el medio ambiente y dañando la salud pública. Como Sanergy prevé efectuar un cambio de sistemas, hemos desarrollado un servicio de gestión de residuos de pozo urbano que tiene como objetivo capturar y contener los residuos de letrinas de pozo vaciados manualmente de manera formalizada.*

CO-FUNDADOR DE SANERGY





Inodoro desviador de orina a base de contenedores Fresh Life

## Descripción del sistema

Sanergy utiliza larvas de BSF y compostaje termofílico para tratar y reciclar el lodo fecal, los desechos agrícolas y los desechos de alimentos del mercado y la cocina. Los lodos fecales se encuentran en los inodoros Fresh Life (un sistema basado en contenedores que se utiliza para el almacenamiento de desechos humanos) en Nairobi. Estos inodoros están diseñados para reducir el contenido de humedad del lodo al separar la orina y las heces. A diciembre de 2019, Sanergy había instalado un total de 3,247 baños Fresh Life en 11 asentamientos informales, que atienden a más de 80,000 residentes urbanos. Los contenedores, que contienen los lodos, están doblemente sellados y son recogidos por operarios con carros de mano que transportan los lodos a un punto de recogida descentralizado. Los contenedores llenos se reemplazan por contenedores limpios y vacíos en los inodoros Fresh Life. Los contenedores se recogen del punto de recogida descentralizado y se transportan en vehículo hasta una estación de transferencia, donde los lodos se consolidan en grandes toneles y se transportan en camión hasta la planta de tratamiento.

Las larvas de BSF descomponen el material orgánico y devuelven los nutrientes al suelo. El sistema BSF aprovecha este proceso para convertir materiales orgánicos, como estiércol,

desechos agrícolas, desechos de alimentos y lodos humanos, en subproductos utilizables. En las instalaciones de procesamiento de BSF como Sanergy, las larvas de BSF se alimentan de material orgánico en descomposición y las larvas crecen desde unos pocos milímetros hasta alrededor de 2,5 cm en 14 a 16 días, mientras que reducen el peso húmedo de los desechos hasta en un 80%.<sup>1</sup> Las larvas BSF se “recolectan antes de la etapa pre pupal utilizando un agitador mecánico para separarlas de los desechos orgánicos”. Debido al alto contenido de proteínas (aproximadamente 35%) y grasa (aproximadamente 30%) de las larvas, se pueden usar en la alimentación animal. El residuo de excremento (excremento de larvas de insectos) se puede utilizar como acondicionador del suelo, pero requiere un tratamiento adicional.<sup>2</sup> En Sanergy, el residuo de excremento se mezcla con fuentes de carbono de desechos vegetales en hileras de compostaje termofílico para producir fertilizante orgánico. La temperatura, la aireación y el contenido de humedad se miden sistemáticamente para garantizar un abono de alta calidad. Las briquetas de combustible también se producen a partir de los residuos de excrementos mediante pirolisis para su uso en la instalación de tratamiento. Esto ayuda a reducir el consumo de combustibles fósiles y los costos operativos.

Los inodoros Fresh Life aseguran la contención y separación de heces y orina. Sanergy también está trabajando con empacadoras agrícolas, mercados y restaurantes para separar los desechos de alimentos orgánicos de los desechos inorgánicos, plásticos y metales. Los residuos alimentarios se colocan en contenedores especiales que Sanergy recoge y transporta a otras empresas de gestión de residuos y reciclaje. Sanergy también está explorando opciones para usar lodos de letrinas de pozo deshidratándolos primero. Si bien actualmente la orina se elimina de manera segura, Sanergy está explorando opciones para reutilizarla.

Cuadro 1. Capacidad y costes de funcionamiento de la planta de tratamiento BSF

	Planta de tratamiento convencional
Capacidad de diseño	7t (actual) y 200t (prevista) de lodos fecales y residuos orgánicos/día.
Capacidad operativa	7t (actual) y 200t (prevista) de lodos fecales y residuos orgánicos/día.
Costos	Gastos de capital, CAPEX = 7 millones de dólares.

<sup>1</sup> B.M.A. Dortmans, S. Diener, B.M. Verstappen and C. Zurbrügg, *Black soldier fly biowaste processing: a step-by-step guide*, Dübendorf: eawag, 2017, [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_HR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_HR.pdf) (accessed 8 April 2020).

<sup>2</sup> K. Tayler, *Faecal sludge and septage treatment: a guide for low- and middle-income countries*, Rugby, Practical Action Publishing, 2018, [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/practical\\_action\\_faecal\\_sludge\\_and\\_septage\\_treatment\\_a\\_guide\\_for\\_low\\_and\\_middle\\_income\\_countries\\_2018.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/practical_action_faecal_sludge_and_septage_treatment_a_guide_for_low_and_middle_income_countries_2018.pdf) (accessed 25 April 2020), p. 332.



Vaciadores que eliminan los lodos de los inodoros Fresh Life

## Entorno regulatorio y cumplimiento

Sanergy contrata a terceros para que prueben sus productos finales a fin de garantizar el cumplimiento de las normas internacionales como ISO 16649 e ISO 6579. Los laboratorios en funcionamiento en la instalación de tratamiento realizan pruebas de los lodos en varios puntos del proceso para garantizar que el tratamiento BSF elimine los patógenos del productos finales, incluidos fertilizantes y piensos, basados en pruebas de E. coli. Se realizan pruebas independientes por laboratorios confiables como NAS-SERVAIR para comparar y garantizar que los productos finales estén libres de patógenos.

## Operación y mantenimiento: realidades, desafíos y oportunidades

### Realidades del funcionamiento de la planta de tratamiento

#### *Dotación de personal y formación*

Sanergy tiene más de 250 empleados involucrados en la recolección de residuos, el procesamiento de residuos, la distribución de insumos agrícolas, el fortalecimiento del entorno propicio (regulaciones y políticas gubernamentales) y las actividades de investigación y desarrollo (I + D). Se imparte formación periódica a todos los empleados, especialmente



Las larvas de la BSF están listas para ser cosechadas

a los operadores de vaciado y tratamiento. Los operadores se reúnen en foros para el aprendizaje entre pares. Además, Sanergy ha ayudado recientemente a un grupo de 22 vaciadores de pozo manuales a convertirse en una organización comunitaria (CBO) formalmente registrada que puede operar legalmente. Sanergy proporciona una estación de transferencia de residuos para la eliminación segura de los residuos del pozo y ayuda a los vaciadores a desarrollar la profesionalidad en su trabajo, mediante el uso de equipos de protección personal y mejorando los estándares de higiene para ellos mismos y su trabajo.

#### *Financiamiento inicial y sostenibilidad financiera*

Sanergy financió la instalación inicial de la planta mediante financiación inicial y subvenciones. El crecimiento de Sanergy ha sido apoyado por socios filantrópicos e inversores de impacto. Para construir la sostenibilidad financiera del modelo, Sanergy obtiene ingresos de su rama con fines de lucro, incluso a través de la venta de fertilizantes orgánicos y alimentos para animales a base de insectos.

## Desafíos de operación y mantenimiento

### *Condiciones ambientales para el sistema BSF*

Un desafío clave al que se enfrentó Sanergy fue establecer las condiciones ambientales correctas para apoyar los ciclos de reproducción y crecimiento de BSF. Proporcionar la fuente

de alimentos y las condiciones climáticas adecuadas para imitar mejor el hábitat natural del BSF para obtener la máxima producción requirió una serie de pruebas por parte del equipo de investigación y desarrollo de Sanergy. Se requiere un monitoreo regular de la reproducción y el crecimiento de BSF para garantizar un suministro confiable y constante de larvas para procesar los desechos. La reproducción y el crecimiento de BSF son sensibles a una serie de condiciones ambientales, incluida la temperatura, la humedad, la luz, la profundidad de los desechos orgánicos y la ventilación.<sup>3</sup> Para mejorar la fuente de alimento de las larvas de BSF, se mezclaron desechos agrícolas y alimentarios con el lodo fecal. Estas medidas ayudaron a ampliar la reproducción de BSF y a producir piensos para animales ricos en proteínas a base de insectos.

### *Necesidad de un entorno propicio sólido*

Hacia el inicio de la producción, Sanergy enfrentó desafíos en relación con la tenencia de la tierra para los baños en asentamientos informales, así como en las políticas gubernamentales que limitaban la fabricación y venta de productos derivados de residuos. Se necesitaban cambios en las políticas, y esto se logró trabajando en asociación con el gobierno, los municipios y otras partes interesadas en el saneamiento. Se creó un entorno propicio que apoyó la revisión y enmienda de las políticas relacionadas con el tratamiento y la reutilización de desechos para fabricar productos valiosos y el respaldo de los sistemas de saneamiento basados en contenedores.

*Para hacer realidad nuestra visión de proporcionar un saneamiento seguro para todos e implementar nuestro enfoque de economía circular para resolver los desafíos de la gestión de residuos urbanos, Sanergy reconoció que trabajar con el gobierno desde el principio es muy crítico.*

CO-FUNDADOR DE SANERGY

## Lecciones aprendidas

### *Se requiere inversión e investigación continua*

Se requieren inversiones iniciales e investigación continua para tratar y convertir con éxito los desechos en insumos agrícolas y productos de combustibles alternativos. La fábrica de reciclaje de Sanergy es la más grande de África Oriental. Ha sido adaptado para utilizar tecnologías desarrolladas internamente por el equipo de ingenieros de Sanergy. Todo esto

ha supuesto una importante inversión. Además, la inversión en investigación continua para mejorar la calidad del producto y los procedimientos operativos estándar se ha considerado esencial para mejorar la eficiencia del proceso y maximizar los ingresos de la venta de productos de alta calidad. Sanergy se ha asociado con varias organizaciones de investigación para apoyar el proceso de mejora continua y promover el desarrollo continuo de capacidades del personal de Sanergy.

### *Importancia de comprender las necesidades de la comunidad*

Sanergy ha aprendido que, si bien las campañas de marketing tienen un papel que desempeñar en la promoción de productos y servicios, son particularmente importantes para fomentar la adopción del saneamiento y el cambio de comportamiento. Se ha descubierto que las conversaciones personalizadas y dirigidas a los problemas con los diferentes miembros de la comunidad que abordan sus necesidades son una forma eficaz de garantizar la compra de servicios y productos de Sanergy. Al abordar directamente los desafíos existentes, como los desafíos agrícolas y energéticos que enfrentan los agricultores y las comunidades, se ha establecido la aceptación de los productos.

