

# Manejo de Lodos Fecales

Editores

Linda Strande

Mariska Ronteltap

Damir Brdjanovic

Un enfoque sistémico  
para su implementación  
y operación





## **Manejo de Lodos Fecales:**

**Un enfoque sistémico para su implementación y  
operación**



# **Manejo de Lodos Fecales**

**Un enfoque sistémico para su  
implementación y operación**

**Editores:**

**Linda Strande**

**Mariska Ronteltap**

**Damir Brdjanovic**

Traducción al español del libro:  
*Faecal Sludge Management: systems approach for implementation and operation*

Publicado por: IWA Publishing  
Alliance House  
12 Caxton Street  
Londres SW1H 0QS, UK  
Tel.: +44 (0)20 7654 5500  
Fax: +44 (0)20 654 5555  
Email: [publications@iwap.co.uk](mailto:publications@iwap.co.uk)  
Web: [www.iwapublishing.com](http://www.iwapublishing.com)

Primera edición 2014  
© 2014 IWA Publishing

Aparte de un manejo justo con fines de investigación o estudio particular, permitido bajo la *Ley sobre Derechos de Autores, Diseños y Patentes* del Reino Unido (Copyright, Designs and Patents Act, 1998), ninguna parte de esta publicación podrá reproducirse, almacenarse ni transmitirse en ninguna forma ni de medio alguno, sin el previo permiso por escrito de la editorial o, en caso de la reproducción fotográfica, de conformidad con los términos de las licencias emitidas por la Copyright Licensing Agency del Reino Unido, o de conformidad con los términos de las licencias emitidas por la organización apropiada a cargo de los derechos de la reproducción fuera del Reino Unido.

Las consultas sobre la reproducción fuera de los términos aquí estipulados deben dirigirse a IWA Publishing en la dirección arriba indicada. La editorial no tiene ninguna representación, expresa ni implícita, con relación a la exactitud de la información contenida en este libro y no podrá aceptar ninguna responsabilidad jurídica por algún error u omisión que tenga.

#### **Exclusión de responsabilidad**

La información presentada y las opiniones contenidas en esta publicación no son necesariamente las de IWA y no se debe actuar basándose en ellas sin asesoramiento profesional independiente. IWA y los Autores no aceptarán ninguna responsabilidad de ninguna pérdida ni perjuicio que afectare a la persona que actúe o deje de actuar con base en algún material contenido en esta publicación.

British Library Cataloguing in Publication Data  
A CIP catalogue record for this book is available from the British Library

Library of Congress Cataloging- in-Publication Data  
A catalog record for this book is available from the Library of Congress

Diseño de la portada de la versión en inglés: Peter Stroo  
Diseño gráfico de la versión en inglés: Hans Emeis  
Traducción del inglés al español: Christopher Canaday  
Diseño gráfico en español: Giovanni Buitrago y Christopher Canaday

ISBN: 9781780408019 (Hardback)  
ISBN: 9781780408026 (eBook)

# Nota del traductor:

A pesar de que en el idioma español se expresan tradicionalmente casi todos los sustantivos grupales en términos masculinos, invisibilizando lingüísticamente a las mujeres, se ha decidido mantener la redacción convencional, a fin de facilitar la lectura. De este modo, se evita la incomodidad y complejidad de decir cada vez, “los vaciadores privados y las vaciadoras privadas”, “los administradores y las administradoras”, “los/las choferes”, “el/la facilitador/a”, etc. Sin embargo, de ninguna manera se quiere indicar que únicamente los hombres debemos producir, recolectar, transportar, tratar, utilizar o planificar los lodos fecales. Las mujeres también tienen todo el derecho y apoyo enérgicamente la equidad de género.

En muchos casos, se han mantenido las siglas del inglés de parámetros químicos, organizaciones y otros términos, con el fin de facilitar la búsqueda de mayores informaciones sobre estos temas y no crear una confusión de abreviaciones, dado que muchos de los lectores probablemente conocen estas del inglés.

El libro es muy extenso y recomiendo leer primero el Capítulo 1, como presentación general del tema, pasar a los capítulos que más le interesan y luego seguir las referencias a otros capítulos. También, es conveniente aprovechar la facilidad de realizar búsquedas electrónicas en la versión digital del libro. Asimismo, se puede buscar las palabras más difíciles para entenderlas mejor en los diferentes contextos del mismo libro.

Se agradece sobremanera la ayuda de las siguientes personas en la revisión de los textos: Germán Franco, Carla Pautasso y Juan Traverso de Argentina; Carlos Andrés Díaz de Colombia; Maritza Marín, Sofía Murillo (quien revisó más de la tercera parte del libro) y Macario Pino de Costa Rica; Marielisa Alarcón, David Duque, Verónica Machado, Shirley Mora, Pablo Paredes y María Ilusión Solis de Ecuador; Gemma Rosas (de Cataluña), Imanol Zabaleta (del País Vasco) y Berta Moya (de Granada) de España; Samuel DuBois de los EE.UU; y una filóloga anónima quien revisó el uso del idioma en todo el libro. Samuel también hizo la traducción inicial de Capítulo 11 y gran parte de Capítulo 1. Asimismo, agradezco mucho a los autores y editores del libro por aclarar detalles del contenido.

Mi afán es transmitir la información de este libro al público hispanohablante de la manera más directa, amena y comprensible, para que cualquier persona que se interesa en el tema pueda comprenderla, sea un ingeniero, un empleado municipal, un operador de un camión aspirador o un vaciador manual de letrinas. Al poner esta información en sus manos y en la práctica, se espera contribuir a la salud de la población, la limpieza del ambiente, la producción agrícola, la conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad económica en España y América Latina, tomando en cuenta que muchos brasileños pueden leer español.

