

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
Web: 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

¹ <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 m³ 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 |
| | |
| Capítulo 1 | 1 |
| 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 |
| | |
| Capítulo 2 | 17 |
| 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 |
| Capítulo 3 | | 43 |
| Mecanismos de tratamiento | | |
| Magalie Bassan, Pierre-Henri Dodane y Linda Strande | | |
| 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 |
| Capítulo 4 | | 65 |
| Métodos y maneras de recolectar y transportar los lodos fecales | | |
| Georges Mikhael, David M. Robbins, James E. Ramsay y Mbaye Mbéguéré | | |
| 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 |
| Capítulo 5 | | 95 |
| Panorama de las tecnologías de tratamiento | | |
| Mariska Ronteltap, Pierre-Henri Dodane y Magalie Bassan | | |
| 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 |

| | |
|---|------------|
| Capítulo 6 | 121 |
| Tanques de sedimentación y espesamiento | |
| Pierre-Henri Dodane y Magalie Bassan | |
| 6.1 Introducción | 121 |
| 6.2 Mecanismos fundamentales | 122 |
| 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 |
| 6.3 Diseño de tanques de sedimentación y espesamiento | 125 |
| 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 |
| 6.4 Operación y mantenimiento de tanques de sedimentación y espesamiento | 129 |
| 6.4.1 Extracción de los lodos y natas | 129 |
| 6.4.2 Período de puesta en marcha y variaciones estacionales | 131 |
| 6.5 Rendimiento de los tanques de sedimentación y espesamiento | 131 |
| 6.5.1 Separación de sólidos y líquidos | 131 |
| 6.5.2 Rendimiento del tratamiento | 133 |
| 6.6 Ventajas y desventajas de los tanques de sedimentación y espesamiento | 134 |
| 6.7 Un ejemplo del diseño de un tanque de sedimentación y espesamiento | 134 |
| 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 |
| 6.8 Bibliografía | 137 |
| | |
| Capítulo 7 | 139 |
| Lechos de secado sin plantas | |
| Pierre-Henri Dodane y Mariska Ronteltap | |
| 7.1 Introducción | 139 |
| 7.2 Principio del tratamiento | 139 |
| 7.3 Parámetros del diseño de lechos de secado sin plantas | 140 |
| 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 |
| 7.4 Construcción de una cama de secado sin plantas | 144 |
| 7.4.1 Grava y arena | 144 |
| 7.4.2 Extracción de los lodos secos | 145 |
| 7.5 Calidad de lodos secos y de lixiviados | 145 |
| 7.6 Ejemplos de diseño | 148 |
| 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 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 7.7 | Innovaciones y adaptaciones para lechos de secado | 149 |
| 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 |
| 7.8 | Conclusiones | 150 |
| 7.9 | Bibliografía | 151 |

Capítulo 8 **153**

Lechos de secado con plantas

Ives Magloire Kengne y Elizabeth Tilley

| | | |
|-------------|---|------------|
| 8.1 | Introducción | 153 |
| 8.2 | Especies de plantas | 155 |
| 8.3 | Mecanismos de tratamiento | 157 |
| 8.3.1 | Infiltración | 157 |
| 8.3.2 | Evapotranspiración | 157 |
| 8.3.3 | Estabilización y mineralización | 158 |
| 8.3.4 | Transferencia de oxígeno | 158 |
| 8.4 | Indicadores de rendimiento | 159 |
| 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 |
| 8.5 | Diseño y construcción | 163 |
| 8.6 | Operación y mantenimiento | 166 |
| 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 |
| 8.7 | Costos y beneficios | 170 |
| 8.8 | Ejercicio | 171 |
| 8.8.1 | Pregunta | 171 |
| 8.9 | Conclusiones y recomendaciones | 171 |
| 8.10 | Bibliografía | 172 |

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

| | | |
|------------|---|------------|
| 9.1 | Introducción | 175 |
| 9.2 | Biodegradabilidad y fraccionamiento de lodos fecales | 176 |
| 9.2.1 | Proporciones de caracterización | 176 |
| 9.2.2 | Biodegradabilidad y fraccionamiento | 177 |
| 9.2.3 | Dilución de los lodos fecales | 179 |
| 9.3 | Co-tratamiento en sistemas de lodos activados | 180 |
| 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 |
| Capítulo 12 | | 251 |
| Marcos institucionales para el manejo de lodos fecales | | |
| Magalie Bassan | | |
| 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 |
| Capítulo 13 | | 269 |
| Transferencias y responsabilidades financieras en cadenas de manejo de lodos fecales | | |
| Elizabeth Tilley y Pierre-Henri Dodane | | |
| 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 |
| Capítulo 14 | | 291 |
| Evaluación de la Situación Inicial | | |
| Philippe Reymond | | |
| 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 |
| Capítulo 15 | | 315 |
| Análisis de los actores | | |
| Philippe Reymond | | |
| 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 |
| Capítulo 16 | 337 |
| Integración de los actores | |
| Philippe Reymond y Magalie Bassan | |
| 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 |
| Capítulo 17 | 359 |
| Planificación de sistemas integrados de manejo de lodos fecales | |
| Philippe Reymond | |
| 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 |

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