Sanergy también ha aprendido que interactuar con los clientes con frecuencia y escuchar lo que valoran es fundamental para proporcionar un producto o servicio que realmente utilizan. En el caso del inodoro Fresh Life, el equipo de ingenieros de Sanergy ha seguido mejorando el diseño del inodoro para incorporar los comentarios de los clientes para resolver cualquier problema con el uso del inodoro. Por ejemplo, la versión 3.0 del inodoro Fresh Life, lanzado en 2015, incluye una placa para sentadillas adecuada para niños y mujeres, un interior con un piso de baldosas fácil de limpiar y un soporte para sentadillas para ayudar a las personas con discapacidades a usar el inodoro.

*Para operar con éxito, hemos establecido una relación abierta y colaborativa con las comunidades donde trabajamos.*

COFUNDADOR DE SANERGY

<sup>3</sup> K, Tayler, *Faecal sludge and septage treatment*, 2018.

## Consideraciones de elección informada

## Tratamiento de la mosca soldado negra como reutilización en Nairobi, Kenia (Sanergy)

	Capacidad operativa y de diseño	Capacidad de diseño = 7t (actual) y 200t (planificada) de residuos por día. Capacidad operativa = 7t (actual) y 200t (planificada) de residuos por día.
	Costos de operación	Gastos de capital, CAPEX = US \$ 7 millones.
	Requerimientos energético	Energía solar utilizada: 350 MWh/mes. Electricidad de la red (red) utilizada: 87 MWh/mes.
	Características de entrada	E. coli: 1,5 x 10 <sup>5</sup> a 2,0 x 10 <sup>5</sup> ufc/g. *
	Características de salida	E. coli: <10 ufc/g.
	Requisito de tierra	El área requerida para los procesos de BSF es de aproximadamente 500-750 m <sup>2</sup> por tonelada de sólidos secos procesados por día, con 60 m <sup>2</sup> adicionales por tonelada requeridos para un área de recepción de desechos y para acomodar un laboratorio, espacio de oficina y almacenamiento, e instalaciones para empleados. <sup>4</sup>
	Requisitos de habilidades y recursos humanos	250 empleados, desde semi-calificados (vacíos) hasta calificados (ingenieros, investigadores con calificaciones terciarias).
	Disponibilidad de tecnología/material (local)	Materiales y fabricación, todos disponibles y gestionados localmente, con algunas tecnologías importadas internacionalmente.

\*cfu - colony forming units i.e. number of bacteria/fungi.

<sup>4</sup> B.M.A. Dortmans, S. Diener, B.M. Verstappen and C. Zurbrügg, *Black soldier fly biowaste processing*, 2017.

## Referencias

Dortmans, B.M.A., Diener, S., Verstappen, B.M. and Zurbrügg, C., *Black soldier fly biowaste processing: a step-by-step guide*, Dübendorf: eawag, 2017, [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_HR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_HR.pdf) (accessed 8 April 2020).

Taylor, K., *Faecal sludge and septage treatment: a guide for low- and middle-income countries*, Rugby, Practical Action Publishing, 2018, [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/practical\\_action\\_faecal\\_sludge\\_and\\_septage\\_treatment\\_a\\_guide\\_for\\_low\\_and\\_middle\\_income\\_countries\\_2018.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/practical_action_faecal_sludge_and_septage_treatment_a_guide_for_low_and_middle_income_countries_2018.pdf) (accessed 25 April 2020).

**Colaboradores:** Reinilde Eppinga (SNV in Kenya) | Sheila Kibuthu (Sanergy).

**Fotos:** Sanergy.



ESTUDIO DE CASO 7

# Atrincheramiento de hilera profunda

Asia y África



## Antecedentes

### Selección y finalidad del tratamiento

El atrincheramiento en hileras profundas (DRE) se puede utilizar como una tecnología simple para la eliminación segura y, en algunos casos, la reutilización de lodos fecales. Este estudio de caso comparte experiencias de Malasia, India, Sudáfrica y Benin en el uso y la puesta a prueba del DRE como una solución provisional o de largo plazo. En los cuatro países, se eligió DRE por su bajo costo y la simplicidad de su diseño. En Sudáfrica y Benin también se eligió por su potencial para brindar oportunidades para la reutilización de lodos como acondicionador del suelo en la agro silvicultura.

En Malasia e India, el DRE se introdujo como una solución provisional para eliminar los desechos mientras se esperaba la construcción de instalaciones de tratamiento de lodos fecales y aguas residuales. En ambos países, la eliminación de lodos no tratados en zanjas profundas no se percibió como una estrategia deseable a largo plazo debido a la posible contaminación de las aguas subterráneas y superficiales por lixiviación. En Malasia, DRE fue introducido en 1994 por Indah Water Konsortium (IWK), una empresa que es propiedad del gobierno. Se crearon un total de 26 sitios de excavación de zanjas en todo el país, pero ahora casi todos se han eliminado debido a que las Plantas de tratamiento de lodos fecales (FSTP) y los servicios de alcantarillado han ocupado su lugar. En India, el DRE se está utilizando actualmente en el estado de Odisha, con 84 sitios de excavación de zanjas que dan servicio a 114 ciudades. Los sitios DRE son propiedad y están operados por los municipios locales, y Ernst & Young brinda apoyo técnico a las ciudades en transición hacia los FSTP.

En Sudáfrica, la Comisión de Investigación del Agua (WRC), en asociación con Partners in Development y la Universidad de KwaZulu-Natal, ha estado investigando el potencial del DRE a través de la evaluación de cinco experimentos separados en todo el país desde 2007. Un estudio piloto que actualmente se está estableciendo en la comunidad de Parakou en Benin para investigar el uso a largo plazo del DRE como mecanismo de eliminación y reutilización. El piloto se ha configurado para plantar árboles en la parte superior de trincheras cubiertas y es una parte clave del Plan de Saneamiento de Parakou.

*En los cuatro países, se eligió DRE por su bajo costo y su simplicidad de diseño. También se eligió en Sudáfrica y Benin debido a su potencial para brindar oportunidades para la reutilización de lodos como acondicionador del suelo.*



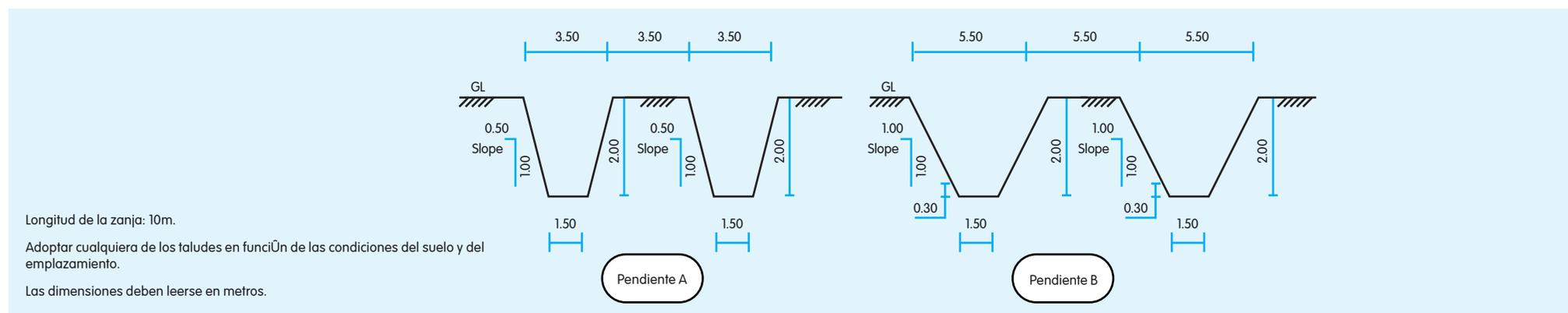
Vaciado de lodos en una zanja en el sitio de atrincheramiento en Umlazi, Sudáfrica

## Descripción del sistema

La construcción y operación de zanjas profundas es simple, siendo la selección del sitio a menudo el aspecto más complejo. En Sudáfrica, la selección del sitio dependió de si un sitio era lo suficientemente grande para acomodar el volumen de lodo anticipado durante el ciclo de crecimiento de los árboles. Los criterios utilizados para realizar esta evaluación incluyeron: tamaño de la zanja, volumen, tamaño de la comunidad a la que se presta servicio y la duración del ciclo de plantación de árboles. El ciclo de plantación de árboles es relevante porque los sitios están inmovilizados durante 6-9 años. Otros criterios de selección del sitio son la distancia a las fuentes de lodos, los medios de transporte y el acceso al sitio para los vehículos que transportan lodos.<sup>1</sup> En la India, las directrices desarrolladas por el Water Sanitation and Hygiene Institute (WASHI) estipulan que la tierra seleccionada debe ser razonablemente plana para una fácil operación y para que los camiones de limpieza tengan acceso a las trincheras. Deben evitarse las áreas anegadas o propensas a inundaciones. Se requiere una distancia de amortiguación suficiente a las propiedades habitables (al menos 200 m). También se debe considerar el cerco alrededor del sitio y la señalización de advertencia.<sup>2</sup>

Al seleccionar los sitios apropiados para la construcción de zanjas profundas, se deben tener en cuenta varias consideraciones ambientales. El sitio no debe estar cerca de fuentes de agua superficiales, subterráneas o subterráneas, y se requiere una investigación para evaluar el grado de separación entre la base de la zanja y el nivel freático para evitar la entrada de contaminantes. También se requiere un análisis de las características del suelo y del material rocoso y si permiten una rápida infiltración de agua contaminada.<sup>3 4</sup>

Figura 1. Modelo de zanja profunda normal adoptado en la India, adaptado por SNV<sup>6</sup>



Las dimensiones de la zanja son uno de los factores más importantes a considerar al diseñar el sitio de la zanja. Las dimensiones pueden variar entre los sitios, como se muestra en la *Tabla 1*. Las recomendaciones del estudio de caso de Sudáfrica establecen que las dimensiones óptimas para las zanjas son 800 mm de profundidad y 600 mm de ancho. El espaciamiento entre filas debe tomar en consideración la estabilidad del suelo, con espacio adecuado para acomodar los vehículos que cavan las zanjas y los que entregan el lodo.<sup>5</sup> La *Figura 1* proporciona un diagrama de las dimensiones recomendadas para las zanjas profundas. La elección de las dimensiones de la pendiente también dependerá del tipo de suelo y la estabilidad.

Tabla 1. Dimensiones de las zanjas profundas en los estudios de caso de India, Sudáfrica y Benin

Criterio	India (proyecto DRE del estado de Odisha y directrices técnicas de WASHI)	Sudáfrica (experimento del bosque de Sappi)	Benin (por pilotar)
Profundidad	1.5 m	1.5 m	1.5 m
Longitud	10 m	20 m	50 m
Anchura	2.5 m-5.5 m (ancho superior de la zanja). 1.5 m (anchura del fondo de la zanja).	0.6 m	2.5 m
Distancia entre dos trincheras	3.5 m	3 m	1 m
Capacidad de diseño de la zanja	0.5m <sup>3</sup> de lodo por m <sup>2</sup> de superficie.	0.25m <sup>3</sup> de lodo por m <sup>2</sup> de la superficie.	1m <sup>3</sup> de lodo por m <sup>2</sup> del área.