Christopher Canaday (canaday2@gmail.com, inodoroseco.blogspot.com), Ecuador

---

<sup>1</sup> <http://www.rae.es/consultas/los-ciudadanos-y-las-ciudadanas-los-ninos-y-las-ninas>

# Presentación PNUD

En 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la Agenda 2030, que contiene los Objetivos de Desarrollo Sostenible que deberán guiar los esfuerzos globales de desarrollo para los próximos 15 años. El sexto objetivo busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Con este objetivo, el planeta se compromete -entre otras metas- a lograr acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres, las niñas y las personas en situaciones vulnerables para el año 2030.

Esta ambiciosa meta solo se podrá lograr si en la región adoptamos políticas y tecnologías viables para nuestra realidad económica, política y cultural. Durante muchos años, se consideraba que la única opción viable para el saneamiento de aguas negras era la construcción de costosos sistemas de alcantarillados conectados a estaciones modernas de tratamiento. Sin embargo, esta opción no consideraba el hecho de que un gran número de viviendas en América Latina no están conectadas a un sistema de alcantarillado, sino que disponen de letrinas o tanques sépticos, donde se acumulan los lodos fecales. Se ignoraba también que la realidad económica de la región impedía hacer esas inversiones en muchos de los centros de población.

Por estas razones, para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo es un verdadero placer poder contribuir con la traducción al español de la publicación: “Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation” en el marco de su compromiso con el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Dicho esfuerzo ha sido producto de la colaboración entre la Oficina de PNUD en Costa Rica, y el Programa de Gobernanza de Agua y los Océanos de PNUD, a través de su Centro de Gobernanza del Agua en el Instituto Internacional del Agua de Estocolmo, que lleva trabajando más de una década en el apoyo a aspectos esenciales de la gobernanza de agua y saneamiento.

Este libro, traducido como “Manejo de Lodos Fecales: Un enfoque sistémico para su implementación y operación” presenta los insumos más actualizados sobre cómo cuantificar y caracterizar el tratamiento de lodos fecales; los métodos y mecanismos de tratamiento, recolección y transporte de los mismos, así como los procesos para definir marcos institucionales eficaces y modelos financieros para el manejo de lodos fecales, que estimulen su gestión como una actividad que genera recursos económicos y ayuda a combatir la pobreza. Esperamos que sea de mucha utilidad para técnicos, tomadores de decisión a nivel nacional y municipal, y público en general interesado.

Marianne Kjellén  
Directora  
Centro de Gobernanza del Agua de PNUD en el  
Instituto Internacional del Agua de Estocolmo

Andrew Hudson  
Jefe, Programa de Agua y Gobernanza del Océano  
Bureau de Apoyo a Políticas y Programas  
PNUD

Kryssia Brade  
Representante Residente Auxiliar/ Oficial a Cargo  
PNUD-Costa Rica

# Acerca de los editores

## Linda Strande

La Dra. Linda Strande dirige el Grupo de Manejo de Excremento y Aguas Servidas del Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Hídricas (EAWAG), dentro del Departamento de Agua y Saneamiento para los Países en Desarrollo (SANDEC). La investigación de la Dra. Strande procura aumentar el conocimiento científico para desarrollar tecnologías sostenibles para el manejo urbano de los lodos fecales. En la ingeniería y la investigación para el desarrollo, ella siempre promueve que la investigación básica se materialice en la vida real. Para lograrlo, ella aplica un enfoque sistémico para el manejo de lodos fecales, incluyendo su tecnología, manejo y planificación, integrando todos los aspectos en sistemas completos y funcionales. La investigación del grupo de la Dra. Strande se concentra, actualmente, en optimizar las tecnologías de tratamiento, innovar en la recuperación de recursos y desarrollar métodos para ejecutar sistemas sostenibles. La Dra. Strande ha trabajado en el sector ambiental por más de 15 años y tiene títulos interdisciplinarios en ingeniería, edafología y matemáticas. Por su preparación académica y experiencia internacional en muchos países, tiene una perspectiva global y la capacidad de investigar y aplicar los fundamentos de la ingeniería ambiental en situaciones complejas e interdisciplinarias.



## Mariska Ronteltap

La Dra. Mariska Ronteltap es catedrática de Educación Hídrica, con 12 años de experiencia en este campo. Tiene una maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Wageningen y un PhD del Instituto Federal Suizo de Tecnología en Zurich (ETH) con EAWAG. Su investigación doctoral analizó la separación de la orina, como un enfoque novedoso dentro de las tecnologías para tratar aguas servidas, integrando análisis químicos y un modelado termodinámico. Su conocimiento práctico sobre la precipitación de estruvita ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) de la orina se ha aplicado en varios proyectos piloto en países de bajos ingresos, como también en Holanda. Los principales temas de la investigación de la Dra. Ronteltap incluyen la recuperación de nutrientes y energía, la conservación y reutilización del agua y el saneamiento ecológico y sostenible. Ella está asesorando en varios proyectos de maestría y PhD sobre estos temas. Contribuye al conocimiento global sobre estos temas a través de conexiones con organizaciones internacionales y en Internet. También coordina varios cursos cortos y en Internet, por medio del Instituto de Educación Hídrica (UNESCO-IHE), incluyendo los de Manejo de Lodos Fecales.



