

130
2ef.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**LODOS RESIDUALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS
MUNICIPALES, SU TRATAMIENTO Y DISPOSICION**

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERA QUIMICA

PRESENTA

MARIA DE LOS ANGELES RAMIREZ JIMENEZ

MEXICO, D. F.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Asignado

Presidente: Durán Dominguez María del Carmen

Vocal: Luna Pabello Víctor Manuel

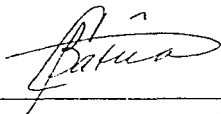
Secretario: Calderón Villagómez Hilda Elizabeth

1er. Suplente: Ramírez Burgos Landy Irene

2do. Suplente: Rosales Oscós José Flavio Gabriel

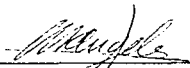
Este trabajo se desarrolló en la Facultad de Química, UNAM, México, D.F.

Asesor del Tema:



Dra. María del Carmen Durán Dominguez

Sustentante:



María de los Angeles Ramírez Jiménez

Con respeto y agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Química y a todos mis profesores.

Con respeto y admiración a la Dra. Carmen Durán de Bazúa, por su confianza, apoyo y dedicación.

A mis padres: José Ramírez y Victoria Jiménez, por su ejemplo.

Con especial cariño a mi hija Andrea, por haber sido el motivo para iniciar este proyecto.

Con agradecimiento para todas las personas que apoyaron la realización de este trabajo, especialmente a Margarita.

Con cariño para toda mi familia.

Con todo mi amor, respeto y admiración a mi esposo José Antonio por su apoyo, comprensión y por haberme elegido como su compañera.

ÍNDICE

RESUMEN

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

- 1.1 INTRODUCCIÓN
- 1.2 PROCESO BIOLÓGICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS MUNICIPALES
- 1.3 MÉXICO: ESTADO ACTUAL DE SUS RECURSOS HÍDRICOS
- 1.4 EL TRATAMIENTO DE AGUAS EN MÉXICO

CAPÍTULO 2

MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS MUNICIPALES

- 2.1 TRATAMIENTO AEROBIO
- 2.2 TRATAMIENTO ANAEROBIO
- 2.3 ESTABILIZACIÓN CON CAL
- 2.4 REMOCIÓN DE METALES PESADOS POR EL PROCESO DE BIOLIXIVIACIÓN (Tyagi y col., 1992)
- 2.5 REDUCCIÓN DE BIOSÓLIDOS

- 2.6 SECADO TÉRMICO**
- 2.7 INCINERACIÓN**
- 2.8 COMPOSTEO**
- 2.9 DRENADO DE LODOS RESIDUALES**

CAPÍTULO 3

DISPOSICIÓN DE LODOS RESIDUALES ESTABILIZADOS

- 3.1 ASPERSIÓN EN TIERRAS CULTIVABLES**
- 3.2 LODOS RESIDUALES EN LA ELABORACIÓN DE CEMENTO**

CAPÍTULO 4

EJEMPLOS DE CASOS TIPO

- 4.1 EL CONCEPTO DE DISPOSICIÓN DE LODOS RESIDUALES DE RUHRVERBAND, ALEMANIA (Inmhoff, 1992)**
- 4.2 DISPOSICIÓN DE LODOS EN LA ISLA DE JERSEY, EE UU A (Gross y Cohen, 1992)**
- 4.3 DISPOSICION DE LODOS EN LA CIUDAD DE KOTKA, FINLANDIA (Väänänen, 1992)**
- 4.4 RESUMEN DE LAS PROPUESTAS PLANTEADAS A NIVEL MUNDIAL**

CAPÍTULO 5

SITUACIÓN DE TRES PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO

- 5.1 PLANTA CHAPULTEPEC**
- 5.2 PLANTA SAN LUIS TLAXIALTEMALCO**
- 5.3 PLANTA CERRO DE LA ESTRELLA**
- 5.4 RESUMEN DE LO ENCONTRADO EN LAS TRES PLANTAS EVALUADAS**

CAPÍTULO 6

DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN

En México, se generan 184 m³/s de aguas residuales, tanto de origen doméstico, como industrial. Se cuenta con 223 plantas de tratamiento de aguas de tipo biológico en las que se procesa el 14% del flujo total generado. El proceso biológico de tratamiento de aguas en casi todas ellas es el llamado de lodos activados, que da como subproductos lodos primarios (crudos) y secundarios (del reactor biológico). Ambos contienen o pueden contener microorganismos patógenos (Salmonella, Shigella, etc), materia orgánica no biodegradable (detergentes ramificados, plaguicidas, hidrocarburos aromáticos, etc) y metales pesados. Dichos lodos se purgan directamente a los drenajes y llegan a los diferentes cuerpos acuíferos o se depositan en los suelos sin tratamiento ni estabilización previa, provocando daños ecológicos y riesgo para la salud.

Por ello, el objetivo de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica y proponer un método de manejo, tratamiento y disposición de los lodos residuales de las plantas de tratamiento de tipo biológico que, en la Ciudad de México, tratan aguas residuales domésticas e industriales mezcladas, conocidas como aguas residuales mixtas.

Los diferentes métodos de tratamiento de lodos reportados en la literatura, ayudan a disminuir o eliminar alguna o todas las características indeseables de los lodos (toxicidad, apariencia, olor, etc), mediante tratamiento biológico o la adición de compuestos químicos. Esto depende del origen y las características del lodo a tratar.

En cuanto a la disposición de los lodos estabilizados, estos pueden ser reutilizados como mejoradores de suelos, tierras de relleno, o bien en la elaboración de materiales de construcción, dependiendo del tipo de tratamiento y de las características del lodo.

Debido a la diversidad de materiales orgánicos e inorgánicos contenidos, tanto en las aguas residuales como en los lodos producto del tratamiento de éstas, es necesario que se dé prioridad y se destinen recursos para tratar estos efluentes de manera integral para evitar que se sigan contaminando los recursos naturales y se ponga en riesgo la salud.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 INTRODUCCIÓN

En México, se generan anualmente 184 m³/s de aguas residuales, tanto de origen doméstico como industrial, de las cuales el 14% son procesadas en plantas de tratamiento (SEDESOL, 1990-1994).

En estas plantas de tratamiento de aguas no se incluye el tratamiento de lodos residuales y éstos tienen que ser arrojados sin tratamiento ni estabilización al ambiente y, finalmente, llegan a los diferentes cuerpos acuíferos o son depositados sobre suelos. Dado que contienen o pueden contener microorganismos patógenos, materia orgánica e inorgánica, metales pesados, etc, provocan graves problemas ecológicos.

Por ello, es necesario el tratamiento y estabilización de los lodos que se generan en las plantas de tratamiento de aguas del país. Con tal propósito se revisó la bibliografía actual de los trabajos que sobre la materia se están realizando en otros países. A través de esta revisión se encontró que, una vez que los lodos son tratados para eliminar los contaminantes que contienen o disminuyendo las concentraciones de los contaminantes a niveles no tóxicos, estos pueden ser aprovechados como mejoradores de suelos, para rellenos llamados sanitarios o en materiales de construcción sin peligro para el ambiente.

1.2 PROCESO BIOLÓGICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS MUNICIPALES

El proceso biológico de tratamiento de aguas municipales conocido como "Proceso de lodos activados", es el proceso más ampliamente utilizado en el mundo (Pons y col., 1993). La característica principal es la degradación aerobia de la materia orgánica por bacterias, complementada por protozoarios del tipo ciliados, rotíferos, suctorios, flagelados, etc (además de otros tipos de cultivos específicos como Pseudomonas, Aeromonas, Corynebacterium y Enterobacter, para tratar sustancias de difícil biodegradación). Esta tecnología se emplea exitosamente, tanto en el tratamiento de aguas municipales como en algunos casos de aguas industriales que contienen sustancias fácilmente biodegradables (Glacer-Slojan, 1993). A grandes rasgos, consta de las etapas siguientes (figura 1):

Tratamiento preliminar.- En esta etapa se eliminan los sólidos y basura de gran tamaño pasando el influente a través de cribas y, posteriormente, por un desarenador para que, por gravedad se depositen las arenas que fueron arrastradas por las aguas residuales. Este residuo está normalmente contaminado con materia fecal y otros detritus que pueden, potencialmente, contener organismos patógenos. Por ello, debe plantearse su tratamiento, estabilización y disposición controlada.

Tratamiento primario.- El influente entra a un sedimentador donde los sólidos en suspensión se separan, si son más densos que el agua se depositan en el fondo y si son más ligeros permanecen en la superficie del sedimentador (el lodo crudo del fondo se purga periódicamente y las natas se separan a un tanque especial). El líquido decantado pasa a un espumador para remover las gotas de grasa y

aceite que no fueron separados, así como los detergentes disueltos en el agua empleando aire a presión para formar espumas que, por desnatado, se separan del líquido en tratamiento. Al igual que en el paso anterior, estos residuos pueden, potencialmente, contener organismos patógenos, además de las sustancias químicas. Por ello, debe plantearse su tratamiento, estabilización y disposición controlada

Tratamiento secundario.- El agua proveniente del tratamiento primario entra a un reactor biológico de todos activados donde microorganismos aerobios degradan la materia biodegradable orgánica disuelta y coloidal convirtiéndola en energía y nuevas células y disminuyendo su contenido hasta en un 80% (que es medido como demanda bioquímica de oxígeno o DBO de las aguas residuales). Posteriormente, el agua pasa al sedimentador, llamado secundario, donde se separan los sólidos que, como en el caso del sedimentador primario, si son más densos que el agua se van hacia el fondo y si son más ligeros se separan por la superficie del sedimentador (el lodo secundario del fondo se purga periódicamente y las natas se separan a un tanque especial) y el agua se decanta.

Tratamiento terciario.- El agua proveniente del sedimentador secundario se pasa a través de filtros de antracita/arena/grava, para separar los sólidos suspendidos, que aún permanecen en el agua después del proceso de sedimentación. El agua filtrada se bombea a tanques de almacenamiento para que se le adicione cloro. Este tiene la función de matar y/o inhibir el desarrollo de los microorganismos patógenos remanentes en el efluente.

Planta San Luis Tlaxiátemalco

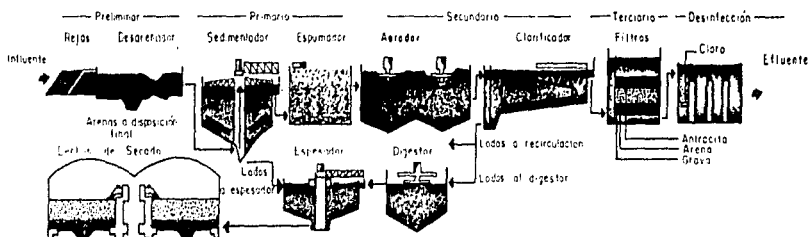


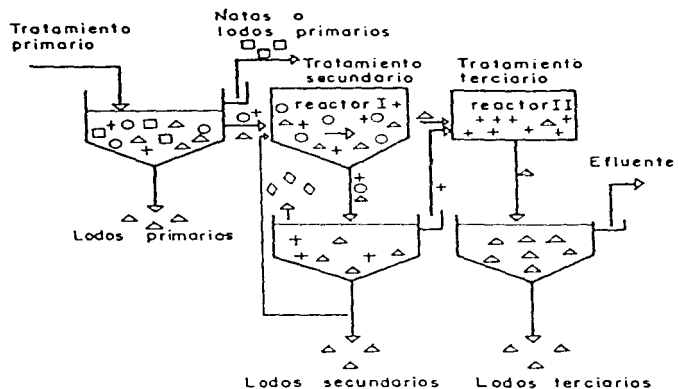
Figura 1. Proceso biológico de tratamiento de aguas por el sistema de lodos activados (DGCOH-DDF,1990)

El agua que sale al final de este proceso contiene o puede contener fosfatos, metales pesados, microorganismos patógenos, nitrógeno amoniacal, grasas y aceites, etc. Puede presentar coloración y turbiedad, por lo que su uso debe estar restringido a ciertas áreas dependiendo de su calidad, para evitar riesgos a la salud. En plantas más completas, el tratamiento terciario incluye, antes de la filtración y la desinfección, reacciones químicas que permiten separar estos compuestos y elementos solubles que no fueron separados en la etapa secundaria.

Asimismo, como ya se mencionó, el lodo residual producto de las diferentes etapas del tratamiento de aguas (figura 2), está normalmente contaminado con materia fecal y otros detritus que pueden, potencialmente, contener organismos patógenos, que constituyen un riesgo para la salud. Por lo que, debe plantearse su tratamiento, estabilización y disposición controlada

1.3 MÉXICO: ESTADO ACTUAL DE SUS RECURSOS HIDRÍCOS

México es un país rico en recursos naturales. Tiene una extensión de 2 millones de kilómetros cuadrados con más de 90 millones de habitantes. Los recursos acuíferos estimados con que se cuenta son: precipitación pluvial de 1.53 millones de m^3 anuales, escurrimientos en ríos de 410 millones de m^3 agua almacenada en lagos en un volumen de 14 millones de m^3 , en forma de presas se dispone de 125,000 millones de m^3 y, además, el agua subterránea de la cual no se tiene cuantificado su volumen (SEDESOL, 1990-1994).



- + = Material contaminante disuelto no biodegradable
- O = Material contaminante disuelto biodegradable
- = Material contaminante suspendido con densidad menor al agua
- △ = Material contaminante suspendido con densidad mayor al agua
- ◇ = Gases

Figura 2. Tipo de lodos y su origen
(Durán de Bazúa, 1994)

Estos recursos acuíferos no están distribuidos uniformemente. Se tienen 320 cuencas hidrológicas, agrupadas en 14 regiones. En el sureste (20% del territorio nacional) se cuenta con el 50% de la disponibilidad total del agua; la zona centro (50% del territorio nacional) tiene el 47% de la disponibilidad del agua; la zona norte (30% del territorio nacional) cuenta con solo un 3% del total de los recursos acuíferos. Esta desproporción podría solucionarse con la reutilización de agua por medio del tratamiento de aguas en las zonas con menos recursos hídricos (SEDESOL, 1990-1994).