<sup>1</sup> WRC, *Entrenchment of pit latrine and wastewater sludges: An investigation of costs, benefits, risks and rewards*, Pretoria, Water Research Commission, 2015.

<sup>2</sup> WASHi, *Technical notes on shallow and deep trenches for fecal sludge/septage*, New Delhi, Water Sanitation and Hygiene Institute, 2020.

<sup>3</sup> WASHi, *Technical notes on shallow and deep trenches for fecal sludge/septage*, 2020.

<sup>4</sup> WRC, *Entrenchment of pit latrine and wastewater sludges*, 2015.

<sup>5</sup> WRC, 2015.

<sup>6</sup> WASHi, 2020, p. 26.

Los lodos domésticos enterrados en zanjas se tratan mediante procesos biológicos naturales. Una vez que se han llenado las zanjas con lodo, se pueden cubrir con el suelo excavado. A través de la deshidratación y la descomposición, el lodo apenas se distingue del suelo circundante después de unos años. Los árboles que necesitan grandes cantidades de nitrógeno se pueden plantar en o junto a las zanjas (como fue el caso en algunos de los experimentos sudafricanos, y como se pretendía en el piloto de Benin) o los lodos enterrados se pueden dejar hasta cuatro años para descomponerse. Si bien la mayoría de los patógenos en el lodo mueren en 6-8 meses, el óvulo de *Ascaris lumbricoides* (lombriz intestinal) puede sobrevivir hasta cuatro años, por lo que la lombriz intestinal se usa como organismo marcador para determinar el grado en que el lodo puede considerarse seguro para resolver. Por lo tanto, se puede concluir razonablemente que si es necesario hacerlo, los lodos enterrados podrían excavar de manera segura después de cuatro años.<sup>7</sup> En términos de agro silvicultura, el ciclo de vida promedio de los árboles es de entre 6 y 10 años antes de que puedan ser desechados y cosechados, lo que dejaría tiempo suficiente para que los patógenos del lodo se extinguieran. Comprensiblemente, se recomienda evitar el uso del acondicionador de suelo de DRE para cultivos anuales o comestibles.

## Entorno regulatorio y cumplimiento

El monitoreo continuo de las aguas subterráneas y el suelo en el sitio del DRE es necesario para asegurar que se cumplan las regulaciones y pautas ambientales y de salud pública. Los valores de referencia de las aguas subterráneas y el suelo deben establecerse antes de que el lodo se arraigue en el sitio a fin de proporcionar una base para evaluar el impacto del lodo arraigado a lo largo del tiempo. India y Sudáfrica, sin embargo, siguieron pautas y monitoreo ligeramente diferentes.

*El monitoreo continuo de las aguas subterráneas y el suelo en el sitio del DRE es necesario para garantizar que se cumplan las normas y pautas ambientales y de salud pública.*



Sitio de zanjas plantadas de Umlazi en Sudáfrica

Basado en la experiencia sudafricana, el informe del WRC describe pautas ligeramente diferentes para el monitoreo del agua subterránea y el suelo en los sitios de DRE. El monitoreo del agua en el sitio debe incluir coliformes fecales y *E. coli*. También se monitorearon los siguientes atributos químicos en el caso sudafricano por tratarse de un proyecto de investigación: nitrógeno orgánico, nitrógeno-nitrato, nitrógeno amónico, cloruros, pH, DQO, zinc, cadmio, cobre y conductividad específica. La frecuencia del monitoreo estará determinada por la profundidad del nivel freático, el contenido de arcilla, el pH del suelo y el contenido de agua del lodo. Cuando la profundidad del nivel freático es inferior a 5 m, se sugieren procesos de monitoreo trimestrales para lodos secos y mensuales para lodos líquidos durante la temporada de lluvias. Un monitoreo menos frecuente puede ser suficiente si el contenido de arcilla del suelo en el sitio de DRE es superior al 35%, es decir, si el lodo deshidratado está atrincherado por encima de una capa freática a más de 10 m, o si el lodo líquido está atrincherado por encima de una capa freática a más de 20 metros de profundidad. En algunos casos, el monitoreo del agua subterránea puede no ser necesario debido a la profundidad del nivel freático.

<sup>7</sup> WRC, 2015.

## Operación y mantenimiento: realidades, desafíos y oportunidades

### Realidades de ejecutar el proceso de tratamiento

#### *Tipo, calidad y cantidad de lodos*

El tipo, la calidad y la cantidad de lodo enterrado en las zanjas profundas son consideraciones importantes al administrar un sitio de DRE. En general, los cuatro países del estudio de caso solo han aceptado lodos domésticos, rechazando lodos industriales, comerciales o tóxicos. El lodo no tratado generalmente proviene de letrinas de pozo o fosas sépticas, con la excepción del ensayo de Sappi Forest en Sudáfrica, que recibió su lodo de una instalación local de tratamiento de aguas residuales. En la India, se han establecido pautas para controlar la cantidad de lodo recibido mediante un registro del número de camiones que ingresan, la fecha de entrada, la cantidad de lodo depositado y el tiempo necesario para llenar cada zanja. Además, en Sudáfrica, se recomiendan las pruebas de laboratorio del lodo si existe alguna razón para creer que está contaminado con contaminantes.

#### *Costos de atrincheramiento de lodos*

Si bien el DRE es una opción económica de eliminación de lodos, todavía se incurre en algunos costos en este enfoque. En Sudáfrica, se estimó un costo de US \$0,33/metro de zanja, incluidos los costos de cavar la zanja, mantener la zanja y transportar el lodo (que es, con mucho, la mayor proporción del costo). Otros costos están asociados con el establecimiento de puntos de pozos de monitoreo de lixiviados y aguas subterráneas, con un costo estimado de US \$ 546/hectárea de sitios de excavación de zanjas; asumiendo que un pozo de monitoreo cubrirá al menos diez hectáreas.<sup>8</sup>

En el piloto de Benin, la intención es establecer un contrato de asociación con las tres empresas de limpieza que operan en la comuna de Parakou. A las empresas de remoción de lodos se les cobrará US \$0,80/m<sup>3</sup> de lodo por vaciar en las trincheras profundas. En el proyecto DRE de la India, el municipio no cobra a las empresas de limpieza por vaciar el lodo en las trincheras porque quiere alentarlas a usar las trincheras y no arrojar lodo a las vías fluviales. Dado que el DRE se considera una solución provisional para la eliminación de lodos, el municipio absorbe los costos por el momento.

En el caso de Benin, se ha calculado que si las empresas de remoción de lodos cobran a los hogares US \$ 7,50/m<sup>3</sup> de lodo extraído, esto podría resultar en una ganancia potencial para las empresas del 30% por 10 m<sup>3</sup> de lodo (después de tomar en consideración todos los costos tales como gastos de eliminación, combustible, mano de obra y costos de vehículos). Esta tarifa de

facturación debería ser acordada por todas las empresas de eliminación de lodos. En otros países de África, esta tarifa a veces puede ser entre 4 y 10 veces mayor que la cotizada para Benin.

#### *Prueba de la calidad del suelo*

La prueba de los impactos de la eliminación de lodos en las características del suelo es una parte necesaria de los procesos de monitoreo de DRE. En Sudáfrica, el experimento del bosque de Sappi informó picos en las concentraciones de nitrato y fosfato en el lixiviado, en las proximidades inmediatas del lodo. Sin embargo, no se observaron aumentos significativos en las concentraciones de nitrato o fosfato en ninguno de los pozos ubicados entre los sitios de atrincheramiento de lodos y los arroyos de ladera más cercanos. Después de tres años no hubo diferencias significativas entre los niveles de nitrógeno y fosfato en el lodo y el suelo que lo rodea. De manera similar, en Malasia en 2009, se eligieron siete sitios para evaluar los cambios en las concentraciones de nutrientes y metales pesados en el suelo debido al DRE.<sup>9</sup> Los sitios se eligieron en función de la duración de las actividades de eliminación de zanjas, con un mínimo de cinco años requerido. El muestreo de suelo encontró ligeras mejoras en las concentraciones de nitrógeno, fosfato y potasio, y no hubo aumentos significativos en los metales pesados. El estudio concluyó que la excavación de zanjas puede ayudar a mejorar los valores de los nutrientes del suelo, la tasa de acumulación de metales pesados es lenta y los niveles químicos observados en las muestras de zanjas eran inferiores a los límites propuestos.

#### *Consideraciones de OHS*

Debido a la probabilidad de concentraciones variables de patógenos en los lodos, deben manejarse como desechos peligrosos y los trabajadores deben recibir la capacitación y el apoyo adecuados en salud y seguridad ocupacional (SSO), al igual que en otros procesos de tratamiento de lodos. En todos los sitios de estudio de caso, se proporcionaron protocolos de OHS para el transporte y manejo de lodos, junto con la capacitación asociada. Esta capacitación incluyó educar a los trabajadores sobre los patógenos, las rutas de transmisión y los procedimientos para proteger su salud. Los trabajadores deben usar equipo de protección mientras manipulan lodos para evitar infecciones por bacterias, virus o parásitos intestinales. Los huevos parásitos pueden transportarse por el aire cuando se manipula el lodo, por lo que es importante que los trabajadores usen máscaras, guantes, botas y overoles. Los rigurosos protocolos de OHS evitan la transferencia de patógenos fuera del sitio del DRE al garantizar que no se use ropa protectora contaminada fuera del sitio del DRE o al conducir vehículos. Los protocolos de OHS también aseguran que las ruedas de los vehículos no se contaminen, llevando patógenos cuando abandonan el sitio. También se debería proporcionar a los trabajadores los medios para desinfectar su ropa antes de irse a casa. Por último, se recomienda que los trabajadores se sometan a revisiones médicas periódicas y tratamientos antiparasitarios si trabajan habitualmente con lodos.

<sup>8</sup> WRC, 2015.

<sup>9</sup> IWK, National Environmental Health Action Plan (NEHAP): Effects of the reuse of sludge to environmental health, Kuala Lumpur, Indah Water Konsortium, 2015.