## **Damir Brdjanovic**

El profesor Damir Brdjanovic es el director del Departamento de Ingeniería Ambiental y Tecnología del Agua del Instituto UNESCO-IHE. La misión profesional del profesor Brdjanovic es contribuir al equilibrio entre el desarrollo de conocimiento, la investigación y la capacitación en el campo del saneamiento urbano, con una clara perspectiva sobre las necesidades de los países de bajos y medianos ingresos. La visión unificadora de su investigación es el manejo integrado del ciclo urbano del agua, incluyendo la dotación de saneamiento a las personas de bajos recursos que viven en las ciudades, el saneamiento descentralizado, los alcantarillados urbanos, la recolección, el tratamiento y la reutilización de aguas servidas y el manejo de residuos. Aplica soluciones tanto centralizadas como descentralizadas, avanzadas como económicas y de ingeniería como naturales. Su grupo también investiga el saneamiento en emergencias, el saneamiento orientado hacia la recuperación de recursos, el manejo de lodos fecales, el tratamiento anaeróbico, los bioreactores con membranas y el manejo de los bienes de la infraestructura. Su investigación se lleva a cabo en el laboratorio, en proyectos piloto y a escala de campo, como también con modelos matemáticos, apoyo a las decisiones y optimización de procesos en aplicaciones municipales e industriales. Actualmente, dirige un gran proyecto de investigación y educación sobre el saneamiento para personas de bajos ingresos, financiado por la Fundación Bill y Melinda Gates.



# Los autores por orden alfabético

Magalie Bassan, EAWAG – Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Hídricas, Suiza	  
Damir Brdjanovic, UNESCO-IHE – Instituto de Educación Hídrica, Países Bajos	  
Bipin Dangol, ENPHO – Organización de Salud Pública y Ambiente, Nepal	  
Pierre-Henri Dodane, Consultor independiente, Francia	  
Christine Maria Hooijmans, UNESCO-IHE – Instituto de Educación Hídrica, Países Bajos	  
Carlos Manuel López-Vázquez, UNESCO-IHE – Instituto de Educación Hídrica, Países Bajos	  
Mbaye Mbeguere, ONAS – Oficina Nacional de Saneamiento del Senegal, Senegal	  
Georges Mikhael, WSUP – Agua y Saneamiento para las Personas Urbanas Pobres, Reino Unido	  
Berta Moya Díaz-Aguado, Consultora independiente, España	  
Charles Buregeya Niwagaba, Universidad Makerere, Uganda	  
Ives Magloire Kengne, Universidad de Yaounde I, Camerún	  
James Edward Ramsay, Consultor independiente, Reino Unido	  
Philippe Reymond, EAWAG – Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Hídricas, Suiza	  
David M. Robbins, Consultor independiente, EE.UU.	  
Mariska Ronteltap, UNESCO-IHE – Instituto de Educación Hídrica, Países Bajos	  
Linda Strande, EAWAG – Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Hídricas, Suiza	  
Elizabeth Tilley, ETH – Instituto Federal Suizo de Tecnología en Zurich, Suiza	  



# Prólogo

**Doulaye Kone**

Luego de décadas de promover el saneamiento en los países de bajos y medianos ingresos, varios países y la comunidad sanitaria mundial se han dado cuenta de que ya es hora de replantear el enfoque para acelerar el acceso a servicios sanitarios de buena calidad. Desde el año 2000, el Programa Conjunto de Monitoreo de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (OMS/UNICEF) ha reportado un creciente aumento del porcentaje de la población en los países de bajos y medianos recursos que utilizan letrinas de pozo, tanques sépticos y otros servicios ‘mejorados’ de saneamiento. Ahora, se estima que 2,1 a 2,6 mil millones de personas en los países de bajos y medianos ingresos dependen de tecnologías descentralizadas que producen toneladas de lodos fecales (LF) cada día. Cuando se llenan los tanques sépticos y las letrinas de pozo, los lodos acumulados son vertidos, generalmente sin tratamiento, a canales abiertos, campos agrícolas con riego, tierras baldías o los cuerpos de agua. La cantidad de LF descargados sin tratamiento al ambiente abierto representa un grave riesgo para la salud pública. Un camión tanquero de 5 m<sup>3</sup> de LF que se descarga en el ambiente produce un impacto equivalente a 5 mil personas que defecaran al aire libre. Esto se suma a la gran carga de heces ya excretadas al aire libre por las otras 1,1 mil millones de personas que todavía no tienen acceso a ningún tipo de inodoro. Las consecuencias de estos desechos en el ambiente son asombrosas. El Banco Mundial ha calculado que el saneamiento inadecuado genera gastos anuales de 260 mil millones de dólares en el mundo. El saneamiento inadecuado contribuye a los 1,5 millones de muertes infantiles por diarrea cada año. La diarrea crónica también puede atrasar el desarrollo de los niños, al impedir la absorción de los nutrientes esenciales para el desarrollo de su cerebro, cuerpo y sistema inmunológico. Además, puede reducir la absorción de las vacunas que podrían salvar sus vidas de otras enfermedades.

En los años 1980, con el liderazgo de Roland Scherteinleib y Martin Strauss, el Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología Hídricas (EAWAG) estableció el Departamento de Agua y Saneamiento para los Países en Desarrollo (SANDEC), con un enfoque de investigación y desarrollo orientado hacia el manejo de LF (MLF). Desde entonces, SANDEC ha sido pionero en la investigación, desarrollo, evaluación y comprobación de soluciones sanitarias, complementado con su fuerte programa de formulación y promoción de las políticas de salubridad. Al mismo tiempo, se han brindado los insumos e impulsos para una llamada de acción mundial sobre este tema.