Los grandes centros de desarrollo demandan cada vez mayores cantidades de agua. Asimismo, son los que aportan más contaminantes al descargar sus aguas residuales en los cuerpos receptores sin tratamiento alguno. Por esta tendencia ya se observan insuficiencias críticas de agua limpia en varias regiones.

Como ya se dijo, se considera que actualmente se generan 184m³/s de descargas residuales de las cuales 105m³/s son municipales y 79m³/s industriales. Se estima que, para el año 2000, se verterán 207m³/s de aguas residuales (SEDESOL, 1990-1994).

Los principales contaminantes de las aguas residuales municipales son: materia orgánica biodegradable que provoca la disminución en los niveles de oxígeno disuelto de los cuerpos hídricos receptores; aceites y grasas, organismos patógenos, metales pesados, detergentes y sustancias orgánicas no biodegradables como terpenos, plaguicidas, etc. Esto genera una carga contaminante estimada en 860 millones de toneladas al año medidas en términos de DBO (SEDESOL, 1990-1994), lo que genera un estimado de 2.7 millones de toneladas/año de sólidos secos de lodos residuales (Metcalf y Eddy, 1991).

Actualmente se cuenta con 223 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales con una capacidad instalada de 16.5m³/s (no todas operan a su capacidad total), lo que representa aproximadamente el 14% del total de aguas residuales municipales generadas. En éstas se detectan insuficiencias debido a diseño inadecuado, ubicación desfavorable, obras inconclusas, desaparición y/o descompostura de equipos, carencia o descompostura de instalaciones eléctricas y falta de recursos (SEDESOL, 1990-1994).

Debido a que el 84.5% de las descargas residuales se van a los cuerpos receptores sin tratamiento, se ha provocado que 31 de las 320 cuencas hidrológicas más importantes, que reciben el 91% de las descargas generadas en el país se encuentren en serios problemas de deterioro. Estas son: ríos Pánuco, Lerma-Santiago, San Juan, Balsas, Blanco, Papaloapan, Culiacán, Coatzacoalcos, Fuente, Jamapa, La Antigua, Guayalejo, Grijalvo, Nazas, Coahuila, Armería, Ameca, Conchos, Tijuana, Tehuantepec, Salado, Colorado, Bravo, Yaqui, Nautla, Sonora, San Pedro; Laguna de Coyuca, Purificación, Presidio y Concepción. Además de los puertos industriales y turísticos que son afectados por el vertimiento de aguas residuales municipales e industriales sin tratamiento (SEDESOL, 1990-1994).

1.4 EL TRATAMIENTO DE AGUAS EN MÉXICO

En 1992 entró en vigor la Ley de Aguas Nacionales (LAN) que tiene como objetivo principal regular la explotación, distribución y conservación de la calidad del agua. También se tienen las normas oficiales de descargas establecidas por la antigua SEDESOL (1993-1994)

El informe nacional de ecología reporta que se consumen 53.0km^3 /anuales de agua, para consumo humano y plantas hidroeléctricas, de los cuales se producen $160\text{m}^3/\text{s}$ de descargas contaminantes. De estos, actualmente se procesan en plantas de tratamiento de agua $14\text{m}^3/\text{s}$ y se encuentran en proyecto y en construcción 580 plantas de tratamiento de aguas con capacidad para procesar $24\text{m}^3/\text{s}$, lo que dará un total de $38\text{m}^3/\text{s}$, esto es, el 24% del total generado (SEDESOL 1993-1994)

En el Distrito Federal se generan entre 35 y $46\text{m}^3/\text{s}$ de aguas residuales municipales de las cuales se procesan en plantas de tratamiento de tipo biológico, $3\text{m}^3/\text{s}$ en las 19 plantas (16 de tratamiento secundario y 3 de tratamiento terciario), con que cuenta el DDF. (tabla 1), generando un estimado de 590 ton/año de sólidos secos (DGCOH-DDF, 1990).

El objetivo de estas plantas de tratamiento de aguas residuales, es cubrir la demanda de agua para riego de áreas verdes, mantener el nivel de agua de lagos y canales recreativos, riego de cultivos (Milpalta, Ixtapalapa) y lavado de autos (para evitar el uso irracional de agua potable), por lo que el tratamiento de los residuos de dichas plantas (lodos residuales), no se incluyó en los procesos de tratamiento de aguas. La planta de San Luis Tlaxialtemalco incluye en su proceso

la concentración aerobia de los lodos y tiene como objetivo adicional la recarga de mantos acuíferos (con agua tratada que puede contener sustancias peligrosas disueltas que potencialmente contaminen el subsuelo) supuestamente para evitar la sobreexplotación de estos y evitar hundimientos en la ciudad de México.

A pesar de todos los esfuerzos hechos hasta ahora en el tratamiento de los efluentes, solo se cumple con parte del objetivo, pues las plantas obtienen agua tratada pero los lodos residuales resultantes del tratamiento, son vertidos nuevamente a los drenajes sin tratamiento previo, conteniendo todos los contaminantes con que entraron las aguas pero ahora concentrados y estos llegan finalmente a los cuerpos receptores (acuíferos y suelos) con su peligroso contenido.

En el capítulo siguiente se presentan algunos métodos de tratamiento de los lodos.

NOMBRE DE LA PLANTA	CAPAC. L/S		AÑO INICIO OPN.	COLECTOR	USOS/OBJETIVO
	NOM.	OPN.			
Chapultepec	160	115	1956	Colectores 100 castas, Palmas y Montes Urales	Mantener el nivel del bosque de Chapultepec y riego de áreas verdes Deleg. Miguel Hidalgo
Ciudad Deportiva	230	50	1958	Colector Río Churubusco	Riego de áreas verdes en la Cdi. Deportiva y Del. Iztacalco Concesionada a particulares
Coyoacán	1200	284	1956	Colector Apulucaco	Riego de áreas verdes de Coyoacán e Iztapalapa Club Golf Mexico y Asenám, etc
San Juan de Aragón	500	222	1964	Gran canal del desagüe y colector de aljivo Coyoacán	Mantener el nivel del lago de Aragón y riego de áreas verdes Aragón y Alameda oriente
Tlatelco	22	18	1965	Colector Manuel González	Riego de áreas verdes de la U. Habitacional y Escuela Nacional de Maestros
Cerro de la Estrella	3000	1900	1971	Colector Apulucaco	Riego agrícola en los ejidos de Tlahuac, mantener el nivel del Lago de Xochimilco canales, áreas verdes de la Del. Iztapalapa
Iztacalco	11	11	1971	Drenaje de la U. Habitacional	Riego de áreas verdes de Deleg. Iztacalco
Bosque de las Lomas	45	15	1973	Colector Amateles	Riego de áreas verdes de la Av. Reforma y Palmas
Acueducto Guadalupe	190	160	1975	Río San Javier	Riego de áreas verdes y procesos Ind. de Vallejo Concesionada a industriales Vallejo
H. Colegio Militar	33	15	1980	Agua generadas en el Colegio Militar	Saneamiento de la zona lacustre de Xochimilco y riego de áreas verdes del H. Colegio Militar
El Rosario	25	20	1981	Drenaje de la U. Habitacional del Rosario (Ramal El Rosario)	Llenado del Lago Tezozomoc y riego de áreas verdes de la Unidad El Rosario
Reclusorio Sur	40	13	1981	Agua generadas en el Reclusorio sur	Saneamiento de la zona lacustre de Xochimilco y riego de áreas verdes del Reclusorio sur
San Luis Tlaximilcalco Primer módulo	150	72	1989	Drenaje de varios pueblos del sur de Xochimilco	Saneamiento de la zona lacustre de Xochimilco, mantener el nivel de los canales de la zona turística y chinampas e iniciar proyecto de recarga artificial del acuífero San Luis T. y San Gregorio
Puerto	7.5	2	1994	Drenaje de aguas de Puerto	Planta de asfalto y uso agrícola
Abasco	15	5	1993	Drenaje del pueblo de San Miguel Ajusco	Saneamiento de las barrancas y uso agrícola.
San Miguel Xucalco	7.5	4	1994	Drenaje del pueblo de San Miguel Xucalco	Saneamiento de las barrancas
La Lupita	7.5	7.5	1994	Drenaje del pueblo de San Juan Ixtayopan	Saneamiento del Río Ameca y uso agrícola.
Tetelco	7.5	7.5	-	Drenaje del pueblo de Tetelco	Proyecto suspendido
Rastro de Milpa Alta	7.5	7.5	-	Agua residuales del rastro de Milpa Alta	Proyecto suspendido.

TABLA No. 1 : PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO FEDERAL.
(cortado del informe mensual de la Gerencia de tratamiento de aguas de la DGGOH del DDF, 1995)

CAPÍTULO 2

MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS MUNICIPALES

El proceso más costoso del tratamiento de aguas es justamente la estabilización de lodos, el cual consiste en eliminar o disminuir una o todas las características indeseables de los lodos. Éstas son para los lodos provenientes de plantas de tratamiento de tipo biológico, las siguientes:

- Puede tener olor desagradable
- Puede contener microorganismos patógenos y otros residuos contaminantes peligrosos
- Puede ser difícil y costoso de secar o drenar

Por tanto, se puede decir que estabilizar significa reducir una o todas estas características pero, en algunos casos, la eliminación de una puede provocar el incremento de otra. Los métodos empleados para este fin son, para el caso de los microorganismos, estabilización aerobia o anaerobia, pasteurización con cal, secado, incineración y composteo (Matthews, 1990).

2.1 TRATAMIENTO AEROBIO

Durante el proceso de depuración de aguas residuales, como el de lodos activados, se reproducen microorganismos aerobios reduciendo el contenido de la materia orgánica disuelta de tipo biodegradable, convirtiéndola en biomasa microbiana y energía. Como complemento a este proceso, el tratamiento aerobio de los lodos, permite el contacto de la materia biológica formada en el proceso anterior, con nuevos microorganismos aerobios, con el propósito de reducir su masa en un 50% aproximadamente.

Este proceso es fácil y relativamente económico, además de mejorar las propiedades de drenado de los lodos provenientes de las purgas del proceso de lodos activados. Solo se tiene que dejar el lodo en un aerador por un largo período (50 días), hasta que alcance la maduración deseada.

El inconveniente de este proceso es que la reducción de biomasa, medida como sólidos volátiles suspendidos, no llega más allá del 50% y no hay reducción significativa de organismos patógenos, ni de contaminantes orgánicos e inorgánicos no biodegradables (figura 3).

2.2 TRATAMIENTO ANAEROBIO

Este es un proceso que fue desarrollado en 1920 y aún ahora se sigue empleando en algunos lugares. Aprovecha la acción de algunos microorganismos como bacterias acidogénicas o metanogénicas, produciendo biogás, el cual puede ser aprovechado como combustible.

Las bacterias productoras de metano son muy sensibles y requieren condiciones de pH y temperatura controladas para su desarrollo y su periodo de incubación varía de 20 a 60 días dependiendo de las características del lodo. Este método es muy efectivo para reducir el volumen de lodos (hasta en un 90%) pero no cumple con las normas establecidas para la reducción de metales pesados u otros elementos no biodegradables incluidos en la biomasa microbiana. El biogás generado debe lavarse antes de reutilizarse como fuente de energía (para eliminar H_2S , NH_3 y CO_2) (Durán de Bazúa, 1994).

2.3 ESTABILIZACIÓN CON CAL

Estabilización con cal apagada

La cal o $Ca(OH)_2$ eleva el pH del lodo a 12.0 y produce una reducción sustancial de organismos patógenos. Ésta, al mezclarse con sales de aluminio o de hierro ayuda a mejorar el drenado de los lodos. Además, reduce el problema del mal olor mientras el pH se mantiene alcalino. Cuando no hay aire, el mal olor vuelve, debido a que las bacterias anaerobias proliferan (y las acidogénicas, especialmente, con los ácidos generados neutralizan y aún acidifican la biomasa), permitiendo que las bacterias sulfatorreductoras generen H_2S , que las metanogénicas generen CH_4 , etc, provocando el mal olor. Por otra parte, este método no es efectivo en la disminución de los niveles de compuestos tóxicos, como metales pesados, sustancias orgánicas no biodegradables, etc.

Estabilización con cal viva

El óxido de calcio reacciona con el agua para producir Ca(OH)_2 y calor. Esto produce un doble beneficio; por un lado al reaccionar el agua con el óxido de calcio se mejoran las condiciones de drenado y, por el otro, la reacción exotérmica combinada con el pH mata o inactiva los organismos patógenos.

La estabilización de los lodos y materia fecal con cal es ampliamente conocida y se usa en fosas sépticas y en lugares donde no hay drenajes. Una variante a este proceso es el método N-viro de pasteurización desarrollado por Burnham y col. (1992)

De acuerdo con Burnham y col. (1992), este procedimiento puede seguirse utilizando con excelentes resultados con el método N-viro, el cual consiste en mezclar con polvo de hidróxido de calcio adicionado con cal viva, la torta de lodo que tenga una humedad de entre el 18% y el 40%, con lo que la temperatura de la mezcla se eleva hasta unos $52\text{-}62^\circ\text{C}$ y el pH llega a 12 (durante 12 horas). Después de esto, la mezcla se transporta a un tanque de curado donde será ventilado por 3 días para alcanzar un contenido de sólidos del 50%.

La estabilización de lodos se lleva a cabo, tanto por la reacción exotérmica ($52\text{-}60^\circ\text{C}$), como por el valor de pH (12) y solo permiten que sobrevivan algunas especies esporuladas no patógenas.