## Desafíos de la construcción, operación y mantenimiento.

### Consideraciones de accesibilidad para camiones de limpieza

Los sitios de DRE deben diseñarse y prepararse de manera que permitan el acceso de camiones pesados de limpieza. Las zanjas deben excavarlas paralelas a los contornos de la pendiente del sitio, con el espacio y las dimensiones de las zanjas dependiendo en cierto grado de los resultados de las evaluaciones de estabilidad del suelo, la pendiente natural del suelo y la profundidad del nivel freático. Debido al frecuente paso de camiones de limpieza, se debe dejar suficiente espacio para acomodar los vehículos, y el relleno debe apilarse al lado de la zanja, sin que la zanja se derrumbe. Se han sugerido y probado varias soluciones para evitar el colapso de las trincheras en los países del estudio de caso. Para el piloto de Benin, el suelo se compactará en el punto donde los camiones vacían el lodo en las trincheras. En India, las paredes de las trincheras se cortan en pendiente para minimizar el riesgo de colapso. En Sudáfrica, se aconsejó probar las zanjas para garantizar que se respeten las dimensiones y el espaciado deseados para que los camiones eliminen los lodos sin dañar las paredes de la zanja.

### Preocupaciones por la salud ambiental

Factores como inundaciones, lluvias intensas o invasión de asentamientos humanos en sitios de DRE podrían alterar el impacto ambiental del atrincheramiento durante o después del período de uso. En la India, el atrincheramiento no se ha utilizado en áreas que tienen problemas de inundaciones o inundaciones, y las trincheras no se utilizan durante la temporada de monzones. Las inundaciones o las lluvias intensas pueden hacer que los contaminantes y los nutrientes del lodo suban a la superficie o se muevan más lejos y más rápidamente (o en concentraciones más altas) a través del agua subterránea. De manera similar, la invasión de asentamientos humanos cerca de los sitios de DRE puede reducir las zonas de amortiguamiento y puede hacer que el agua cerca del sitio de atrincheramiento no sea apta para el consumo humano. Cuando los sitios de DRE se vean afectados por cualquiera de estos factores, el atrincheramiento de lodos debe suspenderse hasta que se considere seguro continuar, o las actividades deben suspenderse indefinidamente. En el peor de los casos, el lodo debe desenterrarse y eliminarse de manera segura en otro lugar.

*Factores como inundaciones, lluvias intensas o la invasión de asentamientos humanos en los sitios de DRE podrían alterar el impacto ambiental del atrincheramiento durante o después del período de uso.*



Lodos descompuestos después de 3,5 años en el emplazamiento de Umlazi (Sudáfrica)

## Oportunidades de uso beneficioso

Si bien el DRE se utiliza principalmente como un mecanismo de eliminación de lodos, las oportunidades para un uso beneficioso son posibles en forma de agro silvicultura. Los árboles se pueden plantar encima o junto a zanjas rellenas, y los nutrientes en el lodo mejorarán las tasas de crecimiento y aumentarán los volúmenes de madera. En el experimento de los bosques de Sappi de Sudáfrica, el lodo que se enterró cerca de los árboles de eucalipto aumentó el volumen total de madera hasta en un 50%. Se evaluó que este volumen adicional de madera podía compensar el costo del proceso de atrincheramiento hasta en un tercio o incluso en la mitad. Esto es menor que el costo de atrincherar el sitio, pero compensa el costo de la eliminación de lodos hasta cierto punto. En Benin, la comunidad de Parakou tiene la intención de plantar árboles de Gmelina Arborea en las trincheras rellenas durante la temporada de lluvias, al menos 3-6 semanas después de que se hayan relleno. El tiempo de espera permitirá la estabilización del lodo. Una vez que los árboles hayan madurado, la comunidad conservará el área como bosque urbano artificial o cosechará los árboles para la venta comercial después de un período de diez años.

## Consideraciones de elección informada

## Atrincheramiento de hileras profundas en Benin, India y Sudáfrica

	Capacidad de diseño	18-200 m <sup>3</sup> de lodos (dependiendo de las dimensiones de las zanjas y el terreno disponible).
	Costos de operación	US \$ 18/m <sup>3</sup> para excavación de zanjas, relleno y transporte de lodos. US \$ 900/ha para monitoreo continuo de aguas subterráneas (estimaciones basadas en la experiencia sudafricana).
	Requerimientos energéticos	Sistema natural, sin requisitos de energía excepto combustible para impulsar la excavadora al preparar las zanjas.
	Características de entrada	Lodos domésticos de letrinas de pozo y fosas sépticas.
	Características de salida	Después de cuatro años, el lodo es difícil de distinguir del suelo circundante.
	Requisitos de habilidades y recursos humanos	Mínimo personal requerido: operadores de camiones de limpieza (el personal más importante), así como personal para cavar trincheras o administrar el sitio.
	Disponibilidad de tecnología/material (local)	Requisitos de baja tecnología; materiales y fabricación todos disponibles localmente.

## Referencias

IWK, *National Environmental Health Action Plan (NEHAP): Effects of the reuse of sludge to environmental health*, Kuala Lumpur, Indah Water Konsortium, 2015.

WASHi, *Technical notes on shallow and deep trenches for faecal sludge/septage*, New Delhi, Water Sanitation and Hygiene Institute, 2020.

WRC, *Entrenchment of pit latrine and wastewater sludges: An investigation of costs, benefits, risks and rewards*, Pretoria, Water Research Commission, 2015.

**Colaboradores:** David Still (Partners in Development) | Arumugam Kalimuthu (WASH Institute) | Wee Soon Guan (IWK) | Dorai Narayana (Consultant).

**Fotos:** David Still.



## ESTUDIO DE CASO 8

# Uso de contactores biológicos rotativos

Banjarmasin,  
Indonesia



## Antecedentes

### Selección y finalidad del tratamiento

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Pekapuran Raya es una de las siete PTAR en la ciudad de Banjarmasin que utiliza contactores biológicos rotativos (RBC) para el tratamiento de aguas residuales. La planta de Pekapuran Raya ha estado en operación desde 2008. Las siete plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Banjarmasin son propiedad del gobierno central, pero son operadas y mantenidas por PD PAL Banjarmasin, una empresa gubernamental independiente.

Varias partes interesadas participaron en la selección y diseño de la tecnología y las instalaciones de RBC, incluidos los representantes de la Oficina de Obras Públicas y Vivienda local, el equipo técnico provincial del Ministerio de Obras Públicas y Vivienda, el Director de PD PAL Banjarmasin y un consultor local que diseñó la instalación. La decisión final sobre la tecnología y el diseño de las instalaciones la tomó la Oficina de Obras Públicas y Vivienda en Banjarmasin. La decisión se basó en la facilidad de operación, los requisitos de la superficie terrestre, el costo operativo y la capacidad para cumplir con los estándares de efluentes requeridos. La tecnología RBC requiere que los operadores tengan habilidades de mantenimiento mecánico, pero no habilidades de funciones de control de procesos. La tecnología no requiere una gran área de tierra, lo que la hace adecuada para la ciudad de Banjarmasin, ya que está densamente poblada y la tierra disponible es escasa. El RBC requiere electricidad para funcionar, pero en comparación con otras tecnologías mecánicas, los requisitos de electricidad y, por lo tanto, los costos operativos son menores.

*Se eligió la tecnología RBC porque es fácil de operar, no necesita habilidades especiales para operar y no requiere un área grande. La disponibilidad de tierras es un gran problema en Banjarmasin.*

JEFE DE DIVISIÓN TÉCNICA, PD PAL BANJARMASIN



Unidad de contactor biológico rotativo (RBC)

## Descripción del sistema

Las aguas residuales de la EDAR de Pekapuran Raya se tratan mediante un proceso de tratamiento biológico, que se basa en los glóbulos rojos para el tratamiento secundario. Las aguas residuales, que incluyen aguas grises y aguas negras de hogares, hoteles, restaurantes y oficinas, se entregan a la instalación a través de una red de tuberías. El proceso de tratamiento se describe en la *Figura 1*.

Como se muestra en la *Figura 1*, el proceso de tratamiento comienza con el paso A, que es la entrada de la tubería principal de alcantarillado que entrega las aguas residuales a la instalación. El paso B es la estación de bombeo de aguas residuales, que bombea las aguas residuales desde siete metros por debajo del suelo hasta la unidad de procesamiento. Una pantalla de barras antes de la unidad de la estación de bombeo filtra los desechos sólidos de las aguas residuales como parte del proceso de tratamiento primario. En el Paso C, se utilizan dos clarificadores y dos unidades RBC (8,15 m de largo) para el tratamiento secundario de las aguas residuales. El RBC consta de una serie de discos paralelos, estrechamente espaciados, montados en un eje



Criba de barras con bomba sumergible

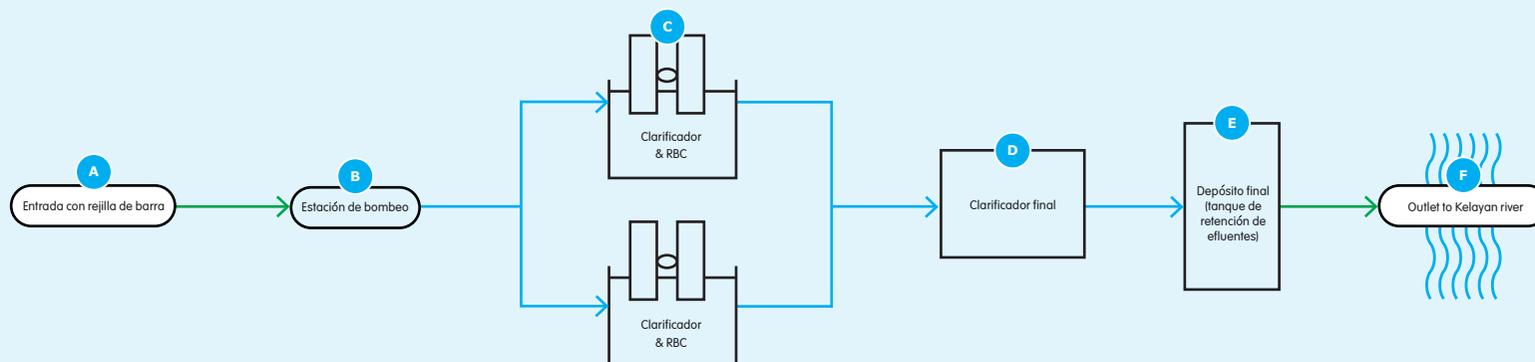
giratorio, que se apoya justo encima de la superficie del agua residual. Los microorganismos crecen en la superficie de los discos donde tiene lugar la degradación biológica de los contaminantes de las aguas residuales. Los paquetes giratorios de discos, conocidos como medios, se colocan en



Estación de bombeo de aguas residuales

un tanque y giran a 2-5 revoluciones por minuto. El eje está alineado para que los discos giren en ángulo recto con el flujo de aguas residuales, con aproximadamente el 40% del área del disco sumergida en las aguas residuales.<sup>1</sup>