Este libro es un impresionante recurso que reúne evidencia científica reciente y soluciones prácticas que han sido comprobadas a gran escala por profesionales en este campo. Compila lecciones tomadas de investigaciones científicas rigurosas y casos de estudio para formular enfoques operativos y soluciones para planificadores, ingenieros, científicos, estudiantes e investigadores. He coordinado personalmente una parte intensiva y muy emocionante de este trabajo, cuando trabajaba en SANDEC como oficial de programa y líder del equipo de MLF, que se convirtió posteriormente en el Grupo de Manejo de Excremento y Aguas Servidas. Este libro se basa en lecciones aprendidas en América Latina (Argentina), África (Benín, Burkina Faso, Camerún, Costa de Marfil, Ghana, Kenia, Mali, Nigeria, Senegal, Sudáfrica, Togo, Uganda) y Asia (Camboya, China, Filipinas, India, Indonesia, Malasia, Tailandia, Vietnam). Esta obra llena importantes vacíos en los

conocimientos sobre MLF, sin dejar de reconocer brechas persistentes e identificar innovaciones para investigaciones futuras. Es un valioso manual para todo profesional o académico de saneamiento. Está orientado hacia las soluciones y enfrenta los asuntos que abordan los responsables del MLF (p.ej., gerentes municipales, compañías de ingeniería, organizaciones de desarrollo).

Desde su inicio, el Programa de Agua, Saneamiento e Higiene (WSH, por sus siglas en inglés) de la Fundación Bill y Melinda Gates ha resaltado la importancia estratégica de mejorar el MLF en el mundo. Nos hemos relacionado con nuevos socios y hemos apoyado a organizaciones establecidas, como EAWAG/SANDEC y UNESCO-IHE, para proponer y promover soluciones catalizadoras que podrán mejorar las vidas de miles de millones de personas en los países de bajos y medianos ingresos, quienes carecen de servicios de MLF. Las tecnologías, herramientas para la planificación de proyectos y prácticas operativas de negocios compartidas en este libro, ayudarán a los actores en todo el mundo a construir cadenas de servicio que sean funcionales y viables, las que beneficiarán a las comunidades de escasos recursos. Las reflexiones claves sobre los potenciales y las limitaciones de las tecnologías, las operaciones de MLF, los negocios respectivos y el valor económico que se pueda recuperar del procesamiento de los LF ayudarán a transformar la prestación de servicios de saneamiento en cadenas de servicios más sostenibles y rentables. Ya que la comunidad mundial está muy pendiente actualmente de las soluciones por tomarse luego de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (a formularse en el 2015), este paradigma dará los insumos para nuevos modelos de conexiones entre los sectores público y privado, con el fin de promover servicios de saneamiento que sean factibles y de buena calidad, especialmente en las comunidades de escasos recursos, donde la gran mayoría todavía tienen inodoros que no están conectados a infraestructura alguna, ni a servicio público alguno.



Doulaye Kone, PhD  
Fundación Bill y Melinda Gates  
Seattle, marzo del 2014

# Agradecimientos

## Auspiciantes

Cooperación Suiza para el Desarrollo - SDC  
Fundación Bill y Melinda Gates - BMGF

## Colaboradores (por orden alfabético)

Benedict Borer  
Sally Brown  
Chris Buckley  
Grover Mamani-Casilla  
Kartik Chandran  
Manus Coffey  
Stefan Diener  
Moritz Gold  
John Harrison  
Halidou Koanda  
Doulaye Kone  
Neil Macleod  
Kate Medlicot  
Susan Mercer  
Martin Mulenga  
Josiane Nikiema  
Peter Penicka  
Selvi Pransiska  
Apurva Sahu  
Lars Schoebitz  
Alyse Schrecongost  
Dave Still  
Claire Taylor  
Lukas Ulrich  
Melanie Valencia  
Konstantina Velkushanova  
Chris Zurbrugg

## Revisores (por orden alfabético)

Isabel Blackett  
Olufunke Cofie  
George Ekama  
Guy Hutton  
Florian Klingel  
Thammarat Koottatep  
Christoph Luthi  
Jennifer McConville  
Ashley Murray Muspratt  
Kara Nelson  
Guy Norman  
Jonathan Parkinson  
David Robbins  
Pippa Scott  
Martin Strauss  
Steve Sugden  
Kevin Taylor  
Bjorn Vinneras



# Tabla de Contenidos

Acerca de los editores	VI
Los autores (por orden alfabético)	VIII
Prólogo	X
Agradecimientos	XII
<b>Capítulo 1</b>	<b>1</b>
La situación en el mundo	
Linda Strande	
1.1 Introducción	1
1.2 ¿Qué son los lodos fecales?	1
1.3 Su importancia mundial	1
1.4 El objetivo del libro	4
1.5 Diseño un manejo de lodos fecales pensando en el tratamiento y los usos finales	5
1.5.1 El enfoque sistémico	6
1.6 Bibliografía	13
<b>Capítulo 2</b>	<b>17</b>
Cuantificación, caracterización y objetivos de tratamiento de los lodos fecales	
Charles B. Niwagaba, Mbaye Mbéguéré y Linda Strande	
2.1 Introducción	17
2.2 Cuantificación de los lodos fecales	18
2.2.1 El método de producción de los lodos	18
2.2.2 El método de recolección de los lodos	20
2.3 Caracterización de los lodos fecales	21
2.4 Factores operativos que causan variabilidad en los lodos fecales	23
2.4.1 Maneras de usar el inodoro	23
2.4.2 Tiempo de almacenamiento	23
2.4.3 Infiltración del agua en el suelo e ingreso de aguas subterráneas	23
2.4.4 Influencia del método de recolección	24
2.4.5 Clima	25
2.5 Metas de tratamiento	25
2.6 Objetivos de tratamiento	25
2.6.1 Separación del agua	25
2.6.2 Reducción de patógenos	25
2.6.3 Extracción de los nutrientes	26
2.6.4 Estabilización	26
2.7 Preocupaciones sobre al tratamiento	27
2.8 Procedimientos y programas de muestreo	27
2.9 Componentes físico-químicos	30
2.9.1 Nutrientes	30
2.9.2 pH	32
2.9.3 Sólidos totales	32
2.9.4 Demanda bioquímica y química de oxígeno	33