Las ventajas más importantes del método N-viro son las siguientes:

- Al utilizarse hidróxido de calcio y cal viva en polvo fino (0.0076mm) la mezcla es homogénea y la reacción es completa lo que da temperatura y pH uniforme en cualquier punto del reactor.
- La adición del hidróxido de calcio/cal viva a la mezcla mejora la calidad del lodo para su uso en agricultura ya que el pH alcalino hace insolubles los metales pesados y evita que drenen al subsuelo o contaminen los cultivos agrícolas
- La mezcla polvo de hidróxido de calcio/cal viva/ lodo tiene un alto potencial de almacenamiento debido a su consistencia y poco olor.
- La cantidad de cal contenida es muy similar al contenido calcáreo de suelos de cultivo por lo que no provoca problemas de alcalinidad excesiva, siempre y cuando el lodo inicial no contenga metales pesados u otros compuestos tóxicos
- El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ remanente es fácilmente neutralizado.
- La mezcla contiene importantes cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio por lo que se puede utilizar ampliamente en agricultura o como material confinado (figura 4). Esto último se da cuando contiene sustancias tóxicas y debe ser confinado de manera controlada

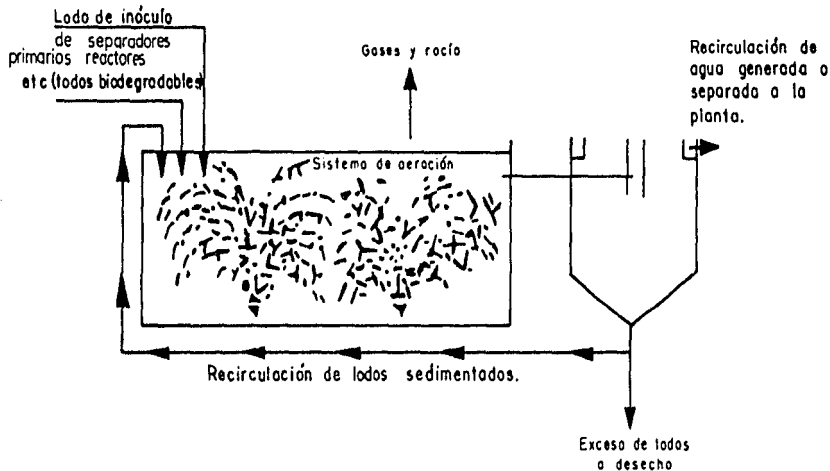


Figura 3. Tratamiento aerobio de los lodos (vesilind y col., 1988)

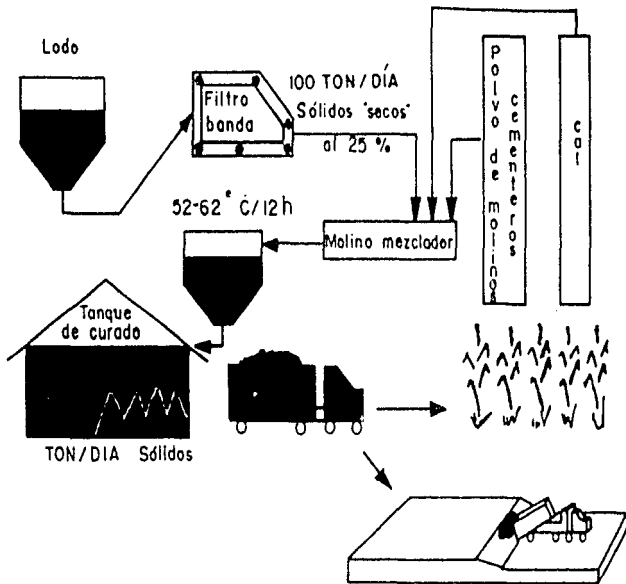


Figura 4. Sistema aerobio de depuración (Burnham y col.,1992)

2.4 REMOCIÓN DE METALES PESADOS POR EL PROCESO DE BILIXIVIACIÓN (Tyagi y col., 1992)

La operación de plantas de tratamiento de aguas generan importantes cantidades de lodos residuales. En el mundo cada año se producen millones de toneladas de lodo de drenajes (Tyagi y col., 1992).

El tratamiento y la disposición final de los lodos residuales frecuentemente constituye la etapa más costosa del tratamiento de aguas municipales y continúa siendo un difícil problema ambiental.

El problema fundamental de la disposición de los lodos es la presencia de metales pesados de las descargas residuales que se concentran en los lodos durante el proceso de tratamiento de los mismos debido a las interacciones fisicoquímicas y biológicas

El contenido de metales pesados en aguas de drenajes municipales es de aproximadamente 0.5-2% en base seca. En algunos casos extremos llegan al 4% en peso de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn (Dufresne y col., 1993).

La presencia de metales pesados en un lodo que es depositado sin estabilización conlleva los siguientes riesgos (Dufresne y col., 1993):

- Los lodos conteniendo metales pesados, al arrojarlos al mar u otro cuerpo receptor, contaminan las aguas y las especies marinas, incluyendo aquellos que son para consumo humano, o los seres vivos de cualquier cuerpo receptor (p.ej. suelo, plantas y microorganismos del suelo)

- La incineración es costosa debido al consumo de energía y, además, los metales pesados contenidos en las cenizas o en los gases son tan peligrosos como en el lodo original
- Los lodos empleados como relleno o en acondicionamiento de tierras pueden contaminar los mantos acuíferos del subsuelo por su lixiviación (Dietrich y col., 1993) con las aguas de lluvia o escurrimientos y el uso de lodos residuales en la agricultura, que es una de las formas más económicas de disposición, pueden generar la acumulación de metales pesados contenidos en el lodo en las plantas y son un riesgo potencial para la salud del hombre.

Para prevenir la contaminación ambiental y riesgos para la salud se deben disminuir los metales pesados a los niveles no tóxicos recomendados por los organismos internacionales (Mence, 1989).

La reducción de los metales pesados puede llevarse a cabo tomando las medidas siguientes: controlando los sistemas de descarga o eliminando los metales pesados de los lodos. Para el primer caso el problema radica en identificar las fuentes y eliminar de éstas los metales tóxicos, por lo que en las circunstancias actuales, solo quedará eliminar los metales pesados de las descargas "domésticas".

Debido a la gran cantidad de lodos generados, el método debe ser fácil, rápido y económico. Los métodos más comúnmente empleados son los siguientes (Tyagi y col., 1992):

a) Lixiviación ácida. Este método consiste en la adición de H_2SO_4 , HCl ó HNO_3 al lodo para disolver los metales pesados y, posteriormente, la neutralización del

lodo con cal o sosa. Este método es costoso debido a las altas cantidades requeridas de reactivos, además de requerir equipo construido con materiales anticorrosivos que permita el uso de ácidos y álcalis.

b) Lixiviación bioquímica Se emplea una bacteria llamada Thiobacillus ferroxidans. Esta bacteria disuelve los metales pesados en medio ácido (pH 4.0) y sulfato ferroso como nutrimento. En este caso, se requieren altas cantidades de ácidos para llevar el lodo a pH 4.0 y después de la reacción se requiere la neutralización, lo que hace que sea también un proceso costoso, aunque menos que el anterior. Los métodos microbiológicos son 80% más baratos que los químicos, pero requieren de largos períodos de incubación (10-14 días). Además, las reacciones de óxido-reducción de las bacterias requieren un valor de pH de 4.0 para iniciar la reacción.

c) Método de bio-lixivación Este método al igual que el anterior funciona a partir de las bacterias llamadas Thiobacilli, presentes en todas las descargas residuales y que son características de las descargas domésticas (Dufresne y col., 1993). Estas bacterias oxidan el azufre a sulfato disolviendo los metales pesados y consisten en:

i) Agregar de 1-3 gramos de azufre por kg de lodo residual y dejar que la oxidación del azufre por el Thiobacillus presente en el lodo, prolifere bajo condiciones anaerobias agitando hasta que el valor del pH baje a 1.5 a 2.5, lo que causa que los metales pesados se solubilicen y la concentración de sólidos volátiles suspendidos baje considerablemente, al igual que la concentración de bacterias patógenas que llegan a niveles de baja toxicidad.

ii) Remover aproximadamente el 90% del lodo de bajo pH y recuperar los metales pesados de las aguas

iii) Agregar aproximadamente el 90% de lodo residual municipal al residuo de pH bajo del punto anterior de lo que resultará una mezcla de lodos de pH 7.0-8.0

iv) Repetir los pasos del inciso (i) al (iii) durante el tiempo necesario para que el pH del lodo sea de 1.5 a 2.5, el cual una vez estabilizada la reacción, es el mismo en cada paso.

Las ventajas de este método son las siguientes:

- Puede funcionar con el pH inicial del lodo
- El tiempo de incubación es de 4.5-8 días dependiendo de qué tan pequeño pueda ser el reactor
- El contenido de metales pesados baja a niveles aceptables por las normas de aplicación a lodos residuales domésticos; se lleva a cabo una reducción del: 76-87% Cd, 37-45% Cu, 87-96% Mn, 82-89% Ni, 33-45% Pb y 93-98% Zn.
- El sustrato utilizado es barato y, además, fácil de transportar y almacenar
- El proceso se realiza a temperatura ambiente
- Este método se puede adaptar a cualquier sistema de tratamiento de aguas municipales

- Funciona con lodo crudo o previamente digerido
- Se reduce la masa de sólidos volátiles suspendidos y los microorganismos patógenos
- Las bacterias que oxidan el azufre no son patógenas ni para animales ni para humanos.

Los metales pesados se recuperan de las aguas y los lodos se llevan a un proceso de secado para su utilización posterior. Es recomendable que el azufre que se emplea como sustrato sea en forma de granalla. De esta manera se puede reciclar el que no reaccione, minimizando así el consumo.

La remoción de los metales pesados de las aguas lixiviadas remanentes se puede efectuar por (Fergusson, 1989):

Quelación. La quelación de iones metálicos es un método común de extracción líquido-líquido, ya que algunos agentes quelantes involucran la precipitación, por lo que el metal puede ser fácilmente extraído.

Precipitación. La precipitación de los metales puede efectuarse por adición de óxidos e hidróxidos, tales como hidróxido de hierro, aluminio, bismuto y óxido de magnesio.

Electrodeposición. Esta es una técnica muy selectiva ya que la depositación de un metal depende del potencial y electrodo utilizado.

2.5 REDUCCIÓN DE BIOSÓLIDOS

De acuerdo con Gober y Boyle, 1993, para reducir el volumen de los biosólidos generados en el tratamiento de aguas y, al mismo tiempo obtener un producto pasteurizado y estabilizado, se tiene el proceso siguiente:

- Los sólidos cernidos y filtrados, a un contenido de sólidos del 15 al 25%, se llevan a un tanque de almacenamiento que alimentará el proceso.
- Los biosólidos son precalentados a 190K (180°F) por inyección directa de vapor reciclado del final del proceso. Se bombean en una bomba de desplazamiento positivo para alimentarlos a un tanque donde se ajustará el pH a un valor de 3, con ácido sulfúrico concentrado.
- El lodo permanecerá en el tanque ácido por una hora. El proceso opera a una presión de 7.02kPa (100psi) y a una temperatura de 438K (330°F).
- El lodo se pasa al segundo tanque donde se le adiciona cal y permanece allí por 15 minutos, la cantidad de cal depende de la procedencia del lodo.
- Los biosólidos dejan el segundo tanque y pasan a un secador relampago ("flash") que opera al vacío y alta temperatura. El vapor que sale de esta etapa se recicla en el primer paso para precalentar el lodo.
- Los biosólidos obtenidos, se filtran en un filtro prensa de membrana, resultando una torta con un contenido de sólidos del 65 al 70%.

Todos los tanques y tuberías están revestidos de teflón para evitar corrosión. Casi todo el proceso es hermético por lo que no genera olor, a excepción de la alimentación, donde se podrá emplear un lavador químico de los gases de salida.

Las ventajas del proceso son las de que se obtiene una torta con alto contenido de sólidos. Se reduce el fósforo en un 37% y, además, se cumple con las normas establecidas para los contenidos de metales pesados y patógenos.

El producto obtenido puede ser empleado en agricultura, como combustible o como material de relleno sin efectos para el ambiente.

Los costos reportados para una planta que procese 40 toneladas de lodo crudo, son de 150 dólares por tonelada de producto seco y el costo de la inversión se puede amortizar en 10 años (figura 5).

El proceso es caro si se compara con la estabilización con cal que cuesta de 4 a 10 dólares por tonelada seca (Gober y Boyle, 1993).

2.6 SECADO TÉRMICO

El secado es un proceso en el que se emplea energía para eliminar el agua por evaporación para producir un sólido desinfectado, sin olor, sin contaminantes, de poco volumen y con valor de mercado, para emplearse como "fertilizante" y acondicionador de suelos. El proceso solo requiere de un secador "flash" o

Todos los tanques y tuberías están revestidos de teflón para evitar corrosión. Casi todo el proceso es hermético por lo que no genera olor, a excepción de la alimentación, donde se podrá emplear un lavador químico de los gases de salida

Las ventajas del proceso son las de que se obtiene una torta con alto contenido de sólidos. Se reduce el fósforo en un 37% y, además, se cumple con las normas establecidas para los contenidos de metales pesados y patógenos.

El producto obtenido puede ser empleado en agricultura, como combustible o como material de relleno sin efectos para el ambiente.

Los costos reportados para una planta que procese 40 toneladas de lodo crudo, son de 150 dólares por tonelada de producto seco y el costo de la inversión se puede amortizar en 10 años (figura 5)

El proceso es caro si se compara con la estabilización con cal que cuesta de 4 a 10 dólares por tonelada seca (Gober y Boyle, 1993).

2.6 SECADO TÉRMICO

El secado es un proceso en el que se emplea energía para eliminar el agua por evaporación para producir un sólido desinfectado, sin olor, sin contaminantes, de poco volumen y con valor de mercado, para emplearse como "fertilizante" y acondicionador de suelos. El proceso solo requiere de un secador "flash" o

rotatorio para obtener un producto fino. El único inconveniente es el costo debido a la energía consumida y la venta del producto.

2.7 INCINERACIÓN

Es el método más efectivo de estabilización, porque se eliminan todos los organismos patógenos y las sustancias que provocan los olores. El único gran inconveniente es que el humo y gases producidos por la incineración llevan metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos volátiles que, para evitar que contaminen el aire, deben ser lavados en trenes de lavado de gases, además del alto costo relativo al consumo de energía y del equipo requerido.