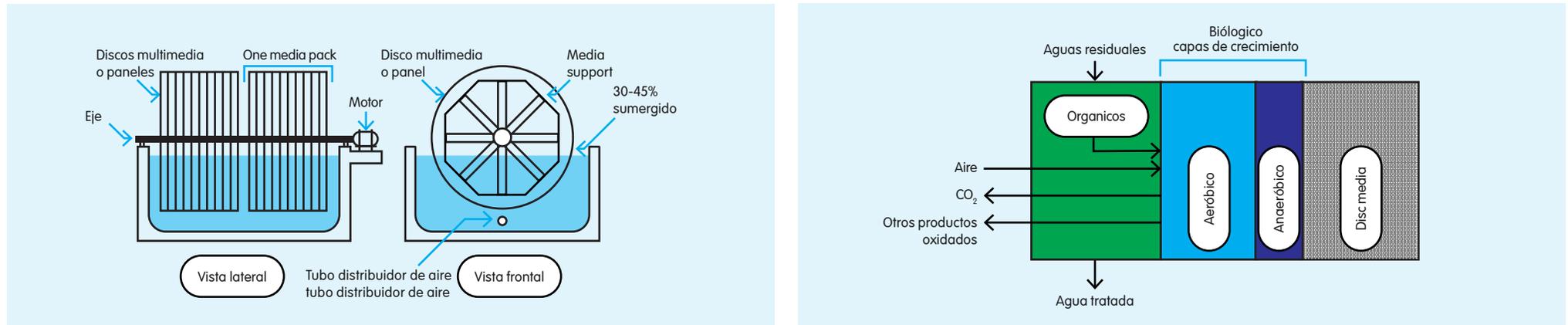
Figura 1. Proceso de tratamiento en la EDAR de Pekapuran Raya,<sup>2</sup> adaptado por SNV



<sup>1</sup> R.L. Antonie, *Fixed biological surfaces – wastewater treatment: the rotating biological contractor*, CRC Press, 2018, <https://doi.org/10.1201/9781351072045> (accessed 25 November 2020).

<sup>2</sup> Schematic diagram of treatment process based on SNV's site visit in 2019.

Figura 2. Diagrama esquemático de un RBC típico (izquierda) y una sección transversal esquemática de la cara de contacto del medio del lecho en un RBC (derecha),<sup>3</sup> adaptado por SNV



El proceso de tratamiento continúa con el clarificador final (Paso D en la *Figura 2*), que es un tanque de sedimentación diseñado para separar los sólidos del agua al permitir que los sólidos en suspensión pesados se asienten en el fondo y el agua clarificada se desborde por la parte superior. Se agrega cloro en polvo como desinfectante. La capa de lodo producida en el fondo del clarificador se extrae y se elimina en la Planta de tratamiento de lodos fecales de Basirih (FSTP) en Banjarmasin. El Paso E de la planta de tratamiento consiste en el reservorio final donde las aguas residuales procesadas se retienen durante 3-6 horas antes de su liberación al río Kelayan (Paso F). Las muestras del efluente se analizan para determinar su calidad antes de su disposición final. Parte del agua de la salida se reutiliza para regar las plantas de la EDAR. El agua se recoge a través de una tubería separada y se filtra para que cumpla con los estándares de calidad adecuados para regar plantas no comestibles.

Tabla 1. Capacidad y costes de explotación de la WWTPs de Pekapuran Raya

	Pekapuran Raya WWTP
Capacidad de diseño	2,500 m <sup>3</sup> /día de las aguas grises y negras.
Capacidad operativa	250-500 m <sup>3</sup> /día de las aguas grises y negras.
Gastos de funcionamiento	US\$ 84,000 al año para las siete WWTPs operadas por PD PAL Banjarmasin.

### Entorno regulatorio y cumplimiento

En la PTAR de Pekapuran Raya se siguen los estándares ambientales del gobierno nacional y regional para la calidad de los afluentes y efluentes, y se realizan pruebas periódicas para cumplir con estas regulaciones. La calidad del afluente y del efluente se verifica mensualmente con el Estándar de Efluentes del Ministerio de Medio Ambiente (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup N° 68/2016) y el Estándar de Efluentes de la Regencia de Kalimantan del Sur (Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan N° 36 Tahun 2008). Se realizan algunos controles diarios, incluidos el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto (OD). Las pruebas mensuales son realizadas por un laboratorio de la Agencia Ambiental de la Ciudad y el laboratorio de la Agencia Ambiental Provincial realiza un muestreo aleatorio de la calidad del afluente y el efluente de la instalación 2-3 veces al año. Se ha descubierto que la calidad de las entradas de residuos es bastante constante, con algunos picos ocasionales en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Hasta la fecha, no se han realizado más análisis para comprender los picos de DBO.

*El desempeño de las instalaciones de tratamiento es consistente en que la calidad del efluente siempre está por debajo del estándar de efluente regulado. Una vez, antes de que se promulgue la regulación actual en 2016, el número de E. coli se disparó. Sin embargo, dado que el nuevo estándar de efluentes solo verifica el parámetro de coliformes totales, la cantidad de E. coli ya no se mide. Actualmente, para asegurar que el parámetro de coliformes totales esté por debajo del estándar de efluentes, se ajusta la dosificación de desinfectante de cloro.*

SECCIÓN JEFE DE LA DIVISIÓN DE REDES DE TUBERÍAS, PD PAL BANJARMASIN

<sup>3</sup> M.R. Beychok, *Aqueous waste from petroleum and petrochemical plants*, 1st edition, John Wiley & Sons Ltd., 1967, p. 262.

Tabla 2. Calidad del afluente y del efluente de la WWTP de Pekapuran Raya

Parámetro	Entrada	Salida	Norma del Ministerio de Medio Ambiente sobre efluentes (Permen LHK 68/2016)	Regencia de Kalimantan del Sur Norma de Efluentes (Pergub 36/2008)
Temperatura (°C)	28.5	28.3	–	–
pH	7.06	7.53	6-9	6-9
Sólidos suspendidos totales (TSS) (mg/l)	25	6	30	100
Demanda bioquímica de oxígeno (BOD) (mg/l)	45.48	9.74	30	100
Demanda química de oxígeno (COD) (mg/l)	115.99	24.84	100	–
Grasa y aceite (mg/l)	1.3	0.5	5	10
Ammonia (mg/l)	26.19	10.58	10	–
Coliformes totales (NMP/100 ml de muestra)	2,940	2,400	3,000	–

## Operación y mantenimiento: realidades, desafíos y oportunidades

### Realidades del funcionamiento de la planta de tratamiento

#### Consideraciones de construcción

Durante la construcción de las PTAR, se evaluaron los impactos ambientales para garantizar que se cumplieran los estándares de calidad y se consideraron las objeciones del público.

La ciudad de Banjarmasin es relativamente plana. Está atravesado por muchos ríos y tiene numerosos pantanos. Debido al cambio de las mareas de los ríos, las inundaciones son comunes y las condiciones pantanosas provocan suelos blandos. Por lo tanto, al construir las siete EDAR, todas las estructuras se construyeron sobre pilotes fuertes y profundos sobre el suelo para evitar inundaciones. El Equipo Técnico Provincial del Ministerio de Obras Públicas y Vivienda aseguró que se cumplieran los criterios de planificación y calidad constructiva, según lo estipulado en el Reglamento N° 4 2017 del Ministerio de Obras Públicas y Vivienda sobre Gestión de Aguas Residuales.

En general, ninguna de las PTAR experimentó ningún desafío durante la construcción, excepto la PTAR más nueva donde hubo objeciones públicas a su desarrollo. PD PAL Banjarmasin abordó sus preocupaciones a través de sesiones informativas regulares, explicando que la PTAR mejoraría la limpieza y conduciría a mejores resultados de salud para la comunidad. Desde entonces, PD PAL Banjarmasin ha podido obtener un certificado de propiedad de la tierra. Se despejó el terreno, se construyó la PTAR y en breve comenzará a operar.

*No hemos enfrentado ningún rechazo público hasta nuestra última PTAR Sultan Adam que se construyó en 2012. La comunidad alrededor de la PTAR Sultan Adam se negó a conectar su tubería doméstica a la red de tuberías principal porque no querían que la PTAR se construyera cerca de sus casas. Perciben [percibían] que la EDAR [es] sucia y que tendrá mal olor.*

**JEFE DE DIVISIÓN TÉCNICA, PD PAL BANJARMASIN**



Caudalímetro automático de entrada



Tubo de salida



RBC rodamientos

### Operación y mantenimiento continuo de la instalación

Se requieren varias actividades típicas de operación y mantenimiento (O&M) para garantizar el funcionamiento fluido y continuo de la PTAR de Pekapuran Raya. Estas actividades incluyen:

- limpieza diaria de la pantalla de la barra para eliminar los desechos y los efluentes, controles de pH, temperatura y oxígeno disuelto;
- controles mensuales de calidad de laboratorio de afluentes y efluentes y mantenimiento de las piezas del motor RBC; y
- controles trimestrales de clarificadores para evaluar los requisitos de eliminación de lodos.

Los cortes de energía de 2 a 3 horas son comunes en Banjarmasin, lo que requiere que la instalación tenga un generador de energía diésel para garantizar el funcionamiento continuo de la PTAR. El generador de energía en uso tiene una capacidad de 80-100 kVa, que es suficiente para administrar todas las operaciones de la EDAR durante los cortes.

### Dotación de personal y formación

Un pequeño equipo de cinco operadores asegura el funcionamiento continuo de la EDAR de Pekapuran Raya. Un operador es el coordinador del equipo. Como los operadores también realizan funciones de seguridad para la instalación, se les proporciona alojamiento en los terrenos de la instalación.

El proveedor Enviro, que suministró la tecnología RBC, desarrolló un procedimiento estándar de operación y mantenimiento para la instalación. Los operadores recibieron capacitación en el trabajo de Enviro cuando la PTAR comenzó a funcionar en 2008. El Ministerio de Obras Públicas y Vivienda proporcionó capacitación adicional para todos los operadores de PTAR en Indonesia. Sin embargo, no todos los operadores que actualmente trabajan en la EDAR de Pekapuran Raya estaban empleados en ese momento. Como tal, los operadores existentes brindan capacitación en el trabajo a los nuevos reclutas. Las sesiones de capacitación de aprendizaje entre pares se centran en la operación y mantenimiento mecánico y eléctrico de la instalación.