2.9.5	Grasas y aceites	33
2.9.6	Arena	33
2.9.7	Basura	34
2.10	Patógenos presentes en los lodos fecales	35
2.10.1	Uso de organismos bioindicadores	37
2.10.2	Bacterias coliformes	37
2.11	Conclusión	39
2.12	Bibliografía	39
	Textos complementarios	42
<b>Capítulo 3</b>		<b>43</b>
Mecanismos de tratamiento		
<b>Magalie Bassan, Pierre-Henri Dodane y Linda Strande</b>		
3.1	Introducción	43
3.2	Mecanismos físicos	43
3.2.1	Separación por gravedad	44
3.2.2	Filtración	45
3.2.3	Evaporación y evapotranspiración	48
3.2.4	Centrifugación	50
3.2.5	Secado térmico	51
3.2.6	Tamizado grueso	51
3.3	Mecanismos biológicos	51
3.3.1	Metabolismo	53
3.3.2	Temperatura	53
3.3.3	Tipos de microorganismos	54
3.3.4	Tratamiento aeróbico	54
3.3.5	Compostaje	55
3.3.6	Tratamiento anaeróbico	56
3.3.7	Los ciclos de nitrógeno y fósforo	56
3.3.8	Reducción de patógenos	58
3.4	Mecanismos químicos	60
3.4.1	Estabilización alcalina	60
3.4.2	Tratamiento por amoníaco	61
3.4.3	Coagulación y floculación	61
3.4.4	Acondicionamiento químico	61
3.4.5	Desinfección del efluente	62
3.5	Bibliografía	62
<b>Capítulo 4</b>		<b>65</b>
Métodos y maneras de recolectar y transportar los lodos fecales		
<b>Georges Mikhael, David M. Robbins, James E. Ramsay y Mbaye Mbéguéré</b>		
4.1	Introducción	65
4.2	Tareas y responsabilidades	66
4.2.1	Interacción con los clientes	67
4.2.2	Ubicación del sistema a vaciar	69
4.2.3	Determinación de su accesibilidad	69
4.2.4	Herramientas del oficio	70
4.3	Características de los lodos fecales respecto a su recolección y transporte	71
4.4	Recolección manual	71
4.4.1	Inodoros con recipientes especiales para las heces	71
4.4.2	Sacar en baldes	72
4.5	Recolección mecánica manual	72
4.5.1	El "Tragón" de lodos (Gulper)	72
4.5.2	Bombas manuales de diafragma	73
4.5.3	El "Mordiscón" (Nibbler)	75
4.5.4	MAPET	75

4.5.5	Una comparación de estos equipos	75
4.6	Recolección motorizada	76
4.6.1	Bombas motorizadas de diafragma	76
4.6.2	Bombas trituradoras de desperdicios	77
4.6.3	El tornillo sinfín motorizado	77
4.6.4	El "comelón" ("gobbler")	78
4.6.5	Equipos aspiradores sobre camiones	78
4.6.6	Cómo prestar los servicios de aspiradores sobre camiones	81
4.6.7	Resumen de los sistemas motorizados	83
4.7	Transporte de los lodos fecales	84
4.7.1	Transporte manual	84
4.7.2	Transporte motorizado	85
4.7.3	Entrega de los lodos fecales a la estación de tratamiento o transferencia	85
4.8	Estaciones de transferencia	87
4.8.1	Introducción	87
4.8.2	Tipos de estaciones de transferencia	87
4.8.3	Ubicación de las estaciones de transferencia	88
4.9	Seguridad y salud ocupacional	91
4.9.1	Riesgos físicos	91
4.9.2	Riesgos químicos	91
4.9.3	Riesgos biológicos	91
4.9.4	Otros riesgos	91
4.9.5	Mitigación de riesgos	91
4.10	Conclusión	92
4.11	Bibliografía	92
	Textos complementarios	94
<b>Capítulo 5</b>		<b>95</b>
Panorama de las tecnologías de tratamiento		
<b>Mariska Ronteltap, Pierre-Henri Dodane y Magalie Bassan</b>		
5.1	Introducción	95
5.2	Resumen de las tecnologías de tratamiento	96
5.3	Tecnologías establecidas para el tratamiento de lodos fecales	98
5.3.1	Cocompostaje de lodos fecales	98
5.3.2	Cotratamiento en lagunas de estabilización	100
5.3.3	Entierro en zanjas profundas	101
5.4	Tecnologías transferidas para el tratamiento de lodos fecales	104
5.4.1	Digestión anaeróbica	104
5.4.2	Tanque Imhoff	105
5.4.3	Incineración de lodos	106
5.4.4	Tratamiento mecánico de los lodos	107
5.4.5	Adición de cal	108
5.5	Tecnologías innovadoras para tratamiento de lodos fecales	109
5.5.1	Compostaje con lombrices	109
5.5.2	La Mosca Soldada Negra ( <i>Hermetia illucens</i> )	110
5.5.3	Tratamiento con amoníaco	111
5.5.4	Secado y granulación con energía térmica	112
5.5.5	Secado solar	114
5.6	Selección de las tecnologías de tratamiento	115
5.7	Conclusiones	118
5.8	Bibliografía	118