2.8 COMPOSTEO

El composteo es la descomposición aerobia de la materia orgánica , en el cual el lodo se encuentra en estado sólido o semisólido y es provisto de oxígeno, ya sea por agitación del lodo o bien ventilando aire a través de la masa de lodo.

Se requieren agentes que incrementen el volumen y provean de espacios para que fluya el aire ya que el composteo es una reacción exotérmica aerobia. Existen dos métodos de composteo, uno es el de composteo en tanque cerrado, en el cual el lodo se pone en un tanque, se cierra y se agita para proveer de aire y el método de la pila estática (Howe y Coker, 1992). Para esto se emplean desechos

sólidos tales como hojarasca, esquilmos como bolas de algodón, rastrojo de cereales, etc., para formar los intersticios por donde fluya el aire (figura 6).

El objetivo de este procedimiento es obtener un producto desinfectado y sin olor que pueda emplearse en agricultura. La reacción aerobia eleva la temperatura hasta 60°C lo que provoca la eliminación de aproximadamente 40% de los microorganismos patógenos, pero no llega a considerarse una pasteurización.

Díaz-Burgos y Polo-Sánchez (1993), proponen el siguiente método. Éste consiste en mezclar los lodos residuales con materiales lignocelulósicos, en una proporción de 2:1 (en peso), estableciendo condiciones ambientales de humedad y temperatura exteriores a la mezcla así como las condiciones internas de aeración y humedad (del 70%).

Antes de formar la mezcla se debe asegurar que el lodo tenga una humedad del 15%, por lo que se tiene que secar con aire y homogeneizar el tamaño de partícula para favorecer la mezcla. La hojarasca u otros residuos vegetales se cortan a un tamaño máximo de 2cm.

2.9 DRENADO DE LODOS RESIDUALES

La separación de la fase líquido/sólido se basa en tres factores: que la densidad del sólido sea igual o similar a la del líquido, que el tamaño de partícula del sólido sea mayor que la del líquido y que el sólido no se volatilice cuando el líquido es evaporado (Vesilind y col., 1992).

Espesamiento por gravedad

La mayoría de los lodos residuales tienen una densidad mayor que la del líquido que lo contiene, por lo que se pueden separar por sedimentación bajo ciertas condiciones. Esto se puede efectuar en tanques de sedimentación o en lagunas de estabilización.

El espesamiento se usa para remover el agua libre que es arrastrada por el lodo. El equipo más comúnmente usado es el tanque sedimentador. El lodo entra por la parte baja del tanque en un sistema de derrame, y el sólido sedimentado sale por el fondo y el líquido se derrama por la periferia superior del tanque.

Una variación de esta técnica son las lagunas de sedimentación. En este caso, se hace una laguna en la tierra, se impermeabiliza y se vacía en ella el lodo, permitiendo que se sedimente por algún tiempo. El líquido sobrenadante es decantado periódicamente y se vierte más lodo en la laguna hasta que ésta se llena.

Una vez llena la laguna se tiene la opción de vaciarla y transportar el lodo o bien dejarlo allí, tapando con tierra la laguna, el problema estriba en que los contaminantes pueden eventualmente drenar hacia el subsuelo y esto constituiría un grave problema para la salud pública.

Espesamiento por flotación

En algunos casos el lodo tiene casi la misma densidad que el líquido que lo rodea. Por ejemplo, el lodo que se obtiene de algunos sistemas de lodos activados, tiene una densidad de 1.08. En este caso se puede efectuar la flotación con burbujas de aire a presión, las cuales al chocar con las partículas de lodo, provocan que éstas viajen hacia la superficie, pudiendo de esta manera remover los sólidos espesados removiendo la nata que se va formando. Esta técnica no es muy usual debido a que son pocos los casos en que los lodos residuales municipales tienen densidades menores o iguales al líquido que lo acompaña.

Espesamiento por centrifugación

Este proceso es similar al de sedimentación, sólo que en este caso la centrifuga aumenta 1000 veces la gravedad lo que hace que el proceso sea más rápido.

El equipo consiste de un decantador horizontal con agujeros en el fondo para que el líquido salga. La alimentación es por medio de un tubo en uno de los extremos y tiene en el centro del decantador un tornillo sinfín que, al girar, arrastra el lodo sedimentado en el fondo para sacarlo por el otro extremo del decantador (figura 7).

Filtración

La filtración del lodo involucra el uso de un medio poroso como una lona o malla metálica, a través del cual pueda pasar el líquido (pero no el sólido) y puede emplearse una fuerza externa como presión positiva o vacío.

El equipo comúnmente usado es el filtro rotatorio de tambor (figura 8), que usa una lona o malla metálica como medio filtrante y opera con vacío para extraer el líquido. En los casos en que el lodo sea muy ligero o que provenga de sistemas de lodos activados, el sistema no presenta un comportamiento adecuado ya que se tapan los poros del medio filtrante y se requiere de un vacío más potente lo que eleva los costos de operación y mantenimiento.

Para lodos de difícil drenado se emplea el filtro banda (figura 9), el cual emplea presión positiva. La gravedad drena el agua y el lodo se queda en la lona, pasando después por un sistema de rodillos que lo comprimen para convertirlo en una torta que es retirada por una cuchillas al final de la banda.

El mayor problema que presenta este sistema es que, en algunos casos, los lodos pueden derramarse por los lados de la banda.

Otro método de filtración (intermitente), es el filtro prensa (figura 10), en el cual el lodo se bombea dentro de cavidades formadas por una serie de placas cubiertas con un medio filtrante. El líquido sale a través de la lona (medio filtrante), dejando los sólidos dentro, después se abre la cavidad y se retira la torta de lodo.

Esta técnica tiene la ventaja de funcionar con varios tipos de lodo y se obtiene una torta más seca que con cualquier otro método.

Para aplicar con eficiencia las técnicas de filtración es necesaria la caracterización de los lodos residuales, en especial, su capacidad de drenado y su resistencia a la filtración así como su capacidad para sedimentarse. De esta manera, se podrá aplicar la técnica más apropiada para cada caso.

En el siguiente capítulo se presentan algunos de los sistemas de disposición de los lodos ya estabilizados.

Reducción de biosólidos descripción del proceso

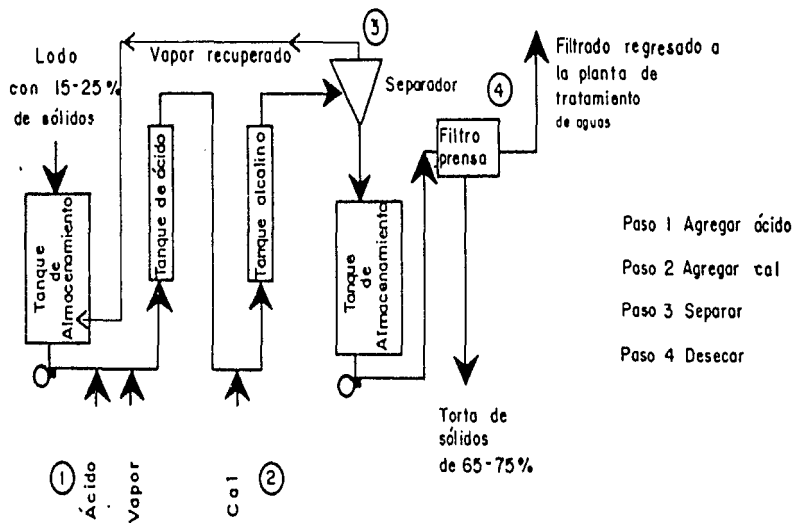


Figura 5. Diagrama de proceso (Gober-Boyle, 1993)

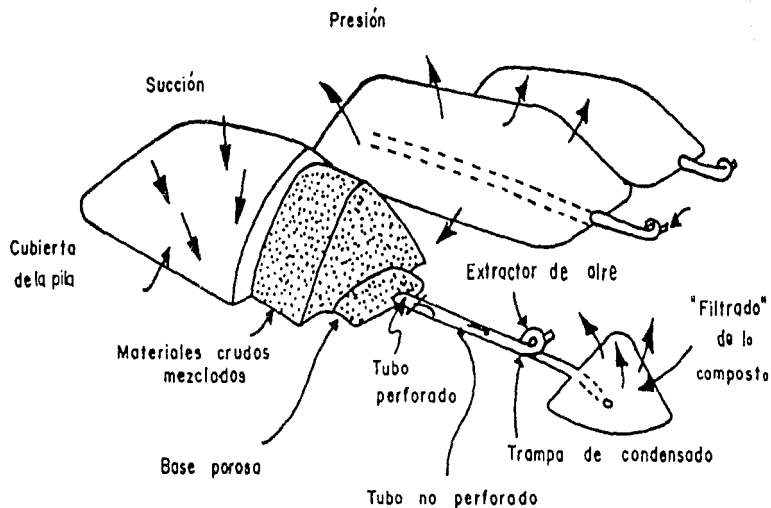


Figura 6. "Composteo" en pilas estáticas aeradas (Díaz y col., 1989)

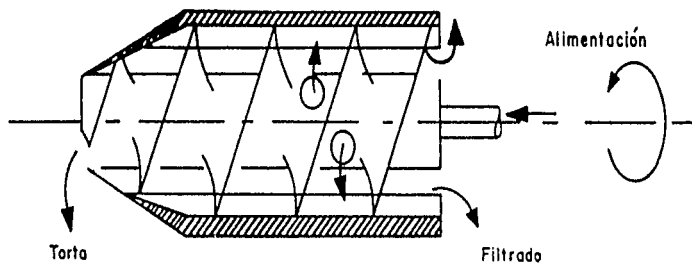


Figura 7. Filtro centrifuga (Vesilind y col., 1988)

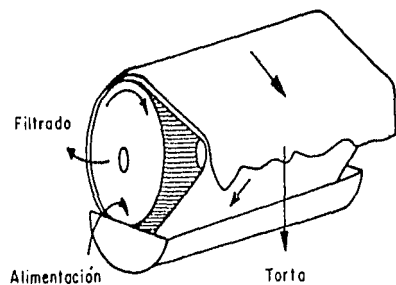


Figura 8. Filtro rotatorio (Vesilind y col., 1988)

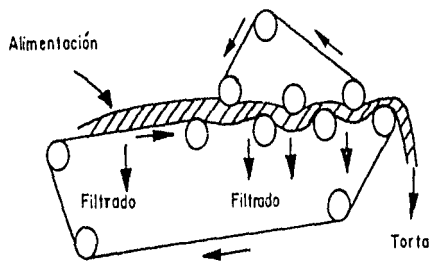


Figura 9. Filtro banda (Vesilind y col., 1988)

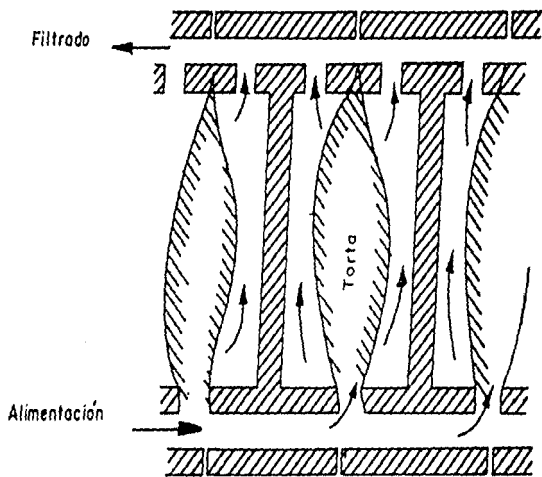


Figura 10. Filtro prensa (Vesilind y col., 1988)

CAPÍTULO 3

DISPOSICIÓN DE LODOS RESIDUALES ESTABILIZADOS

Los principales factores que influyen en la disposición de los lodos son: el económico y el impacto ambiental y estos involucran también la facilidad del proceso y su continuidad.

Las formas en que actualmente se dispone de los lodos son como:

- Relleno sanitario
- Aspersión en tierras cultivables
- Aspersión en tierras para recuperación
- Combustible
- Material para relleno

Los lodos que tienen altas cantidades de contaminantes deben disponerse en sitios de disposición seguros, que sean revestidos de materiales sintéticos impermeables que eviten el drenado de contaminantes al subsuelo o bien deben ser tratados con alguna de las técnicas de tratamiento descritas en el capítulo anterior. Los que no poseen ya materiales tóxicos pueden disponerse como se describe en los dos sistemas siguientes.

3.1 ASPERSIÓN EN TIERRAS CULTIVABLES

El lodo residual contiene nutrimentos, tales como nitrógeno y fósforo, además de ciertas cantidades de potasio. Cualquiera de las formas en que se presenta el nitrógeno en los lodos, es asimilable en un 80% por las plantas y el fósforo es asimilado en un 40 a 80%. En Suiza, el 40% de los lodos residuales son empleados en la agricultura (Frost y col ,1993).

La salmonella es uno de las bacterias patógenas empleada como organismo indicador en los lodos y puede ser inactivada en los suelos en un periodo de aproximadamente 20 días dependiendo de la temperatura y pH del suelo; sin embargo, sus esporas pueden sobrevivir hasta 14 meses. Otros virus u organismos presentes en los lodos, como los que provocan enfermedades tales como la hepatitis, el cólera o la tuberculosis, solo pueden inactivarse con técnicas adecuadas de pasteurización o aún de esterilización

3.2 LODOS RESIDUALES EN LA ELABORACIÓN DE CEMENTO

Una opción interesante es la propuesta por Tay y Show (1993) para el uso del lodo residual es en la producción de cemento. Se seca el lodo en un horno a 105°C, para que salga con un contenido de sólidos del 95% , después se muele y tamiza en malla de 10mm mesh. El método consiste en mezclar lodo, previamente digerido y secado, obtenido de las plantas de tratamiento de aguas municipales, con polvo de CaCO_3 (95% pureza). Se muelen en un molino de centrifuga a tamaño de partícula de 250-350 μm . La mezcla se incinera a 1000°C y se mezcla con portland común (figura 11). Los resultados muestran que al sustituirse el

CaCO_3 en el cemento por la mezcla de CaCO_3 -lodo al 50% (incinerado a 1000°C por 4 horas), se obtiene un biocemento con características aceptables para la construcción, excepto que se aumenta su dureza y cambia su densidad específica.