### Desafíos de operación y mantenimiento

#### Limitaciones en la operación y mantenimiento de la EDAR

Asegurar la operación y mantenimiento continuos de la tecnología RBC es esencial para el funcionamiento general de la EDAR. Sin embargo, los operadores han descubierto que algunas de las tareas involucradas son desafiantes. Los elementos críticos de la tecnología RBC, que deben mantenerse, incluyen el eje que mantiene intactos los medios bacterianos y el cojinete que mantiene el RBC en rotación. Para el operador actual, cambiar o reparar el rodamiento del RBC puede llevar hasta un mes. La instalación no tiene el presupuesto necesario para contratar a un experto técnico de RBC, quien, según se informa, haría el trabajo mucho más rápido. Como resultado, tales tareas dificultan innecesariamente las operaciones. Además, es necesaria la limpieza y eliminación de sedimentos ocasionales de la cubeta de RBC, lo que requiere que una de las unidades de RBC y los clarificadores estén apagados para permitir el acceso.

*Cuando llega el momento de limpiar los lodos generados en la cubeta de RBC, es necesario detener y levantar los RBC para que los trabajadores puedan extraer y limpiar la cámara de lodos. Esto requiere bastante tiempo, aunque podemos operar los otros pares de glóbulos rojos. Pero rediseñar la cámara de lodos para mejorar el acceso para la limpieza y eliminación de lodos sería realmente bueno.*

#### SECCIÓN JEFE DE LA DIVISIÓN DE REDES DE TUBERÍAS, PD PAL BANJARMASIN

Los ajustes al clarificador final y al caudalímetro de salida optimizarían el proceso de tratamiento. El clarificador final requiere que se agregue cloro en polvo para garantizar que el nivel total de coliformes cumpla con los estándares de calidad del efluente requeridos. Sin embargo, el cloro en polvo a veces obstruye el tubo de desinfectante y la dosificación manual ha dado lugar a que se agreguen cantidades inexactas. Cambiar a un desinfectante líquido podría evitar obstrucciones y una dosificación incorrecta. Dentro de la tubería de salida, un caudalímetro mecánico a menudo se obstruye con sedimentos. Reemplazar esto con un medidor de flujo no mecánico podría solucionar este problema.

#### Consideraciones de salud y seguridad ocupacional (OHS)

Si bien las medidas de OHS son parte de las pautas operativas estándar de la PTAR de Pekarayan Raya, el grado en que se cumplen varía. El personal de la instalación recibe equipo de protección personal como monos de seguridad, cascos duros, botas duras y guantes; sin embargo, muchos operadores no usan estos elementos debido al clima caluroso y las molestias que experimentan al usarlos. Para combatir este problema, el equipo directivo de PD PAL Banjarmasin realiza frecuentes sesiones de sensibilización sobre la importancia de la ropa protectora. También se observaron algunos riesgos laborales durante la visita de campo de investigación, como la falta de una barandilla rígida alrededor de la cuenca de RBC para evitar que las personas caigan. Tales consideraciones no parecen haber sido parte de las consideraciones de diseño de OHS de la instalación.

#### Arreglos financieros que aún no cubren todos los costos de operación y mantenimiento

Todos los costos de gastos de capital (CAPEX) de la PTAR Pekarayan Raya fueron pagados por el gobierno nacional a través del Ministerio de Obras Públicas y Vivienda. Sin embargo, PD PAL Banjarmasin actualmente no puede cubrir todos sus costos de operación y mantenimiento. El gasto operativo (OPEX) para cada EDAR individual nunca se ha calculado, pero el costo combinado de las siete EDAR es de 84.000 dólares estadounidenses por año. PD PAL Banjarmasin obtiene ingresos de la tarifa de servicios de gestión de aguas residuales



Unidad de dosificación de desinfectante, con el clarificador final por debajo de las baldosas fotografiadas

que pagan los hogares y las empresas comerciales, que son de aproximadamente US \$1 y US \$6 por mes, respectivamente. Estos ingresos contribuyen a los costos de operación y mantenimiento. Si los clientes también tienen una conexión de agua entubada, entonces su tarifa de gestión de aguas residuales representa el 25% de la factura del agua. Los ingresos recuperados por PD PAL Banjarmasin se utilizan para cubrir algunos costos de operación y mantenimiento, incluidas las pruebas de laboratorio, la adquisición de desinfectantes, las facturas de electricidad, los costos de eliminación de lodos y limpieza de lodos, así como el costo de las piezas de repuesto y el aceite para las piezas mecánicas. En la actualidad, PD PAL Banjarmasin incurre en un déficit presupuestario de US \$6.470 por mes para los costos de operación y mantenimiento de las siete plantas de tratamiento de aguas residuales. La compañía está llevando a cabo actividades de concientización para informar a la comunidad sobre los beneficios de conectarse a la red de aguas residuales por tuberías, pero se requieren más esfuerzos para aumentar la demanda de servicios de aguas residuales, lo que a su vez aumentará los ingresos.

## Consideraciones de elección informada

### EDAR de Pekapuran Raya en Indonesia (PD PAL Banjarmasin)

	<b>Capacidad operativa y de diseño</b>	Capacidad de diseño = 2.500 m <sup>3</sup> /día de aguas grises y aguas negras. Capacidad operativa = 250-500m <sup>3</sup> /día de aguas grises y aguas negras.
	<b>Costos e ingresos</b>	Gastos de capital, CAPEX = US \$ 256,870 para la construcción de la PTAR Pekapuran Raya y US \$ 64,230 para la construcción de conexiones de tuberías Gastos operativos, OPEX = US \$ 84,000 por año para las siete PTAR.
	<b>Requerimientos energéticos</b>	Sistema mecánico para tecnología RBC: el suministro de energía es el mayor OPEX.
	<b>Características de entrada</b>	Lodos con pH = 7,06; TSS 25 mg/L; DBO 45,48 mg/L; DQO 115,99 mg/L; Coliformes totales 2940 MPN/100ml.
	<b>Características de salida</b>	Calidad del líquido efluente (límite de efluente según la norma de cumplimiento ambiental. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016): pH = 7.53 (6-9); TSS 6 mg/L (30 mg/L); DBO 9,74 mg/L (30 mg/L); DQO 24,84 mg/L. (100 mg/L); Coliformes totales 2400 MPN/100ml (3000 MPN/100ml).
	<b>Requisito de tierra</b>	El área del terreno era una limitación y, por lo tanto, eligieron un sistema mecánico con una huella pequeña.
	<b>Reutilizar</b>	Reutilización mínima de agua tratada sólo para fines de jardinería de instalaciones.
	<b>Requisitos de habilidades y recursos humanos</b>	Cinco operadores que trabajan en la instalación que también realizan funciones de seguridad, y un operador actúan como coordinador.
	<b>Disponibilidad local de tecnología/material</b>	El rodamiento RBC está disponible localmente si necesita ser reparado o reemplazado, sin embargo, el operador no sabía si el eje RBC también estaba disponible localmente (puede ser necesario importarlo); el medio de contacto no está disponible localmente y debe importarse.

## Referencias

- Antonie, R.L., Fixed biological surfaces – wastewater treatment: the rotating biological contractor, CRC Press, 2018, <https://doi.org/10.1201/9781351072045>.
- Beychok, M.R., Aqueous waste from petroleum and petrochemical plants, 1st edition, John Wiley & Sons Ltd., 1967, p. 262.



ESTUDIO DE CASO 9

# Sistema de tratamiento de aguas residuales descentralizado

---

Makassar,  
Indonesia



## Antecedentes

### Selección y finalidad del tratamiento

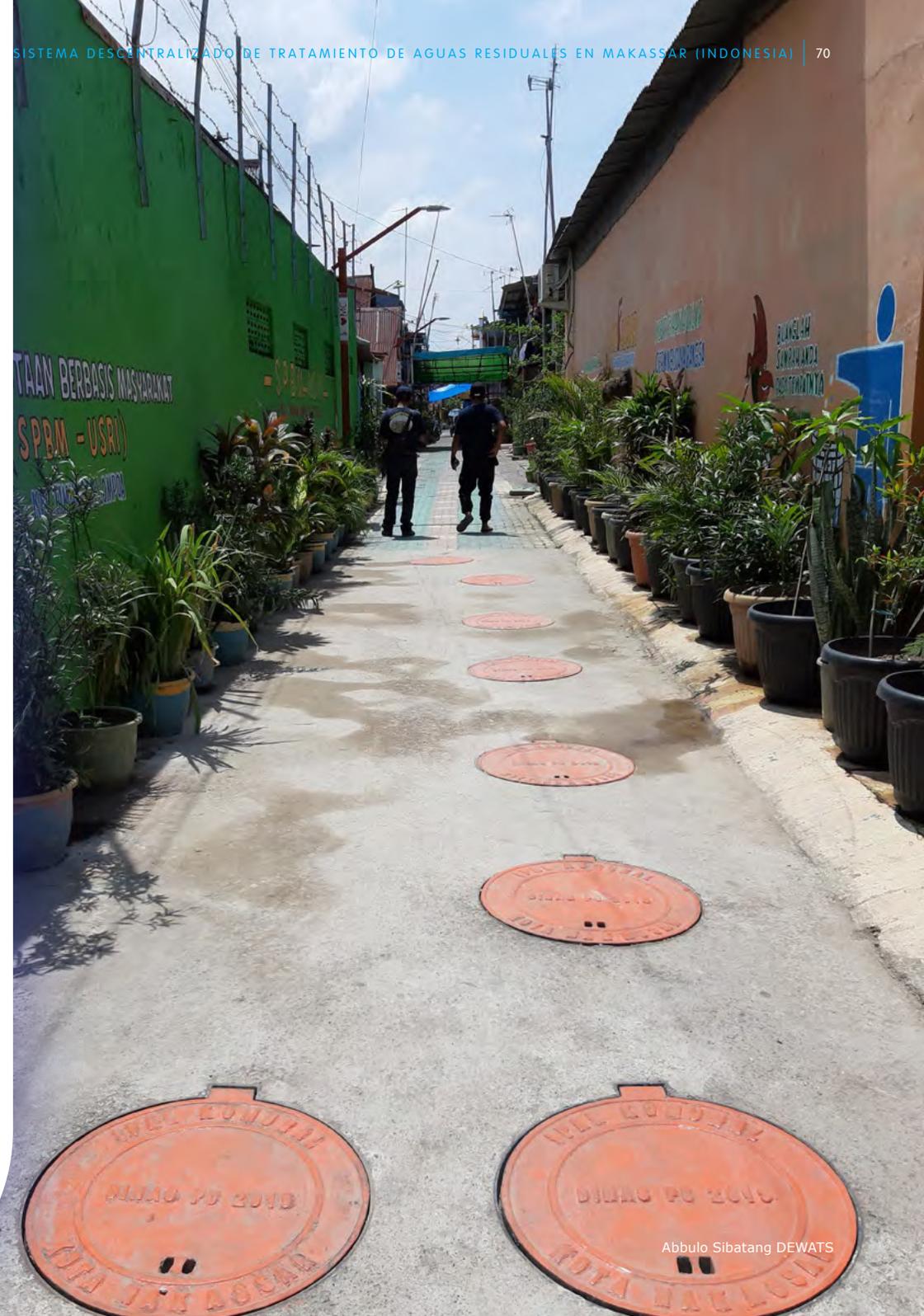
Los sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados anaeróbicos administrados por la comunidad (DEWATS) ofrecen soluciones de saneamiento en asentamientos urbanos de bajos ingresos y densamente poblados. Hay 147 DEWATS en Makassar registrados en UPTD (Unidad Pelaksana Teknis Daerah: Unidad de Implementación Técnica Regional), una unidad gubernamental independiente dependiente de la Oficina de Obras Públicas y Vivienda. Esta unidad proporciona monitoreo de estos sistemas de alcantarillado simplificados. Sin embargo, la operación y el mantenimiento diarios (O&M) de cada DEWATS es administrado por un grupo de la comunidad local. La implementación y construcción de DEWATS cuenta con el apoyo del presupuesto nacional, subvenciones locales e internacionales y préstamos internacionales. El Abbulo Sibatang DEWATS, que es el foco de este estudio de caso, fue construido a través de un proyecto financiado por el Banco Asiático de Desarrollo en 2011.