<b>Capítulo 6</b>	<b>121</b>
Tanques de sedimentación y espesamiento	
<b>Pierre-Henri Dodane y Magalie Bassan</b>	
<b>6.1</b> Introducción	<b>121</b>
<b>6.2</b> Mecanismos fundamentales	<b>122</b>
6.2.1 Sedimentación	122
6.2.2 Espesamiento	124
6.2.3 Flotación	124
6.2.4 Digestión anaeróbica	124
6.2.5 Capas sólidas y líquidas	125
<b>6.3</b> Diseño de tanques de sedimentación y espesamiento	<b>125</b>
6.3.1 Pruebas de laboratorio y características de lodos fecales que influyen en el diseño	125
6.3.2 Superficie y longitud del tanque	126
6.3.3 Volumen del tanque	127
6.3.4 Configuración de la entrada y la salida	128
<b>6.4</b> Operación y mantenimiento de tanques de sedimentación y espesamiento	<b>129</b>
6.4.1 Extracción de los lodos y natas	129
6.4.2 Período de puesta en marcha y variaciones estacionales	131
<b>6.5</b> Rendimiento de los tanques de sedimentación y espesamiento	<b>131</b>
6.5.1 Separación de sólidos y líquidos	131
6.5.2 Rendimiento del tratamiento	133
<b>6.6</b> Ventajas y desventajas de los tanques de sedimentación y espesamiento	<b>134</b>
<b>6.7</b> Un ejemplo del diseño de un tanque de sedimentación y espesamiento	<b>134</b>
6.7.1 Situación inicial	134
6.7.2 Suposiciones y decisiones del diseño	134
6.7.3 Cálculos del diseño	134
6.7.4 Análisis de flujo de masa en el tratamiento de lodos fecales	136
<b>6.8</b> Bibliografía	<b>137</b>
<b>Capítulo 7</b>	<b>139</b>
Lechos de secado sin plantas	
<b>Pierre-Henri Dodane y Mariska Ronteltap</b>	
<b>7.1</b> Introducción	<b>139</b>
<b>7.2</b> Principio del tratamiento	<b>139</b>
<b>7.3</b> Parámetros del diseño de lechos de secado sin plantas	<b>140</b>
7.3.1 Factores climáticos	140
7.3.2 Tipos de lodos fecales	140
7.3.3 Tasa de carga de lodos	141
7.3.4 Grosor de la capa de lodos	141
7.3.5 Número de lechos	143
7.3.6 Resumen de los parámetros del diseño	143
<b>7.4</b> Construcción de una cama de secado sin plantas	<b>144</b>
7.4.1 Grava y arena	144
7.4.2 Extracción de los lodos secos	145
<b>7.5</b> Calidad de lodos secos y de lixiviados	<b>145</b>
<b>7.6</b> Ejemplos de diseño	<b>148</b>
7.6.1 Ejemplo 1: tiempo conocido de secado	148
7.6.2 Ejemplo 2: un diseño para lodos sedimentados bajo buenas condiciones climáticas	149

<b>7.7</b>	<b>Innovaciones y adaptaciones para lechos de secado</b>	<b>149</b>
7.7.1	Aplicación de energía solar en tuberías	149
7.7.2	Invernaderos	149
7.7.3	Alambres para guiar la pala	150
7.7.4	Secado con aditivos	150
<b>7.8</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>150</b>
<b>7.9</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>151</b>

## **Capítulo 8** **153**

Lechos de secado con plantas

**Ives Magloire Kengne y Elizabeth Tilley**

<b>8.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>153</b>
<b>8.2</b>	<b>Especies de plantas</b>	<b>155</b>
<b>8.3</b>	<b>Mecanismos de tratamiento</b>	<b>157</b>
8.3.1	Infiltración	157
8.3.2	Evapotranspiración	157
8.3.3	Estabilización y mineralización	158
8.3.4	Transferencia de oxígeno	158
<b>8.4</b>	<b>Indicadores de rendimiento</b>	<b>159</b>
8.4.1	Separación del agua	159
8.4.2	Retiro de nutrientes	160
8.4.3	Destino de los metales pesados	160
8.4.4	Reducción de patógenos	162
8.4.5	Otras consideraciones	162
<b>8.5</b>	<b>Diseño y construcción</b>	<b>163</b>
<b>8.6</b>	<b>Operación y mantenimiento</b>	<b>166</b>
8.6.1	Comisionado y puesta en marcha	166
8.6.2	Tasas de carga y acumulación de lodos	167
8.6.3	Frecuencia de carga y fases de reposo	168
8.6.4	Cosecha y rebrote de las plantas	168
8.6.5	Extracción de lodos secos	169
8.6.6	Lixiviados	169
8.6.7	Factores que influyen en el rendimiento	169
<b>8.7</b>	<b>Costos y beneficios</b>	<b>170</b>
<b>8.8</b>	<b>Ejercicio</b>	<b>171</b>
8.8.1	Pregunta	171
<b>8.9</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>171</b>
<b>8.10</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>172</b>

## **Capítulo 9** **175**

Co-tratamiento de lodos fecales en estaciones depuradoras de aguas residuales municipales

**Carlos M. López-Vázquez, Bipin Dangol, Christine M. Hooijmans y Damir Brdjanovic**

<b>9.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>175</b>
<b>9.2</b>	<b>Biodegradabilidad y fraccionamiento de lodos fecales</b>	<b>176</b>
9.2.1	Proporciones de caracterización	176
9.2.2	Biodegradabilidad y fraccionamiento	177
9.2.3	Dilución de los lodos fecales	179
<b>9.3</b>	<b>Co-tratamiento en sistemas de lodos activados</b>	<b>180</b>
9.3.1	Efectos sobre la eficiencia de limpieza y la calidad del efluente	180
9.3.2	Efectos sobre la demanda de oxígeno	183
9.3.3	Impacto sobre la generación de lodos	183
9.3.4	Impacto sobre la necesidad de aeración	183
9.3.5	Efectos sobre los tanques secundarios de sedimentación	186