Al sustituir la cal por la mezcla cal-lodo al 50%, la composición química del cemento, mantiene sus componentes dentro de los límites establecidos para el cemento portland normal, excepto en el CaO que disminuye en un 5%, lo que repercute en un fraguado más lento, mientras que el contenido de SO_3 se excede en un 1.9%, lo que se cree provoca inestabilidad en el volumen. Sin embargo esto último deberá ser estudiado más ampliamente.

Los efectos de la proporción de la mezcla cal-lodo y la temperatura de incineración indican que la mezcla 1:1 lodo-cal y temperatura de incineración de 1000°C durante 4 horas dan la máxima dureza en condiciones de curado con aire.

Las propiedades físicas del cemento en la proporción descrita son aceptables pudiendo sustituirse hasta un 30% de cal por la mezcla lodo-cal, sin que se afecten considerablemente las bondades del cemento.

En el siguiente capítulo se dan algunos ejemplos citados en la literatura que permitirán seleccionar el más adecuado para algunos de los sistemas de tratamiento de aguas existentes en la Ciudad de México.

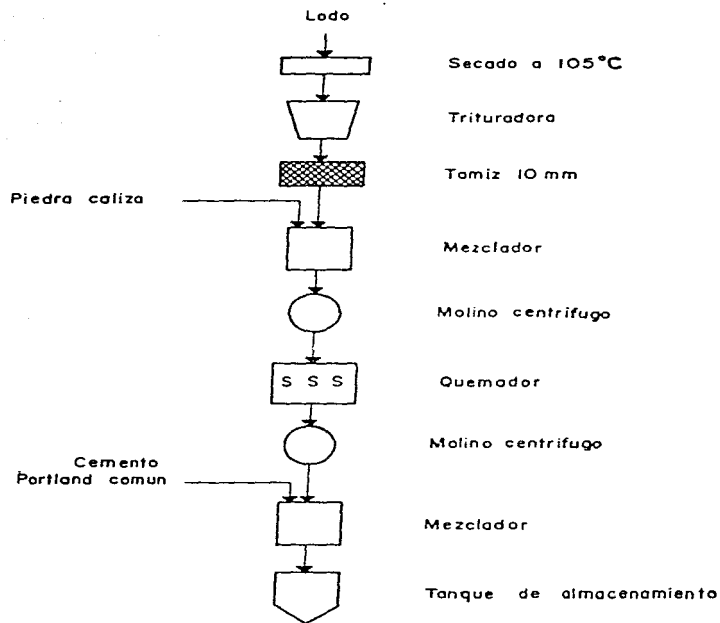


Figura 11. Diagrama de flujo de la producción de cemento (TayyShow, 1994)

CAPÍTULO 4.

EJEMPLOS DE CASOS

4.1 EL CONCEPTO DE DISPOSICIÓN DE LODOS RESIDUALES DE RUHRVERBAND ALEMANIA (Imhoff, 1992)

Ruhrverband opera dentro de la margen del río Ruhr. Opera un total de 116 plantas de tratamiento de aguas, donde las descargas residuales de 1.93 millones de habitantes y de varias industrias, son procesadas para su purificación. Las plantas municipales de tratamiento de aguas producen 59,000 ton de sólidos secos de lodos residuales. El 8% de estos, se utilizan en agricultura, el 13% son drenados para incinerarse, el 23% son drenados y depositados en áreas de relleno sanitario y el 56% son depositados en lagunas de estabilización cercanas a las plantas.

Las áreas de depósito son seleccionadas de acuerdo con las normas alemanas para disposición de desechos sólidos y lagunas.

Evaluación del concepto de disposición de lodos para el año 2000

Como base para planear la disposición de lodos, se supone que para el año 2000 estarán conectados a las redes de sistema de tratamiento de aguas de Ruhrverband, aproximadamente 2.75 millones de equivalentes poblacionales, con una cantidad de sólidos secos de 70g/día, por equivalente poblacional, incluyendo la precipitación de fósforo, lo que da un total de 75,000 toneladas de sólidos secos por año para el año 2000.

Con el objeto de afrontar los nuevos requerimientos para el tratamiento de aguas de Ruhrverband, los criterios para el diseño de las plantas de tratamiento de aguas serán: para más de 1000 equivalentes poblacionales, contarán con lagunas de estabilización; para más de 30,000 equivalentes poblacionales, contarán con un sistema de tratamiento aerobio, seguido de tratamiento anaerobio en lagunas de estabilización. Este proceso es el tipo de acondicionamiento necesario para un mejor drenado por centrífuga.

Las pruebas piloto de drenado en filtros prensa de 10 platos y con la misma cantidad de acondicionadores químicos, muestran que el lodo madurado en lagunas de tratamiento anaerobias se drenan significativamente mejor en un 49.3% de sólidos secos que los que solo se han tratado por tratamiento aerobio (13% ss), por lo que las lagunas son una parte esencial del proceso de estabilización y disposición de los lodos. El agua sobrenadante de las lagunas, se cubre de algas y limo, los cuales son ricos en oxígeno y eliminan los olores desagradables de las lagunas.

Debido a los costos, las plantas de tratamiento de aguas son diseñadas para una carga de lodos con una concentración de 0.09g de DBO₅. Un tercio del volumen puede usarse para una desnitrificación antes del proceso de lodos activados. Un concepto alternativo para estas plantas es un tanque con flujo circular de aguas negras y operación intermitente de aeradores. Los lodos de estas plantas pueden ser digeridos en plantas de la mitad del tamaño y las lagunas de lodos dan la ventaja de almacenar y espesar los lodos. El drenado puede efectuarse con centrífugas móviles.

Las plantas de tratamiento de aguas para más de 50,000 a 70,000 equivalentes poblacionales están equipadas con plantas estacionarias de drenado, tales como filtros prensa, usando acondicionadores para mejorar el drenado como cal y sales de hierro. La torta de lodos que se obtiene mediante este proceso, se deposita en áreas de relleno sanitario.

Se construyó un depósito sanitario con capacidad para 75,000m³ cerca de la ciudad de Hagen. El subsuelo consiste de roca impermeable, por lo que no fue necesario impermeabilizar, a excepción de un lado del depósito, que tuvo que cubrirse con una capa impermeable para evitar que los líquidos contaminantes fluyan hacia el subsuelo.

Se está construyendo un segundo depósito de 1.3 millones de m³ en la parte baja del valle del Ruhr, no lejos de la boca del río. Para sellar el subsuelo, se pusieron barreras impermeables de 1.2 a 1.6mm de espesor con un coeficiente de permeabilidad de 1×10^{-9} m/s. Adicionalmente, se construyó un dique entre el suelo y el tanque a una profundidad de 10m para bombear el agua del subsuelo para mantener su nivel por debajo del tanque evitando que se mezcle con el flujo del depósito.

El filtrado de los lodos conteniendo cal y sales de hierro no produce ningún problema en las plantas de tratamiento.

En ningún caso, el contenido de compuestos orgánicos halogenados exceden las normas alemanas de 0.5mg/L para la disposición de lodos residuales municipales. Debido al alto valor de su pH no hay problemas con metales pesados y aún

suponiendo que el pH se redujera a 7.0 en el depósito, no se han detectado cantidades importantes disueltas en las aguas sobrenadantes de las lagunas.

La planta de incineración de Bochum-Olbachtal (figura 12), opera desde hace 15 años y fue diseñada para una capacidad de 300,000 equivalentes poblacionales. Actualmente no cumple con las normas alemanas de contaminación del aire, pero no se justifica la instalación de equipo de lavado de flujo de gases de escape debido a que el proceso en sí excede los límites, por lo que se ha considerado el reemplazo total de la planta de incineración.

Para la aprobación de la nueva planta incineradora se están estudiando los efectos de impacto ambiental. No obstante que la planta nueva contamine menos que la anterior, se está negociando con la planta productora de electricidad de la región, que queme simultáneamente el carbón con lodo seco en sus plantas. Steay, uno de los socios, ha probado exitosamente la combustión de lodo residual seco a gran escala y está promoviendo la obtención de licencia para operar permanentemente este tipo de proceso.

Se puede concluir que el uso de los lodos residuales en estas tres rutas: agricultura, drenado y depósito en áreas controladas y drenado/secado/incineración, constituyen un medio de disponer de los residuos, compatible con el medio ambiente y adecuado a las necesidades crecientes de Ruhrverband. Por razones de seguridad no se puede prescindir de ninguna de estas rutas en la disposición de los lodos.

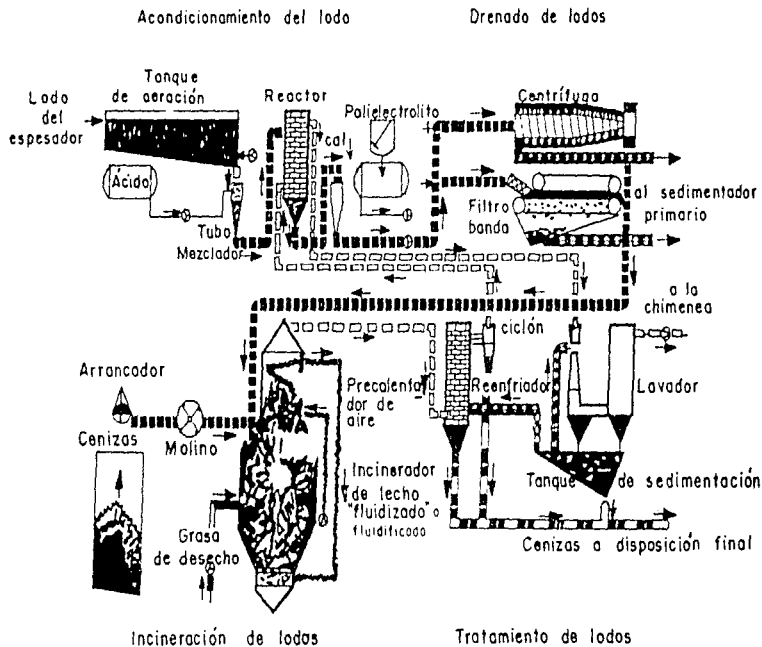


Figura 12. Planta incineradora de lodo de Bochum-Ölbachtal (Imhoff, 1992)

4. 2 DISPOSICIÓN DE LODOS EN LA ISLA DE JERSEY (Gross y Cohen, 1992)

Jersey es una cadena de islas. Tiene una población de alrededor de 85,000 habitantes en una área de 120km². En temporada turística, la población alcanza los 120,000 habitantes. Casi todas las islas cuentan con drenaje a excepción de dos islotes que están equipados con fosas sépticas, las cuales se descargan periódicamente. Todos los drenajes convergen en el drenaje central que desemboca en la planta de tratamiento de aguas localizada en Bellozanne.

La planta de Bellozanne (figura 13), incluye tamizado, desarenado, sedimentación primaria y tratamiento biológico secundario para todas las aguas residuales que llegan, para que puedan descargarse al mar con un contenido máximo de 30mg/L de sólidos suspendidos y 20mg/L de DBO₅.

El lodo generado durante el proceso se estabiliza por tratamiento anaerobio, para ser usado en las tierras de cultivo. Este lodo tiene un 3% de sólidos secos.

Debido a que la isla es pequeña, hay pocas tierras de cultivo donde se pueda usar lodo residual, además de que existen otras condiciones que limitan el uso de lodos residuales en el campo, tales como:

- Mal tiempo
- Lodo inadecuado
- Tratamiento incompleto

- Enfermedades del ganado
- Cambio en los hábitos agrícolas

Menos cuantificable pero más determinante es el hecho de que los agricultores no quieren emplear el lodo como "fertilizante" ya que le da una mala reputación a sus productos en el mercado.

Así que se buscó una opción segura y viable de disponer de los lodos residuales, no solo por los aspectos tecnológicos sino por el impacto ambiental y la eficiencia energética. La mejor opción encontrada fue el secado térmico de los lodos y se comisionó a una compañía privada para que desarrollara los trabajos de ingeniería.

Condiciones de la isla

La planta de Beltozanne está localizada en un angosto valle rodeado de escarpados declives. De hecho, toda la parte de terreno utilizable está cubierto por la planta o por depósitos de desechos de la misma. El espacio para ampliaciones es uno de los problemas más grandes a resolver por las autoridades de la isla, por lo que cualquier cambio debe ser de diseño compacto.

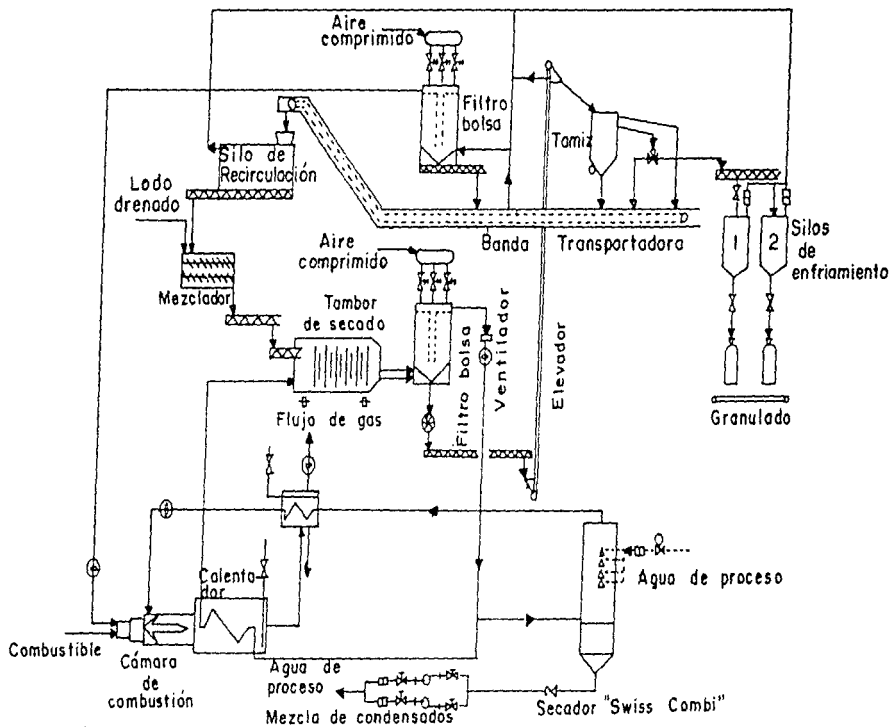


Figura 13. Diagrama de proceso (Gross-Cohen, 1992)

Disposición actual de los lodos residuales

Actualmente Jersey emplea todo el lodo en la agricultura de la isla; sin embargo, al no tener alternativa viable para ampliar las áreas de disposición de lodos y, dado que existe un crecimiento en la cantidad producida, el Departamento de Industria y Salud tiene la necesidad de buscar otra salida al problema.