La tecnología DEWATS de Abbulo Sibatang se eligió en función de la demanda de la comunidad y la disponibilidad limitada de tierras. El gobierno local construyó el DEWATS principalmente a pedido de la comunidad, debido a la falta de saneamiento adecuado. La comunidad había visto el DEWATS en un área vecina y decidió que sería adecuado para sus necesidades. Una ciudad densamente poblada, la disponibilidad limitada de tierras fue otra consideración clave. Como tal, un sistema de alcantarillado DEWATS simplificado, que se construye bajo tierra, fue la opción preferida.

Una vez que se estableció la demanda comunitaria en Abbulo Sibatang, UPTD y la Oficina Municipal de Obras Públicas y Vivienda en Makassar evaluaron la propuesta. A esto siguió un proceso de adquisición abierto para seleccionar un proveedor independiente para diseñar la instalación, la red de tuberías y las conexiones domiciliarias. Este es el proceso de adquisición estándar que se sigue para todos los DEWATS en Makassar y el Jefe de la División de Gestión de Aguas Residuales de la Oficina Municipal de Obras Públicas y Vivienda toma las decisiones finales sobre la selección del proveedor y el tipo de DEWATS.

*Recibimos un programa del Ministerio de Obras Públicas y Vivienda para construir el DEWATS. Nos dieron el manual y el diseño de la tecnología que habían elegido. Socializamos la tecnología a la comunidad y ellos perciben que DEWATS es una tecnología bastante simple y no necesita un área grande, por lo tanto, adecuada para implementar aquí.*

SECCIÓN INTERINA JEFE DE SANEAMIENTO Y AGUA LIMPIA DE LA OFICINA DE OBRAS PÚBLICAS DE LA CIUDAD



Abbulo Sibatang DEWATS

## Descripción del sistema

El Abbulo Sibatang DEWATS es un sistema de tratamiento anaeróbico pasivo modular diseñado para tratar las aguas residuales domésticas, incluidas las aguas grises y negras. Las aguas residuales provienen de aproximadamente 50 hogares y se entregan a DEWATS a través de tuberías subterráneas.

El proceso de tratamiento consta de cuatro pasos principales que comienzan con la sedimentación en un tanque séptico, etiquetado como Zona Pengendapan (zona de sedimentación; paso uno) en la *Figura 1*. El paso dos involucra la digestión anaeróbica en reactores anaeróbicos con deflectores, donde la remoción de sólidos orgánicos fácilmente degradables es logrado al forzar el flujo de las aguas residuales a través de una serie de cámaras separadas por deflectores. Los deflectores proporcionan resistencia al flujo, aumentando así el tiempo de contacto entre las aguas residuales y la biomasa activa (lodos). El tercer paso implica la descomposición anaeróbica y la filtración a través de filtros anaeróbicos, lo que desaloja los sólidos degradables que son más difíciles de eliminar. Estas cámaras están llenas de biobolas: bolas de plástico cuyas formas irregulares crean un mayor contacto superficial entre los contaminantes orgánicos y los organismos en el lodo activo, lo que resulta en una digestión orgánica. La función principal de las biobolas no es la filtración, sino la de proporcionar el máximo contacto con la superficie. Debido a que las biobolas se empaquetan dentro de la cámara (como un filtro de lecho fijo), brindan resistencia adicional a las partículas que contienen materia orgánica y, por lo tanto, también cumplen una función de filtración. El cuarto paso del tratamiento implica la sedimentación y la filtración posteriores. Aquí, se produce la eliminación de sólidos digeridos y masa de bacterias activas. Algunos DEWATS en Makassar usan filtros de grava horizontal para este proceso.

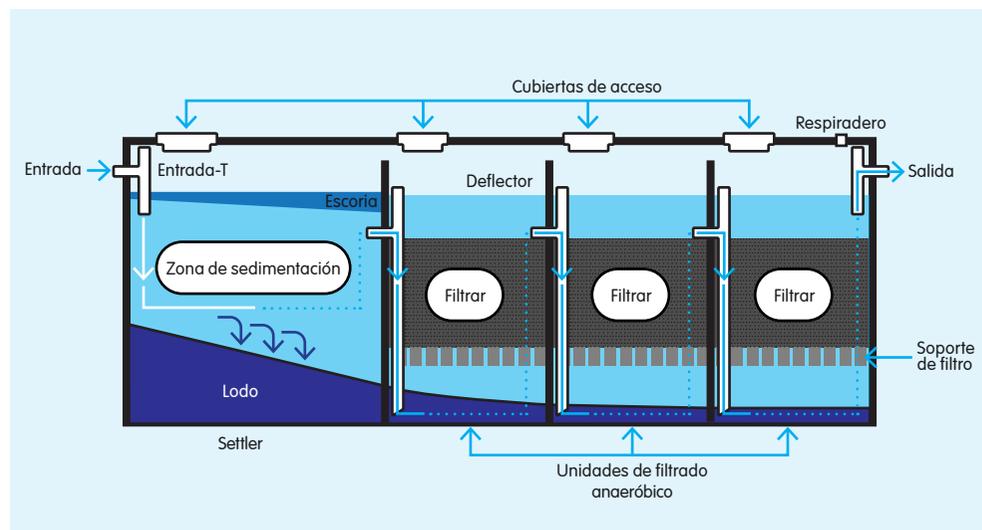


Instalación de la tecnología DEWATS



Comparación de la cubierta de hormigón y de hierro ligero para la cubierta de la cámara de inspección

Figura 1. Diagrama de flujo del tratamiento estándar DEWATS,<sup>1</sup> adaptado por SNV



<sup>1</sup> E. Tilley, L. Ulrich, C. Lüthi, Ph. Reymond, R. Schertenleib and C. Zurbrügg, *Compendium of sanitation systems and technologies*, 2nd revised edition, Dübendorf, eawag, 2014, p. 78.

La eliminación de los lodos y efluentes tratados es el paso final del sistema de tratamiento. Las aguas residuales tratadas pasan a la cámara de filtración, desde donde se bombean a través de la salida al drenaje principal de la ciudad. Estos canales abiertos, que no separan el alcantarillado y las aguas pluviales, fluyen hacia un río cercano corriente abajo. El lodo generado por DEWATS es retirado y pagado por UPTD cada tres meses y eliminado en el FSTP de Makassar. Parte del efluente tratado de Abbulo Sibatang DEWATS se almacena en tanques de almacenamiento locales y se reutiliza para regar las plantas del vecindario. Sin embargo, esto se hace sin filtración o desinfección adicional. Las cámaras/pozos de inspección a lo largo del recorrido de los sistemas de tratamiento permiten el acceso para realizar la siembra de bacterias, las reparaciones, la limpieza y la inspección de los DEWATS subterráneos.

Tabla 1. Abbulo Sibatang DEWATS

Abbulo Sibatang DEWATS	
Capacidad de diseño	20 m <sup>3</sup> /día de las aguas grises y negras.
Capacidad operativa	9 m <sup>3</sup> /día de las aguas grises y negras.
Costos de operación	US\$ 2,090 al año (estimado en un 5% de los gastos de capital).

Tabla 2. Calidad del efluente para el DEWATS de Abbulo Sibatang en 2019 en comparación con la norma de calidad

Parámetro	Calidad de los efluentes	Estándar (No. 68/2016) <sup>2</sup>
pH	7.3 pH	6-9 pH
Sólidos suspendidos totales, TSS	24 mg/L	30 mg/L
Ammonia	2.0 mg/L	10 mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	48 mg/L	30 mg/L
Demanda química de oxígeno, DQO	148 mg/L	100 mg/L
Grasa y aceite (mg/L)	<0.9 mg/L	5 mg/L
Coliformes totales (NMP/100 ml de muestra)	>160	3,000

<sup>2</sup> Regulation of Ministry of Environment and Forestry of the Government of Indonesia (2016) Permen LHK No. 68/2016.

## Entorno regulatorio y cumplimiento

La UPTD asegura que la calidad de los efluentes se controle periódicamente, siguiendo la Norma Nacional de Efluentes del Ministerio de Medio Ambiente y Silvicultura (PermenLHK No. 68, año 2016). Debido a la cantidad significativa de DEWATS en Makassar y las limitaciones presupuestarias, se realizan controles de calidad de efluentes para aproximadamente 60 de los 147 DEWATS en un año, lo que resulta en que cada DEWAT se revise aproximadamente cada dos años. La *Tabla 2* muestra la calidad del efluente para Abbulo Sibatang DEWATS en 2019.

Generalmente, la entrada de residuos es bastante homogénea ya que proviene de hogares domésticos. Sin embargo, ha habido casos de industrias domésticas que drenan sus aguas residuales contaminadas en DEWATS, lo que da como resultado la ruptura del proceso de tratamiento. Ante esta situación, la UPTD solicita a estos hogares que no drene sus aguas residuales industriales o comerciales al DEWATS o se corte la conexión domiciliaria. UPTD no lleva a cabo controles de calidad del influente en cuanto al tipo y la calidad de las aguas residuales de los hogares (principalmente cocina, baño y retrete). Además, UPTD considera que los controles de calidad de los efluentes son más cruciales, y el presupuesto limitado de UPTD significa que no es posible realizar controles de calidad tanto de los efluentes como de los afluentes.