9.3.6	Efectos de la inclusión irregular de lodos fecales	186
9.4	Consideraciones prácticas para el cotratamiento de lodos fecales en sistemas de lodos activados	187
9.5	Co-tratamiento anaeróbico de lodos fecales	188
9.5.1	Sobrecarga de DQO	190
9.5.2	Inhibición por amoníaco	192
9.5.3	Variaciones en el pH	193
9.5.4	Inhibición por ácido sulfhídrico	193
9.6	Consideraciones prácticas para el cotratamiento de lodos fecales en sistemas anaeróbicos	194
9.7	Conclusiones	196
9.8	Bibliografía	196

## Capítulo 10

201

Uso Final de los Productos de Tratamiento

Ives Kengne, Berta Moya Diaz-Aguado y Linda Strande

10.1	Introducción	201
10.2	Opciones para la recuperación de recursos	202
10.3	Preocupaciones generales	202
10.3.1	Patógenos	202
10.3.2	Metales pesados	203
10.3.3	Factores sociales	204
10.4	Uso de lodos fecales como enmienda del suelo	204
10.4.1	Contenido nutritivo	205
10.4.2	Lodos fecales sin tratamiento	205
10.4.3	Lodos fecales tratados aplicados en la tierra	207
10.5	Uso de los productos líquidos	208
10.5.1	Riego con lodos fecales líquidos sin tratamiento	209
10.5.2	Uso o disposición final del efluente tratado	209
10.6	Otras maneras de recuperar recursos	211
10.6.1	Proteína	212
10.6.2	Forraje animal y otras plantas	212
10.6.3	Peces y plantas acuáticas	214
10.6.4	Materiales de construcción	214
10.6.5	Biocombustibles	214
10.7	¿Qué hacer con lo que queda en los tamices?	219
10.13	Bibliografía	220

## Capítulo 11

227

Operación, mantenimiento y monitoreo de una estación de tratamiento de lodos fecales

Magalie Bassan y David M. Robbins

11.1	Introducción	227
11.2	Integración de OyM en el proceso de planificación de la estación	229
11.2.1	Ubicación de la estación	229
11.2.2	Volúmenes y horarios de entrega de lodos fecales	292
11.2.3	Disponibilidad de recursos locales	230
11.2.4	Grado de mecanización	231
11.2.5	Uso o disposición final de los productos de tratamiento	231
11.3	Recepción de lodos fecales en la estación	231
11.3.1	Control de tráfico	231
11.3.2	Aprobación de lodos fecales para su recepción	232

11.4	Planes de OyM	233
11.4.1	Procedimientos operativos	233
11.4.2	Procedimientos de mantenimiento	234
11.5	Gestión de bienes	234
11.6	Monitoreo	235
11.6.1	Monitoreo de parámetros microbiológicos y físico-químicos	236
11.6.2	Manual de análisis	237
11.7	Registros a mantener	238
11.7.1	Diario de registro de los operadores	239
11.7.2	Informes de monitoreo de recepción de lodos	239
11.7.3	Hojas de registro de cada unidad de tratamiento	239
11.7.4	Interpretación y comunicación de los datos técnicos	240
11.8	Seguridad en la estación	240
11.8.1	Salud y seguridad	240
11.8.2	Equipos de protección personal	241
11.8.3	Prevención de infecciones	242
11.8.4	Procedimientos para emergencias	242
11.8.5	Prevención de caídas y ahogamiento	242
11.8.6	Espacios confinados	243
11.8.7	Seguridad eléctrica	243
11.9	Gestión administrativo	243
11.9.1	Procedimientos financieros	243
11.9.2	Administración de recursos humanos	244
11.9.3	Personal y sus responsabilidades	244
11.10	Coordinación	246
11.11	Periodo de puesta en marcha	247
11.12	Bibliografía	249
<b>Capítulo 12</b>		<b>251</b>
Marcos institucionales para el manejo de lodos fecales		
<b>Magalie Bassan</b>		
12.1	Introducción	251
12.2	Factores de éxito	252
12.3	Un entorno regulatorio favorable	255
12.4	Arreglos institucionales	257
12.4.1	Organización de la cadena de servicios	257
12.4.2	Distribución de funciones entre actores	259
12.4.3	Arreglos institucionales para la recolección y transporte	260
12.4.4	Arreglos institucionales para el tratamiento de lodos fecales	262
12.4.5	Arreglos institucionales para el uso o disposición final de LF	264
12.5	Bibliografía	266
<b>Capítulo 13</b>		<b>269</b>
Transferencias y responsabilidades financieras en cadenas de manejo de lodos fecales		
<b>Elizabeth Tilley y Pierre-Henri Dodane</b>		
13.1	Introducción	269
13.2	Modelos financieros	270
13.2.1	Actores en las transferencias financieras	270
13.2.2	Transferencias financieras	271
13.3	Modelos de flujo financiero	275
13.4	Perspectiva financiera de una empresa de recolección y transporte	282