La planta produce actualmente entre 7,500 y 12,000 kg de sólidos secos por día dependiendo de la temporada del año. Después del tratamiento anaerobio, éste equivale a 400m³ por día con un contenido del 3% de sólidos secos. El gas producido por el reactor se quema en la estación generadora de electricidad.

La electricidad generada se emplea en la planta y el calor desprendido se emplea para mantener el reactor a la temperatura adecuada. El incinerador de desechos sólidos de la isla se localiza en la misma área y genera electricidad para la planta y para la isla.

Oportunidades para la disposición de los lodos

En la agricultura.- A pesar de la negativa de los agricultores para emplear el lodo como "fertilizante", ésta sigue siendo la principal opción, ya que con el tratamiento adecuado del lodo se puede obtener un producto limpio, seguro, susceptible de reutilizarse y de fácil manejo. Sin embargo, es claro que las tierras cultivables disponibles están disminuyendo y los agricultores están poco dispuestos a colaborar.

Material de relleno .- Hay muy pocos lugares para relleno y no se tiene licencia para utilizarlos.

Incineración.- Hay duda de que la incineración resuelva el problema de disposición; sin embargo, se consideró la opción, aunque no hay posibilidad de reutilizar las cenizas. El incinerador de residuos sólidos que se tiene funcionando no tiene capacidad para quemar los lodos residuales húmedos.

El Departamento de Servicios Públicos evaluó las opciones, encontrando que solo había una ruta de disposición de los lodos pero, debido a circunstancias externas, se optó por un múltiple aprovechamiento del lodo

El lodo residual se seguirá usando en la agricultura, pero del proceso elegido se obtendrá un producto de calidad para otros usos.

Proceso térmico de secado de lodos

El secado térmico de los lodos ofrece un producto de uso flexible, eficiente, ambientalmente aceptable y de poco volumen. Este no es un proceso total de disposición final. Sin embargo, el producto puede ser ajustado de acuerdo con las necesidades del momento, obteniendo productos con un contenido de sólidos secos de hasta el 95%. La planta de Jersey tendrá la capacidad para producir uno o combinación de los productos siguientes:

- 3% de sólidos secos para agricultura

- 20-30% de sólidos secos para acondicionamiento de tierras
- 50-95% de sólidos secos para sustituto de fertilizantes o para combustible

Proceso

El proceso de secado de lodos se desarrolló en Europa, ya sea como parte de un incinerador o como proceso independiente para el secado de sólidos en la industria de desechos. La planta que se instaló en Jersey fue manufacturada por Swizz-Combi de Zurich.

La planta Swizz-Combi emplea el proceso directo de secado, por lo que el lodo entra en contacto directo con el calor, en este caso es aire caliente.

El lodo previamente drenado se mezcla con lodo seco recirculado del tamizador, se alimenta al secador de tambor. El lodo caliente se introduce al secador a 450°C y este flujo de aire caliente evapora el agua del lodo y ayuda a transportar los gránulos de sólidos a través del secador.

Al dejar el secador de tambor, el sólido seco se separa de la mezcla vapor/aire en un filtro-bolsa. El sistema filtro-bolsa se usa y se limpia automáticamente por un pulso de flujo inverso de un compresor de aire.

El material seco que sale del filtro se lleva en una banda transportadora al tamizador. Los granos grandes y los polvos finos se reciclan, solo el grano medio se transporta al silo de enfriamiento.

La mezcla aire/vapor del filtro pasa directamente a un condensador de espumas y el agua se condensa. Los condensados salen a una temperatura de aproximadamente 85-90°C. Este calor se aprovecha para precalentar el lodo de la alimentación.

El aire lavado se regresa al calentador como aire de combustión primaria, esto elimina los olores que pudieran presentarse.

Impacto ambiental

Emisiones a la atmósfera: Los vapores producidos durante el secado contienen, en esencia, los mismos componentes que se eliminan durante la incineración, excepto por los metales pesados pues no es probable que puedan volatilizarse a estas temperaturas, aunque los vapores no son lanzados a la atmósfera, sino que son condensados. Algunos vapores no condensados y gases se regresan al horno, destruyendo los compuestos orgánicos y partículas gaseosas, lo que evita la proliferación de malos olores.

Dependiendo del origen de la energía usada, es probable que el mayor impacto ambiental provenga de la expulsión de bióxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno a la atmósfera.

La planta de secado de lodos cuenta con un sistema apropiado de control de emisiones por lo que no hay problema en cumplir las normas alemanas o suizas de control ambiental.

La planta Swiss-Combi está diseñada para trabajar a presión ligeramente negativa, para asegurar que no se escapen polvos durante el proceso.

Demanda de energía

El secado de lodos es un proceso intensivo en energía, por lo que los costos en este rubro pueden afectar significativamente la viabilidad económica del proyecto. En este caso, parte de la energía es suministrada por el biogás generado en el reactor anaerobio y el resto por combustóleo, lo que reduce los costos.

4.3 CIUDAD DE KOTKA, FINLANDIA (Vaananen y col., 1992)

La Ciudad de Kotka, con una población de 59,000 habitantes, está situada en el delta del río Kimi. Muchas de las áreas residenciales y de las industrias están localizadas en islas. Numerosas tuberías de descargas de aguas residuales se localizan en diferentes partes de la ciudad.

El sistema de drenaje de la ciudad sirve a la mayoría de los ciudadanos (51,000). Éste se divide en dos partes, cada una con su propia planta de tratamiento de aguas. Las plantas de tratamiento de aguas aplican el sistema de lodos activados, seguido de un proceso combinado de precipitación.

La ciudad de Kotka tiene muchas industrias. Las más importantes están en la línea de productos forestales: United Paper Mill Ltd., produce alrededor de

20,000ton de papel higiénico anualmente; A. Ahlstrom Corporation, que produce 45,000ton de cartón al año y Suomen Kuiturevy Ltd., que tiene una capacidad de producción de 30,000ton de plafón al año. También hay una gran cantidad de fábricas de pulpa de papel que, en total, producen 840,000ton de fibra. Por su parte, la industria alimenticia produce 20,000ton/año de "xiliton", fructosa y glucosa.

La mayoría de las industrias dan un tratamiento primario de sus efluentes, algunas inclusive cuentan con tratamiento secundario. La pequeña industria bombea sus aguas a los drenajes municipales para que sean procesadas en las plantas de tratamiento de la ciudad

Cada una de las plantas tienen condiciones particulares para las descargas residuales ligeramente diferentes. Dentro de pocos años todas las plantas tendrán que dar tratamiento secundario a sus descargas.

La gran diferencia en las condiciones de descarga es el nivel de concentración de fósforo. La ciudad debe eliminar el 85% de éste, mientras que las industrias papeleras no producen niveles significativos de fósforo.

El primer estudio de factibilidad del proyecto de unir el tratamiento de aguas fue en 1986. En ese tiempo, se incluían todas las industrias y la ciudad. Desde entonces se han hechos varios estudios de factibilidad. Algunas de las industrias se has separado del proyecto, debido a las nuevas restricciones en las descargas de aguas residuales industriales. Estas han instalado sus propias plantas de tratamiento secundario

El proyecto de unir el tratamiento de aguas tiene como siguiente paso hacer un tratado para la fundación de la Compañía de Tratamiento Unificado, para la implantación del proyecto que sería completado para 1994 (no se ha publicado algo más reciente que confirme esto).

Tipo y cantidad de las aguas residuales

Las aguas residuales de la ciudad de Kotka se pueden dividir en tres grupos: aguas residuales de la industria forestal; aguas residuales de la industria alimenticia y aguas residuales municipales, la cual contienen pequeñas cantidades de residuos industriales.

Las propiedades de las descargas de la industria forestal, dependen del tipo de proceso. El proceso más comúnmente usado para la pulpa es el proceso Kraft, aunque algunas compañías emplean también los procesos TMP y CTMP. La concentración de DBO_7 de la industria de la pulpa es ligeramente más alto que el municipal. El color es café y el agua tiene menos sólidos suspendidos, que consisten de fibra. Las papeleras tienen clarificadores primarios, para la separación de los sólidos suspendidos, las descargas residuales también contienen compuestos orgánicos clorados. La cantidad de compuestos orgánicos clorados y otros compuestos químicos es poca y no afectan al proceso de lodos activados. La relación $DBO:N:P$, es desfavorable para el proceso de lodos activados. Las aguas residuales tienen que someterse a un tratamiento primario y a la adición de nutrimentos para favorecer este proceso biológico.

La concentración de materia orgánica biodegradable soluble, medida como DBO₇, del agua residual de las otras industrias es un poco menor que la de las aguas municipales, al igual que el contenido de nutrimentos.

La temperatura de las descargas residuales de la industria forestal se encuentra en el límite superior para el tratamiento biológico por lo que se hace necesario enfriarlas ligeramente.

El proceso de lodos activados combinado con precipitación simultánea, es el método más empleado en el tratamiento de aguas residuales municipales en Finlandia. También las plantas de productos forestales y alimenticios emplean dicho proceso.

Factibilidad para unir el tratamiento

El proceso de lodos activados se ha empleado en la industria de la pulpa de papel desde 1984. A finales de 1989, habían 20 plantas trabajando con este proceso. Con este método se elimina más del 90% de la carga de DBO₇ y la remoción de materia disuelta medida como DQO empleando dicromato de potasio (COD_{Cr}) es de cerca del 70%.

El tratamiento anaerobio no es muy común en Finlandia. Solo existen 3 plantas de papel que lo emplean. Este proceso es más común para compuestos orgánicos ya que su biodegradación es lenta.

Las fábricas y la ciudad usan el sistema de lodos activados para el tratamiento de aguas. El tratamiento primario es el mismo para el tratamiento en conjunto, que por separado. Los residuos líquidos de la industria forestal requieren de la adición de nutrimentos antes del proceso de lodos activados. Al juntarlos, se tiene la ventaja de que, como las aguas residuales municipales tienen gran cantidad de nutrimentos, que será menor la adición de estos.

En el tratamiento de aguas residuales municipales se reduce la concentración de fósforo por precipitación. En el tratamiento conjunto, la mayoría de éste se eliminará en el proceso de lodos activados, incluyendo el nitrógeno (al formar parte del material celular generado)

La toxicidad no será problema para el proceso de tratamiento de aguas, ya que se puede eliminar durante el tratamiento primario en las industrias. Generalmente, las aguas residuales de la industria forestal tienen cantidades muy pequeñas de compuestos tóxicos por lo que no se requiere tratamiento previo, excepto para compuestos orgánicos clorados. Los compuestos orgánicos se eliminan en un pequeño intervalo durante el proceso de lodos activados. A escala industrial se ha encontrado que el proceso de lodos activados elimina un 50% de compuestos orgánicos halogenados (AOX). Así que en el tratamiento conjunto con la baja carga de AOX, se espera que se puedan eliminar durante el proceso de lodos activados.

La mayoría de las industrias cuentan con una planta de tratamiento primario, por lo que en el proyecto conjunto se mantendrá el tratamiento primario por separado. Los lodos residuales primarios también se estabilizarán de manera diferente.

Sistema de drenaje

Hasta ahora las redes de drenajes cubren la ciudad por completo. La red consta de drenaje sanitario y drenaje pluvial por separado. Para el proyecto de tratamiento de aguas conjunto sólo se incluye el drenaje sanitario. Los drenajes fueron diseñados de acuerdo con la cantidad de población, incluyendo establecimientos públicos, privados, negocios y pequeñas industrias.

Para el tratamiento conjunto se adicionan algunos tramos para sustituir los que estén en malas condiciones o para incluir algunas industrias.

Planta de tratamiento conjunto

La ciudad tiene dos plantas de tratamiento de aguas de lodos activados. La de Sunila tiene capacidad para 15,000m³/d y la de Mussalo es de 25,000m³/d. El promedio anual de eliminación de la materia orgánica biodegradable, medida como DBO y como reducción de fósforo es del 90% en ambas plantas. Se decidió que el tratamiento conjunto de las aguas se efectúe en Mussalo. La planta existente será una parte de la nueva planta de tratamiento de aguas en conjunto.

La planta de Mussalo consta de cernidor, aerador, desarenador, clarificador primario, platos aeradores, clarificador secundario, dosificador de compuestos químicos y tratamiento de lodos. La planta tiene dos líneas.

La planta de tratamiento de aguas en conjunto aprovechará la ya existente y se construirán algunas unidades nuevas: Aerador primario, aerador adicional y un clarificador secundario, además de ampliar el tratamiento de lodos. La capacidad de esta planta será de:

- Flujo, 56,000m³/d
- Materia orgánica biodegradable, 11,000kg DBO₇/d
- Sólidos suspendidos, 13,000kg/d

Los cálculos de balance de nutrimentos muestran que hay suficientes para el proceso de lodos activados. La relación de DBO₇ a nitrógeno será la siguiente:

- Durante el día DBO₇:N: P 100:6.0:1.1
- En la noche DBO₇:N: P 100:3.4:0.6
- Promedio DBO₇:N: P 100:5.3:1.0

Debido a la baja cantidad de nutrimentos durante la noche será necesario adicionarlos, ya que se debe asegurar el suministro apropiado durante el proceso de lodos activados.

Para el tratamiento de aguas municipales es necesario precipitar el fósforo, la planta de Mussalo tiene equipo de precipitación simultánea. Se propuso que los

límites en el contenido de fósforo de la descarga sea la misma (42kg/d), independientemente de que sea el tratamiento conjunto o por separado.