*La entrada de residuos al DEWATS es casi constante ya que proviene de los hogares domésticos. Pero a veces hay una industria doméstica que descarga sus aguas residuales a los DEWATS, lo que hace que los DEWATS no funcionen correctamente. Podemos decirlo por el olor desagradable que proviene del efluente de DEWATS.*

**JEFE DE LA UPTD, UPTD DE AGUAS RESIDUALES DE MAKASSAR**

## Operación y mantenimiento: realidades y desafíos

### Realidades de operación y mantenimiento

#### *Mecanismo de financiación*

Los pagos del hogar y el presupuesto de saneamiento asignado por la ciudad local se utilizan para operar y mantener el DEWATS. Los costos operativos y las reparaciones menores están cubiertos por los pagos mensuales del hogar de US \$1 por hogar, con el cobro y los desembolsos de los pagos administrados por el tesorero del comité comunitario. La cantidad exacta cobrada se basa en el acuerdo de todos los hogares. Ejemplos de costos operativos continuos incluyen facturas mensuales de electricidad, incentivos para técnicos temporales y limpieza periódica. Las reparaciones menores cubren el reemplazo de pozos de registro o la reparación de tuberías rotas. UPTD es responsable de reparaciones importantes, como reemplazar cualquier infraestructura dañada o limpiar tuberías obstruidas, con fondos provenientes del 2% del presupuesto de la ciudad de Makassar que está reservado para saneamiento.

#### *Responsabilidades del grupo de beneficiarios comunitarios y apoyo UPTD*

Cada ubicación de DEWATS tiene un grupo de gestión comunitaria con un comité de trabajo que cuenta con el apoyo de UPTD para garantizar la construcción y operación y mantenimiento continuos de DEWATS. Cada comité de gestión comunitaria está compuesto por un jefe, un secretario, un tesorero, un técnico y un activista (para socializar las actividades relacionadas con DEWATS con el grupo beneficiario). Al construir el DEWATS, los grupos comunitarios proporcionan la mano de obra, mientras que el gobierno proporciona todos los materiales, técnicos expertos y trabajadores de la construcción adicionales. Mientras que los grupos comunitarios proporcionan la mano de obra, cada comunidad decide si se realiza el pago o no. En el caso de Abbulo Sibatang, la mano de obra se pagó con las tarifas cobradas.

Para la O&M continua de DEWATS, el técnico comunitario es capacitado por UPTD. La UPTD recibe apoyo de IUWASH PLUS, un proyecto de desarrollo de saneamiento financiado por USAID, para desarrollar los módulos de capacitación. La capacitación cubre los Procedimientos Operativos Estándar (SOP) de DEWATS, las medidas de Seguridad y Salud Ocupacional (OHS) requeridas y la sensibilización sobre la necesidad de mantener la red de tuberías y las bocas de inspección DEWATS libres de basura, grasa y aceite. Las medidas de OHS incluyen el consejo de que se debe usar ropa de protección personal, como chalecos de seguridad, guantes, cascos duros, botas duras y máscaras. Sin embargo, en realidad, el técnico y los trabajadores del grupo comunitario no siguen este consejo, quizás debido a la incomodidad debido a las condiciones climáticas calurosas.



Entrada del DEWATS



Grifo DEWATS para agua reutilizada en Abbulo Sibatang

La UPTD recibe periódicamente formación en desarrollo de capacidades del Ministerio de Obras Públicas y Vivienda y del equipo de expertos de IUWASH PLUS. Esta capacitación incluye visitas comparativas a otras instalaciones y programas de aguas residuales. La formación que recibe la UPTD se transmite a los grupos comunitarios.

La UPTD también lleva a cabo el monitoreo y la evaluación bimensuales de los DEWATS, con actividades clave que incluyen el monitoreo del estado de la boca de inspección, la cámara de inspección y la calidad física de la entrada y salida de aguas residuales (color, turbidez, olor, etc.).

*La UPTD brinda capacitación al grupo de beneficiarios de la comunidad una vez al año, a todos los grupos en Makassar. La capacitación anima al grupo a mantener los DEWATS al no tirar basura a la boca de alcantarilla ni a tirar la grasa y el aceite al fregadero que conduce a los DEWATS. Les aconsejamos que coloquen una trampa de grasa en la cámara de inspección.*

**JEFE DE LA UPTD, UPTD DE AGUAS RESIDUALES DE MAKASSAR**

## Desafíos de operación y mantenimiento

### *Retos y objeciones del proceso de construcción*

Las reservas de la comunidad sobre la instalación de un DEWATS en su vecindario provocaron retrasos en la construcción y la subutilización del DEWATS de Abbulo Sibatang. A mitad de camino de la construcción, los miembros del grupo comunitario que inicialmente habían apoyado la conexión DEWATS decidieron no hacerlo. Este es un problema común que se enfrenta en la construcción de DEWATS, ya que muchos miembros de la comunidad temen que los DEWATS impidan sus caminos de acceso y que sus casas se dañen. Como tal, Abbulo Sibatang DEWATS solo está operando al 45% de su capacidad de diseño prevista debido al número significativo de hogares que se retiraron después de que la construcción había comenzado.

### *Blockages and contaminated systems*

Los pozos de inspección, tuberías y pantallas obstruidos son algunos de los principales desafíos de mantenimiento que enfrentan los DEWATS de Abbulo Sibatang. La obstrucción de las alcantarillas es un problema menor que muchos de los grupos comunitarios pueden solucionar por sí mismos. Cuando carecen de las habilidades técnicas necesarias, solicitan apoyo a la UPTD. Por lo general, los grupos comunitarios también pueden dar los primeros pasos para intentar limpiar las tuberías obstruidas. Cuando esto no funciona, se requiere el apoyo del personal de UPTD para operar equipos más sofisticados. Las tuberías obstruidas también suelen estar relacionadas con las pantallas de barras de hierro que se corroen y rompen, lo que luego permite que los desechos sólidos fluyan hacia el sistema.

*A veces, los grupos comunitarios solicitan a la UPTD que apoye el mantenimiento de tuberías obstruidas, lo que nos obliga a utilizar equipo pesado. A menudo enfrentamos dificultades para acceder al DEWATS informado cuando está ubicado en un callejón estrecho.*

#### **PERSONAL DE UPTD**

Otro problema clave que puede contaminar el sistema es la rotura de las conexiones de tuberías al DEWATS. En varios casos, los hogares que ya no querían estar conectados al DEWATS debido a obstrucciones y percepciones de malos olores, decidieron cortar las tuberías que conectan su hogar al sistema de alcantarillado. Lo hicieron sin informar al grupo comunitario ni a la UPTD. Esto llevó a que los DEWATS se contaminen con desechos de drenaje de la ciudad, ya que las tuberías de entrada quedaron expuestas, lo que provocó una interrupción en el proceso de tratamiento de DEWATS.



Equipo de protección personal que usan los trabajadores de UPTD cuando realizan visitas de campo



### *DEWATS vs. Tanques sépticos domésticos*

En algunos casos, los operadores sintieron que los tanques sépticos domésticos eran una solución de saneamiento más eficaz en Makassar que DEWATS. Debido al entorno urbano densamente poblado de Makassar, es un desafío encontrar suficiente área de tierra para construir DEWATS. En muchos casos, los DEWATS se construyen bajo tierra (a menudo debajo de la carretera) para responder a este desafío. Sin embargo, este tipo de construcción es difícil ya que hay muchos otros servicios públicos subterráneos, que deben dejarse intactos. Además, si la restauración de la carretera después de la construcción de DEWATS es considerada insatisfactoria por la comunidad local, esto conduce a una protesta pública con los hogares que a veces cortan su conexión a DEWATS o se niegan a conectarse al sistema debido a una falla en la comunicación y confianza. En tales casos, algunos operadores han pensado que hasta que se puedan implementar sistemas de alcantarillado a escala de ciudad, los tanques sépticos individuales podrían ser una solución provisional más rentable que un DEWATS.

## Consideraciones de elección informada

### Abbulo Sibatang DEWATS, Indonesia (UPTD)

	<b>Capacidad operativa y de diseño</b>	Capacidad de diseño = 2500 m <sup>3</sup> /día de aguas grises y aguas negras. Capacidad operativa = 250-500 m <sup>3</sup> /día de aguas grises y aguas negras.
	<b>Costos e ingresos</b>	Gastos de capital, CAPEX = US \$ 41,870. Gastos operativos, OPEX = US \$ 2,090.
	<b>Requerimientos energéticos</b>	Sistema pasivo (con un consumo mínimo o nulo de energía) que utiliza la gravedad para que las aguas residuales fluyan a través del sistema; algunos DEWATS requieren una bomba si no pueden usar la gravedad y necesitan bombear algunas aguas residuales a través del sistema.
	<b>Características de salida</b>	Calidad del líquido efluente (límite de efluente según la norma de cumplimiento ambiental PermenLHK No. 68 año 2016): pH = 7.3 (6-9); TSS 24 mg/L (30 mg/L); DBO 48,32 mg/L (30 mg/L); COD 148,06 mg/L (100 mg/L); Coliformes totales > 160 MPN/100ml (3000 MPN/100ml).
	<b>Requisito de tierra</b>	El área de terreno era una limitación, por lo que eligieron la tecnología DEWATS, que se puede construir bajo tierra, con un área de terreno sobre el suelo total para 50 hogares: aproximadamente 21 m <sup>2</sup> .
	<b>Reutilizar</b>	Reutilización mínima de agua tratada sólo para fines de jardinería de instalaciones.
	<b>Requisitos de habilidades y recursos humanos</b>	Cada O&M diario de DEWATS está asegurado por el grupo de gestión de la comunidad (un total de 15 personas, incluido el jefe, secretario, tesorero y técnico) y O&M más extenso, así como el monitoreo de DEWATS, proporcionado por UPTD (10 empleados).
	<b>Disponibilidad local de tecnología / material</b>	Todos los equipos y materiales disponibles localmente (en la ciudad de Makassar o dentro de Indonesia).

## Referencias

*Regulation of Ministry of Environment and Forestry of the Government of Indonesia* (2016) Permen LHK No. 68/2016.

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph., Schertenleib, R. and Zurbrügg, C., *Compendium of sanitation systems and technologies, 2<sup>nd</sup> revised edition*, Dübendorf, eawag, 2014.



**Sobre la foto de portada:** La planta de tratamiento de lodos fecales de la corporación de la ciudad de Khulna, en Bangladesh, es uno de los mayores humedales construidos en funcionamiento en la actualidad. La planta se asienta en un vertedero pasivo con contenidos sueltos y esponjosos. Para transformar esta zona de tierra, se introdujeron terraplenes con tierra compactada y se colocaron geotextiles y láminas de HDPE sobre toda la superficie superior para retener el asentamiento de las lagunas y crear resistencia contra el fallo de los taludes. (Foto: Rajeev Munankami/SNV).