13.4.1	Perspectivas hacia el futuro	283
13.4.2	Un caso de estudio hipotético	284
13.4.3	Datos sobre este caso	285
13.5	Bibliografía	286
<b>Capítulo 14</b>		<b>291</b>
Evaluación de la Situación Inicial		
<b>Philippe Reymond</b>		
14.1	Introducción	291
14.2	Métodos para la recolección de datos	293
14.2.1	Revisión bibliográfica	294
14.2.2	Entrevistas semiestructuradas	294
14.2.3	Encuestas de hogares	294
14.2.4	Observaciones cualitativas en el campo	299
14.2.5	Mapeo	300
14.2.6	Análisis de laboratorio	300
14.2.7	Análisis de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas	301
14.3	Datos que deben registrarse	302
14.3.1	Contexto general	302
14.3.2	Datos locales sobre el saneamiento	302
14.3.3	Perfil de los proveedores del servicio (manual o mecánico)	303
14.3.4	Prácticas en el hogar	304
14.3.5	Marco legal y regulatorio	305
14.3.6	Estimación de los parámetros de diseño	305
14.3.7	Datos climáticos	305
14.3.8	Estructura de la ciudad	306
14.3.9	Usos finales y estudios de mercado	308
14.4	Caracterización, evaluación y selección de sitios de tratamiento	309
14.4.1	Identificación de sitios para el tratamiento	310
14.4.2	Criterios para caracterización y evaluación	311
14.4.3	Número de sitios	312
14.4.4	Lodos vaciados manualmente	313
14.5	Bibliografía	313
<b>Capítulo 15</b>		<b>315</b>
Análisis de los actores		
<b>Philippe Reymond</b>		
15.1	Introducción	315
15.2	Análisis de los actores: ¿por qué y cómo?	317
15.3	Identificación de los actores	318
15.3.1	Actores en el manejo de lodos fecales	319
15.3.2	Diferencias entre ciudades grandes y medianas	320
15.4	Caracterización de los actores	321
15.4.1	Información que debe registrarse	321
15.4.2	Influencia e interés	322
15.4.3	Criterios para la selección de actores claves	323
15.4.4	Características de los actores y sus necesidades de participación	323
15.4.5	Problemas prácticos enfrentados por los actores	324
15.5	En la práctica: La selección iterativa de los actores claves	327

15.5.1 PASO 1: Identificación y caracterización preliminar de los actores	327
15.5.2 PASO 2: Caracterización y selección de los actores claves	330
15.5.3 PASO 3: Reevaluación de los actores claves según las opciones validadas	332
15.5.4 PASO 4: Revaluación según el Plan de Acción	335
15.5.5 PASO 5: Reevaluación previa a la inauguración de la estación de manejo de los lodos fecales	335
15.6 Bibliografía	335
<b>Capítulo 16</b>	<b>337</b>
Integración de los actores	
<b>Philippe Reymond y Magalie Bassan</b>	
16.1 Introducción	337
16.2 La importancia de integrar a los actores	338
16.3 Grados de participación	339
16.3.1 De la información a la delegación	339
16.3.2 Determinación de los grados de participación según el análisis de actores	340
16.3.3 Cuadro de participación de los actores	340
16.4 Cómo integrar a los actores	341
16.4.1 Listado de técnicas para la integración	342
16.4.2 Determinación de las técnicas más apropiadas	344
16.5 Hitos y tareas transversales	347
16.5.1 Principales hitos en el proceso de planificación	347
16.5.2 Concientización	347
16.5.3 Capacitación	348
16.6 Distribución y formalización de responsabilidades	349
16.6.1 Documentos para la formalización	351
16.6.2 Diagrama de relaciones	353
16.7 Bibliografía	358
<b>Capítulo 17</b>	<b>359</b>
Planificación de sistemas integrados de manejo de lodos fecales	
<b>Philippe Reymond</b>	
17.1 Introducción	359
17.2 La necesidad de un enfoque integrado	364
17.2.1 Entender y fomentar un entorno favorable	365
17.2.2 La importancia de un enfoque participativo	367
17.3 Propuesta de un enfoque de planificación y un marco lógico	370
17.3.1 Estudios exploratorios y preliminares	373
17.3.2 Estudio de factibilidad	374
17.3.3 Desarrollo de un proyecto detallado – el Plan de Acción	374
17.3.4 Implementación	375
17.3.5 Monitoreo y evaluación	375
17.4 Selección de las opciones técnicas más apropiadas para el contexto	376
17.4.1 Combinación de servicios	376
17.4.2 Criterios para seleccionar las opciones de tratamiento	377
17.4.3 Esquema de selección de tecnologías	378
17.4.4 Propuesta para un sistema de saneamiento	379
17.5 Bibliografía	384

<b>Capítulo 18</b>	<b>385</b>
<b>El camino hacia adelante</b>	
<b>Linda Strande</b>	
<b>18.1 Introducción</b>	<b>389</b>
<b>18.1.1 Reconocimiento de la importancia del manejo de lodos fecales</b>	<b>388</b>
<b>18.1.2 Establecimiento de marcos y responsabilidades</b>	<b>389</b>
<b>18.1.3 Capacitación y difusión del conocimiento</b>	<b>391</b>
<b>18.1.4 Creación de modelos sostenibles de negocios y estructuras tarifarias</b>	<b>391</b>
<b>18.1.5 Implementación de metodologías integradas de planificación</b>	<b>392</b>
<b>18.1.6 Desarrollo de tecnologías apropiada</b>	<b>394</b>
<b>18.2 Caracterización de lodos fecales</b>	<b>394</b>
<b>18.3 Recolección y transporte</b>	<b>395</b>
<b>18.4 Tecnologías semicentralizadas de tratamiento</b>	<b>396</b>
<b>18.5 Tecnologías descentralizadas de tratamiento</b>	<b>396</b>
<b>18.6 Recuperación de recursos</b>	<b>397</b>
<b>18.7 Reflexiones finales</b>	<b>397</b>
<b>18.8 Bibliografía</b>	<b>398</b>