Disposición de lodos

Se tiene dos opciones el tratamiento de lodos. La primera es el composteo en pila por el método de la pila estática y la otra es el tratamiento anaerobio, siendo esta última más económica de operar pero el costo de inversión es mayor. El lodo procesado se emplea en el acondicionamiento de suelos, en agricultura, en campos y en parques.

Organización

Se ha decidido formar una compañía de tratamiento conjunto para que se encargue tanto de la ampliación de la planta de Mussalo como de la administración de la misma y del mantenimiento de la planta y de los drenajes construidos para este propósito. Los gastos de ampliación, operación y mantenimiento de la planta se reparten entre los miembros, de acuerdo con la cantidad y calidad de descargas que envíen a la planta.

4.4 RESUMEN DE LAS PROPUESTAS PLANTEADAS A NIVEL MUNDIAL

Los puntos importantes a destacar de los casos descritos en este capítulo son:

- El proceso de tratamiento de aguas residuales para los tres casos descritos en este capítulo es el llamado de lodos activados, seguido de un proceso de precipitación de fosfatos.
- El objetivo del tratamiento de las aguas residuales municipales es evitar que contaminen los cuerpos acuíferos receptores a donde se vierten (no hay reuso del agua tratada).
- El tratamiento y disposición de los lodos residuales producto del tratamiento de aguas es una parte integral del proceso de tratamiento.
- Los métodos empleados para el tratamiento de los lodos de las aguas residuales municipales, son los descritos en capítulos anteriores, adaptados a las condiciones de cada lugar (Secado térmico, lagunas de estabilización, tratamiento aerobio, tratamiento anaerobio y secado).
- La disposición de los lodos de las aguas residuales municipales es muy flexible y se puede adaptar a las condiciones y requerimientos de cada lugar (mejorador de suelos, relleno sanitario, composteo e incineración).
- El tratamiento de las aguas residuales municipales incluye la precipitación de fosfatos (provenientes del uso de detergentes), lo cual es muy importante ya que se evita verterlo a los cuerpos acuíferos receptores (los fosfatos facilitan la proliferación de plantas acuáticas que disminuyen el oxígeno del agua y pueden potencialmente causar la disminución de la fauna acuática).

En el capítulo siguiente se presentan los métodos de tratamiento de lodos en tres de las plantas de tratamiento de aguas en la Ciudad de México.

CAPÍTULO 5

APLICACIÓN A LA SITUACIÓN DE LAS PLANTAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

5.1 PLANTA CHAPULTEPEC

La planta Chapultepec, inició operaciones en 1956. Está ubicada en Boulevard Manuel Ávila Camacho y Paseo de la Reforma. La capacidad instalada es de 160 L/s y la capacidad de operación es de 100 a 110 L/s. Las aguas procesadas en esta planta son del área de Bosques de las Lomas y Reforma por lo que son de tipo doméstico y de pequeña industria (gasolineras y restaurantes y pequeños comercios). El proceso es el llamado de lodos activados a nivel secundario (según se describe en 1.2). El efluente producto de esta planta se emplea para el riego de áreas verdes de la Delegación Miguel Hidalgo y para mantener el nivel de las aguas de los lagos del Bosque de Chapultepec.

Los lodos residuales tanto del desarenador, el sedimentador primario así como parte de los del sedimentador secundario que, en total, son aproximadamente 2.3ton/día se vierten directamente al drenaje de la Ciudad de México sin tratamiento previo.

Becerril-Flores (1991) determinó la presencia de parásitos en los lodos primarios y secundarios en esta planta. Encontró que los lodos primarios tienen mayor cantidad y variedad de parásitos patógenos (Entamoeba histolytica, Giardia lamblia, Entamoeba coli, Ascaris lumbricoides, Strongyloides Sp., Trichuris

trichiura, Himenolepis nana, Himenolepis diminuta, Fasciola hepática) que en los secundarios (Entamoeba histolytica, Entamoeba coli y Strongyloides Sp.) y que ambos constituyen un riesgo al ser vertidos a los drenajes sin tratamiento o estabilización previos (Datos tomados al visitar la planta en 1995)

Se tiene un área en la que se construyó una pileta para tratamiento aerobio de lodos pero no se puso en operación. Esta pileta se podría modificar y equipar para utilizarse en la digestión o maduración anaerobia de los lodos para evitar que se siga purgando el lodo crudo a los drenajes. Haciendo un balance de materia groso modo empleando la información existente en la literatura (Metcalf y Eddy, 1991), se puede calcular el volumen de lodos generados.

SE TIENE :

Tabla 1

DATOS DEL PROCESO DE LA PLANTA CHAPULTEPEC

*FLUJO m ³ /d (F)	9,504
**DBO kg/m ³	0.148
*SÓLIDOS TOTALES kg/m ³	0.150

*Nota Datos tomados de la bitácora de operación de la planta (1995)

**Dato estimado, no se efectuaron análisis para determinar DBO por falta de reactivos y materiales

Tabla 2

DATOS TEÓRICOS

ρ Gravedad específica del agua	9.81
ρ Gravedad específica del lodo	1.02
% de humedad	95

Nota: Datos tomados de Metcalf & Eddy (1991)

Cálculo teórico del flujo volumétrico de los lodos ($Q \text{ m}^3/\text{d}$)

$$Q = ((\text{Concentración de sólidos } \text{kg}/\text{m}^3)(F \text{ m}^3/\text{d})) / ((\rho_{\text{lodo}})(\rho_{\text{agua}})(\% \text{ de humedad}))$$

$$Q = (0.150 \text{ kg}/\text{m}^3) \times (9,504 \text{ m}^3/\text{d}) / (1.02(998.1 \text{ kg}/\text{m}^3)(0.05)) = 28 \text{ m}^3/\text{d}$$

Carga de DBO kg/d (flujo másico por día)

$$\text{DBO}_l = (\text{DBO } \text{kg}/\text{m}^3)(F \text{ m}^3/\text{d})$$

$$\text{DBO}_l = (0.148 \text{ kg}/\text{m}^3)(9,504 \text{ m}^3/\text{d}) = 1,407 \text{ kg}/\text{d}$$

Para un proceso anaerobio de tratamiento de lodos, el volumen ($V_R \text{ m}^3$) del reactor (suponiendo que el tiempo requerido de permanencia del lodo en el reactor es de 10 días) sería:

$$V_R = Q (\text{tiempo } (\text{d}))$$

$$V_R = (\text{Flujo del lodo } (\text{Qm}^3/\text{d}) \times \text{Tiempo } (\text{días})) = (28 \text{ m}^3/\text{d})(10 \text{ d}) = 280 \text{ m}^3$$

La reacción que se lleva a cabo en el reactor es:



Para calcular la carga teórica de metano producido en el reactor, se tiene de la literatura que se producen 0.25kg de metano por 1kg de DBO. Suponiendo una eficiencia del 60% (debido a que el lodo no solo está constituido por materia orgánica, sino también por sólidos volátiles y otros), se tiene que la cantidad de metano producido en kg/ día es de:

$$\text{kg/d de metano} = (0.25\text{kgmetano/kgDBO})(Q\text{kg/d})(\text{Eficiencia})$$

$$\text{kg/d de metano} = (0.25\text{kgmetano/kg DBO})(1,407\text{kg/d})(0.6) = 211 \text{ kg/d}$$

Un mol de gas ocupa un volumen de 22.4L, a 1atm de presión y temperatura de 273K

$$V_{\text{metano}} = (\text{kg/d de metano}) / (1\text{gmol del metano}) \times (V_{\text{mol del metano}})$$

$$V_{\text{metano}} = (465\text{kg/d}) / (1\text{mol}/16\text{g}) \times (22.4\text{L}/\text{mol}) \times (1000\text{g}/\text{kg}) \times (\text{m}^3/1000\text{L}) = 296\text{m}^3/\text{d de CH}_4$$

Además del metano, se produce CO₂ y otros gases, producto de las diferentes reacciones anaerobias que se llevan a efecto en el reactor. El metano representa aproximadamente del 60-70% del total generado

El volumen total de gas generado se obtiene de:

$$V_T = (\text{Volumen de metano}) / (1 / (\% \text{ de metano}))$$

$$V_T = (296\text{m}^3/\text{d}) / (0.33) = 897\text{m}^3/\text{d}$$

El volumen de lodos a la salida del reactor sería de aproximadamente (suponiendo una reducción del volumen del 80%):

$$V_{\text{lodos}} = 28 \text{ m}^3/\text{d} (0.2) = 5.6 \text{ m}^3/\text{d}$$

Estos lodos podrían ser drenados en un filtro prensa o bien secados en un secador del tipo flash o rotatorio. Los sólidos secos pueden ser utilizados como mejoradores de suelos en el bosque de Chapultepec y en las áreas verdes de la Delegación Miguel Hidalgo.

El gas metano producido por el reactor anaerobio una vez lavado puede utilizarse como combustible o para generar energía eléctrica, además de mantener el reactor anaerobio a 35-40°C.

5.2 PLANTA SAN LUIS TLAXIALTEMALCO

Esta planta, maneja un flujo de 56 L/s de aguas residuales provenientes de la zona de Xochimilco, por lo que es de origen totalmente doméstico. El proceso es a nivel "terciario" de acuerdo con los panfletos distribuidos por la administración (1995) y además, incluye un sistema aerobio de concentración de lodos.

Es la única planta en el Distrito Federal que lleva a cabo un tratamiento, aunque parcial, de los residuos generados en la planta (aproximadamente 1.13ton/día). El proceso consiste en la concentración aerobia de los lodos en un tanque aerador,

donde permanecen por aproximadamente 4-6días, hasta que tienen la "maduración" requerida. Posteriormente, se pasa a un tanque de "espesado" de donde se bombean a lechos de arena donde permanecen hasta que el agua se ha drenado por completo (El agua residual aparentemente se va al subsuelo ya que no se observaron, durante la visita (en 1995), tuberías de retorno de lixiviados a la planta).

El lodo seco se levanta con rastras (manualmente), se deposita en una depresión del terreno dentro de la planta y se cubre con pasto proveniente de la poda de las áreas verdes de la planta. No se detectaron malos olores ni aspecto desagradable y, sobre este lodo espesado y secado, crecen diversos tipos de pastos, hierbas y arbustos.

La zona atedaña a la planta es de tipo agrícola y de chinampas y se ha ofrecido a los agricultores el lodo para que lo utilicen como mejorador de suelos, pero ningún agricultor ha estado interesado en el producto. Esto ha sido afortunado ya que la "maduración" aerobia no elimina a los organismos patógenos y dado que el cultivo es esencialmente de hortalizas éstas estarían contaminadas con microorganismos patógenos.

Con los residuos sólidos obtenidos en los 3 años de operación de la planta, los operadores de la planta informan que se han rellenado probablemente un volumen de aproximadamente 6-8m³ de la depresión. Es importante destacar que no cuantifican los residuos sólidos obtenidos ni se monitorea la presencia de microorganismos patógenos o cualquier otro tipo de materia contaminante, por lo que no se puede asegurar que dichos residuos sean inocuos.

Repitiendo la evaluación hecha para la planta de Chapultepec, con un sistema anaerobio de tratamiento de lodos, se obtiene:

Tabla 3

DATOS DEL PROCESO DE LA PLANTA SAN LUIS TLAXIALTEMALCO

*FLUJO m ³ /d	4,838
**DBO kg/m ³	0.148
*SÓLIDOS TOTALES kg/m ³	0.150

*Nota: Datos tomados de la bitácora de operación de la planta (1995)

** Dato estimado (no se efectúan análisis para determinar DBO por falta de reactivos y materiales)

Tabla 4

RESULTADOS

Q carga de lodos (m ³ /d)	14
V _R volumen del tanque (m ³)	142
V _M de gas metano (m ³ /d)	151
V _G (total de gas) m ³ /d	458
V _L (lodo a la salida) m ³ /d	2.86

*Estimado de 3 años de operación de la planta

Para calcular la cantidad de sólidos secos, se supone una densidad de los lodos a la salida del reactor de 1.02 ton/m³, con una humedad aproximada del 97% en peso.

$$\rho = m/kg/vM ; \quad m = \rho \cdot V$$

La carga de lodos en ton/d = $Q \cdot \rho = (2.8\text{m}^3/\text{d})(1.02) = 2.86 \text{ ton/d}$

La cantidad de sólidos secos es:

SS = Sólidos secos = (carga de lodos ton/d) (1-(% humedad))

Sólidos secos = $(2.86\text{kg/d})(0.03) = 0.086 \text{ ton/d}$

Los residuos sólidos (sólidos secos) generados en tres años de operación de la planta serían de aproximadamente:

Sólidos secos kg/3años = $(\text{kg/ día de ss})(365\text{d/año})(3\text{años})$

$(0.086\text{ton/d})(3\text{años})(365\text{d/año}) = 94.17\text{ton}$ de sólidos secos en tres años de operación de la planta.

5.3 PLANTA CERRO DE LA ESTRELLA

Esta planta es la más grande del Distrito Federal. Tiene una capacidad instalada de 4000L/s. Actualmente procesa 1900L/s de aguas residuales domésticas y de origen industrial, ya que en el área se ubican una gran cantidad de industrias, tanto químicas como manufactureras y farmacéuticas. Esta planta produce alrededor de 38.5ton/día de lodos residuales, que se vierten directamente al drenaje .

Esta planta se reporta también como de tratamiento a "nivel terciario", pero los tanques de aeración (para retirar grasas y detergentes) y los filtros de

arena/grava/antracita no están funcionando, por lo que el proceso sigue siendo secundario.

El efluente producido se destina a riego agrícola y de áreas verdes de la Delegación Iztapalapa, para mantener el nivel de los canales recreativos de Xochimilco, para lavado de autos y se tiene el proyecto de inyectar agua al manto acuífero de Santa Catarina con el propósito de disminuir el hundimiento de la Ciudad de México, esto último puede ser muy riesgoso debido a que las descargas son en parte de origen industrial y pueden contener compuestos orgánicos e inorgánicos peligrosos que, por no ser biodegradables salen de la planta como entraron (y si el agua es clorada, puede salir eventualmente con compuestos orgánicos clorados aún mas tóxicos).

Tanto en esta planta, como en las anteriores es evidente la falta de recursos, ya sea para realizar los análisis de rutina (reactivos y material de laboratorio) o en la operación (equipos descompuestos o en malas condiciones de operación).

Haciendo nuevamente un balance de materia teórico para calcular la generación de lodos secundarios se tiene lo siguiente.

Tabla 5

DATOS DEL PROCESO

*FLUJO m ³ /d	164,160
**DBO kg/m ³	0.148
*SÓLIDOS TOTALES kg/m ³	0.15

*Nota: Datos tomados de la bitácora de operación de la planta 1995

Tabla 6

RESULTADOS

Q carga de lodos (m ³ /d)	484
V de gas metano (m ³ /d)	5,109
V total de gas (m ³ /d)	15,482
V(lodo a la salida) (m ³ /d)	96.8

**5.4 RESUMEN DE LO ENCONTRADO EN LAS TRES PLANTAS
EVALUADAS.**

Problemática actual

- Las tres plantas carecen de recursos para la operación correcta de las plantas (falta de reactivos, falta de equipos y equipos descompuestos)
- El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es para ser reutilizadas en procesos que no requieren agua potable tales como; lavado de autos, riego de áreas verdes, mantener el nivel de los lagos y canales recreativos y riego agrícola.
- La planta de Chapultepec y la de Cerro de la Estrella operan por debajo de su capacidad instalada (al 50% aproximadamente) debido que algunos de los equipos no funcionan.
- El proceso de tratamiento de las aguas residuales no incluye la precipitación de los fosfatos remanentes del proceso de lodos activados.

- La planta Cerro de la Estrella se reporta en los panfletos como de tratamiento a nivel "Terciario"; sin embargo, no estaban funcionando los sistemas de filtración.
- Excepto la planta de San Luis Tlaxiatemalco, todas las plantas de tratamiento de aguas del Distrito Federal vierten los lodos producto del proceso de tratamiento de aguas a los drenajes municipales.

Condiciones de riesgo

- El agua residual que se procesa en estas plantas es del llamado tipo mixto, que contiene tanto descargas domésticas como industriales, por lo que el efluente y los lodos residuales contienen o pueden contener compuestos orgánicos e inorgánicos no biodegradables.
- El uso no racional del efluente producto de estas plantas, representa un riesgo para los cuerpos receptores ya que contiene o puede contener fosfatos (que permiten la proliferación de plantas acuáticas, como el lirio acuático, que tantos problemas causa en los canales y lagos de Xochimilco), microorganismos patógenos y compuestos orgánicos e inorgánicos no biodegradables.
- Los lodos residuales contienen o pueden contener: fosfatos, metales pesados, compuestos orgánicos e inorgánicos no biodegradables, microorganismos patógenos, plaguicidas, etc., que se vierten a los cuerpos receptores sin tratamiento ni estabilización.

CAPITULO 6

DISCUSIÓN

La revisión y evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas en el Distrito Federal arrojan como primer resultado que es urgente destinar recursos suficientes para que las aguas residuales sean procesadas en su totalidad ya que actualmente solo se atiende a nivel nacional un 14% del total generado (tomando en consideración la capacidad instalada de las plantas). Debido a que casi el 86% de las aguas residuales se van a los cuerpos receptores sin tratamiento se ha provocado que 31 de las 320 cuencas hidrológicas más importantes del país se encuentren en serios problemas de deterioro.

Por otro lado, es de suma importancia adicionar sistemas para dar tratamiento a los lodos residuales como parte integral de un sistema de tratamiento de efluentes, de otra manera se incurre en riesgos para la salud y el medio ambiente.

La literatura revisada presenta diversas formas de disposición y reuso de los lodos residuales. Uno de ellos es como acondicionador de suelos. En Suiza como ya se mencionó, el 40% de los lodos se emplean en la agricultura. En Estados Unidos el 16% (Dietrich y col., 1993) y en Alemania el 8%, entre otros. Para tomar una decisión en cuanto al proceso de tratamiento que se debe llevar a cabo a los lodos residuales de la Ciudad de México, primero se debe hacer una caracterización de los mismos con el propósito de determinar la presencia y cantidad de microorganismos patógenos y compuestos orgánicos e inorgánicos peligrosos. Los resultados indicarán el tipo de tratamiento y la forma de disposición de los lodos.

En el Distrito Federal aún existen áreas agrícolas, áreas para relleno y necesidades de energéticos por lo que una opción viable es el tratamiento anaerobio de los lodos, seguido de un proceso de secado que, dependiendo de la cantidad real producida puede realizarse en lechos de secado o por medio de mecánico, empleando el propio biogás generado (como en el caso del capítulo 4.2, en la isla de Jersey).

En el caso de los que se excedan los límites en el contenido de microorganismos patógenos o contaminantes orgánicos e inorgánicos, aún después del tratamiento anaerobio, podría ser factible una estabilización química con el fin de usar el sólido resultante como relleno sanitario en depósitos impermeables para evitar la lixiviación de contaminantes al subsuelo.

La Ciudad de México contribuye con casi una cuarta parte de la producción total nacional de lodos, por lo que se debe ampliar y mejorar el sistema de tratamiento de efluentes para frenar la contaminación de los cuerpos acuíferos a donde llegan estos residuos.

Tanto en los reportes de la antigua SEDESOL, como en los de la Comisión Nacional del Agua, existe incongruencia en los datos y se incluyen proyectos a futuro que al cambio de sexenio no se efectúan. Es por ello verdaderamente importante que se tomen medidas contundentes al respecto ya que están en riesgo los recursos naturales y la salud de los habitantes de la cuenca de México.

Con los cálculos teóricos efectuados en el capítulo 5 y las propuestas hechas en el capítulo 4 se puede proponer la siguiente solución:

- **Aumentar la capacidad instalada para poder procesar el 100% de las aguas residuales generadas.**
- **Modernizar las plantas ya existentes con sistemas de tratamiento a nivel terciario donde se incluya antes de la filtración y la desinfección, reacciones químicas y bioquímicas que permitan la separación de fosfatos y compuestos orgánicos no biodegradables.**
- **Dar tratamiento anaerobio a los lodos residuales producto del tratamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales para producir biogás, que puede ser utilizado en la misma planta como fuente de energía.**
- **El lodo que se obtiene al final del tratamiento anaerobio puede deshidratarse y emplearse como mejorador de suelos o bien disponerse en rellenos sanitarios controlados según sea el caso.**

El tratamiento anaerobio de los lodos residuales produce biogás. Si se le diera tratamiento anaerobio a los lodos residuales producto de los 184m³/s de aguas residuales generados en nuestro país (SEDESOL, 1990-1994), se obtendría un volumen de gas metano teórico aproximado de 738,512m³/día.

En México se cuenta con amplias reservas energéticas de origen fósil (petróleo, gas natural), por lo que no parece necesario buscar formas alternas de energía, sin embargo, estos recursos no son inagotables y deben irse instrumentando medidas alternativas .

El aprovechamiento de los lodos residuales como fuente de energía podría ayudar a disminuir la sobreexplotación de las reservas fósiles y la contaminación que produce la extracción del petróleo y su manejo.

El tratamiento de las aguas residuales domésticas y el tratamiento y disposición controlada de los lodos producto del tratamiento de éstas, disminuiría o evitaría la contaminación de los recursos naturales y los riesgos a la salud inherentes a su disposición no controlada.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Becerril-Flores, M. A. (1991). Parásitos: Evaluación de la contaminación biológica de los lodos primarios y secundarios de la planta de tratamiento de aguas residuales Chapultepec, mediante la identificación de parásitos. Tesis profesional Facultad de Química, UNAM, Pp 33-40,78-9. México, D. F. , México.

Burnham, J. C ; Harfield, N , Bennett, G. F. y Logan, T. J (1992). "Use of kiln dust with quicklime for effective municipal sludge pasteurization and stabilization with the N-viro soil process". Innovations and uses for lime. ASTM STP 1135, D.D. Walker, Jr , T.B Hardy, D.C. Hoffman y D.D. Stanley Eds., American Society, for Testing and Materials, pp. 124-41, Philadelphia, EEUUA.

DGCOH-DDF (1995).Informe Mensual de la Gerencia de Tratamiento de Aguas. Direccion General de Construcción y Operación Hidráulicas, Departamento del Distrito Federal, México, D. F , México.

Díaz-Burgos, M. A y Polo-Sánchez, A. (1993). "Process for composting wastewater treatment sludge mixed with lignocellulosic materials". Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Patente ES:2036925 AL Fecha 930601. Madrid, España

Diaz, L. F.; Savage, G. M.; Eggerth, L. L. y Golveke, C. G. (1989) "Composting and recycling municipal solid wastes". Lewis Publishers. Pp. 121-174. Boca Raton Florida, EEUUA.

Dietrich, A.; Chesnytt, S. A.; Stone, L. A. y Gallagher, D. L. (1993). "Determination of organic pollutants in land applied municipal wastewater sludge by toxicity characteristic leaching procedure (TCLP) and extraction procedure toxicity test (EP)". *Water Environ. Res.*, 65(5): 612-619.

Dufresne, S.; Blais, J.F.; Roy, C. y Guay, R. (1993). "Municipal wastewater treatment plant sludge: a source of organic carbon-tolerant, sulfur-oxidizing Thiobacillis and Sulfobacillus Strains". *Proc. Int. Biohydrometall. Symp. V. 2.* Pp.267-277. Québec, Canada

Durán de Bazua, (1994). "Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria química y de proceso". Pub. PIQAYQA, Facultad de Química. UNAM, México, D. F. México.

Fergusson, J. E. (1989). *The heavy elements: "Chemistry, environmental impact and health effects"*. Pergamon Press. Oxford, Inglaterra.

Frost, P.; Camenzind, R.; Mägert, A.; Bonjour, R. y Karlaganis, G. (1993). "Organic micropollutants in Swiss sewage sludge". *J. Chromatography*, 643:379-388.

Glancer-Slojan, M. (1993). "New technologies for the biological treatment of municipal and industrial waste waters by using suitable microorganisms as starter culture". *Industrial Wastewater Treatment, Kem. Ind.*, 42 (9) 323-330.

Gober, J. W. y Boyle, E. (1993) "Simple, innovative process for biosolids volume reduction". *Hazard. Ind. Wastes*, 25:409-418.

Gross, T.S. y Cohen, R. R. (1992). "Sludge disposal from an island community". *Wat. Sci. Technol.*, 25(12):33-47.

Howe, C. A. y Coker, C. S. (1992). "Co-composting municipal sewage sludge with leaves, yard wastes and other recyclables: A case study". Presentado en el 85th Annual Meeting & Exhibition EPA 92-46-06. Kansas City, Missouri. Julio 21-26, EEUUA.

Imhoff, K.R. (1992). "Sludge disposal concept of Ruhrverband". *Wat. Sci. Technol.* 25(4):289-295.

Matthews, P. (1990). A global atlas of wastewater sludge and biosolids use and disposal. IAWQ Scientific and Technical report No. 4. Londres, Inglaterra.

Mence, G. (1989). Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. Elsevier Science Publishers, Ltd. Pp 299-330. Londres, Inglaterra.

Metcalf & Eddy (1991). Wastewater engineering. McGraw-Hill Book Company, Nueva York, EEUUA.

Pons, M.N.; Potier, O.; Roche, N.; Colin, F. y Prost, C. (1993). "Simulation of municipal wastewater treatment plants by activated sludge." *Comput. Chem. Eng.* 1993, V17, numb. supl., European Symposium on Computer-Aided Process Engineering, 2, 1992, PS227-5232

SEDESOL (1990-1994) Programa nacional para la protección del medio ambiente 1990-1994. Secretaría de desarrollo urbano y ecología. Instituto nacional de ecología. Pp.17-24, 27-9, 41-3, 52-6. México, D. F., México

SEDESOL (1993-1994). Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1993-1994. Secretaría de desarrollo social. Instituto nacional de ecología Pp. 109-128. México, D. F., México

Tay, J.-H. y Show, K.-Y. (1993). "Municipal wastewater sludge as cementitious and blend cement materials". *Cement & Concrete Composites*, 16:39-48.

Tyagi, R. D.; Blais, J.-F. y Auclair, J. C. (1992). "Semi-continuous bacterial leaching process". Institut National de la Recherche Scientifique (CA/CA); IPC-CO2F11/00,3/34. IPN-WO 92/19551.PCT/182/00184. Paris, Francia.

Väänänen, P.; Pouttu, P. y Kulmala, T. (1992). "Joint treatment of industrial and municipal wastewater. Case project: City of Kotka, Finland". *Wat. Sci. Tech.*, 25(1):83-92.

Vesilind, P.A.; Hartman, G.C.; Skene, E.T. (1988). "Sludge management and disposal for the practicing engineer". Lewis Publishers, Inc. Pp 3-47pp. Boca Raton Florida, EEUUA.

BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

Chau, Y.K.; Zhang, S. y Magure, J. R. (1991). "Ocurrence of butyltin species and sludge in Canada" . National Water Research Institute, Dept. of Environment, Canada Centre for Inland Waters. *The Science of the Total Environment*, 121:271-281.

Low, P. y Shaw, D. (1992) "Development of the membrane filter press for the processing of sewage sludge". *Wat. Sci. Tech.*, 25(4-5):297-305.

Morales-Suárez-Varela, M.M.; Llopis-González, A.; Bornace-Bonora, I. y García García, C. (1994) "Use of physicochemical processing in treating urban waste waters". *Intl. J. Environm. Studies*, 45:99-209.

Ortiz-Hernández, M. L. 1994. "Caracterización y propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de Civac, Estado de Morelos". Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, UNAM. Pp. 1-39. México, D. F. México.

Sarikaya, H. Z.; Al- Marshoud, S. (1993). "Improvement of dewatering characteristics of aerobically digested sludges". *Wat. Sci. Technol.*, 28:(1):47-51