

**MONOGRAFIA**  
**TRATAMIENTO Y ADECUADA DISPOSICION DE LODOS DOMESTICOS E**  
**INDUSTRIALES**

**SEBASTIAN BUILES BLANDON**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE TECNOLOGIAS**  
**TECNOLOGIA QUIMICA**  
**PEREIRA**  
**2010**

**MONOGRAFIA**  
**TRATAMIENTO Y ADECUADA DISPOSICION DE LODOS DOMESTICOS E**  
**INDUSTRIALES**

**SEBASTIAN BUILES BLANDON**

**Trabajo de monografía para optar el título de Tecnólogo Químico**

**Director: Carlos Humberto Montoya Navarrete**  
**Químico Industrial**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE TECNOLOGIAS**  
**TECNOLOGIA QUIMICA**  
**PEREIRA**  
**2010**

**Nota de aceptación**

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Pereira, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Ti, a Él, a Ellos, a Todos quienes siempre estuvieron allí y llenos de  
esperanza aguardaron este momento.... GRACIAS**

**CUANDO LA GRATITUD ES TAN ABSOLUTA LAS PALABRAS SOBRAN**

**ALVARO MUTIS**

## CONTENIDO

INTRODUCCION .....	17
1. JUSTIFICACIÓN .....	18
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	21
3. OBJETIVOS .....	22
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	22
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
4. DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR .....	23
5. CRONOGRAMA .....	24
6. PRESUPUESTO .....	25
7. CAPITULO I: PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LOS DIVERSOS LODOS .....	26
7.1. GENERALIDADES .....	26
7.1.1. CLASIFICACION DE LOS LODOS .....	26
7.1.2. CONTAMINANTES MÁS GENERALES.....	27
7.2. LODOS PROCEDENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: PROCESO GENERAL Y CARACTERISITICAS .....	29
7.3. LODOS PROCEDENTES DE POZOS SEPTICOS: PROCESO GENERAL Y CARACTERISITICAS [49] .....	32
7.4. LODOS PROCEDENTES DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: PROCESO GENERAL Y CARACTERISITICAS [19] .....	36
7.4.1. DESCRIPCION DEL PROCESO Y FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	37
7.5. LODOS PROCEDENTES DE TRAMPAS DE GRASA: PROCESO GENERAL Y CARACTERISITICAS.....	40
8. CAPITULO II : SISTEMAS DE TRATAMIENTO EXISTENTES.....	43
8.1. GENERALIDADES.....	43
8.1.1. CLASIFICACION DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS .....	45
8.2. PROCESOS DE ESTABILIZACION DE LODOS.....	46
8.2.1. DIGESTIÓN ANAEROBIA [37].....	46
8.2.1.1. TIPOS DE DIGESTORES ANAEROBIOS [47] .....	48
8.2.1.2. MICROBIOLOGÍA DEL PROCESO .....	51

8.2.1.3. FORMA DE LOS TANQUES.....	52
8.2.1.4. GAS COMO SUBPRODUCTO DE LA DIGESTION.....	52
8.2.2. DIGESTION AEROBIA [30].....	53
8.2.3. ESTABILIZACION QUIMICA.....	56
8.2.4. TRATAMIENTO TERMICO .....	58
8.2.5. COMPOSTAJE.....	60
8.3. PROCESOS DE CONCENTRACION O ESPESADO DE LODOS.....	61
8.3.1. ESPESADO POR GRAVEDAD O SEDIMENTACION [30] .....	61
8.3.2. ESPESADO POR CENTRIFUGACION.....	62
8.3.2.1. HIDROCICLONES .....	63
8.3.2.2. CAMPANA TUBULAR CENTRIFUGA.....	64
8.3.2.3. CÁMARAS-CAMPANA DE CENTRIFUGACIÓN.....	66
8.3.2.4. CENTRIFUGADOR DE CESTA IMPERFORADA.....	67
8.3.2.5. SEPARADOR DE DISCOS .....	68
8.3.2.6. DECANTADOR .....	68
8.3.3. ESPESADO POR DESHIDRATACION.....	71
8.3.3.1. LECHOS DE SECADO .....	71
8.3.3.2. FILTRO BANDA .....	72
8.3.3.3. FILTRO PRENSA.....	72
8.3.4. ESPESADO POR FLOTACION .....	75
8.4. PROCESOS DE INCINERACION .....	77
8.4.1.1. HORNOS DE PARRILLAS [59].....	81
8.4.1.2. HORNO ROTATORIO.....	82
8.4.1.3. HORNOS DE LECHO FLUIDIZADO .....	83
9. CAPITULO III: BIOSOLIDOS, DISPOSICION FINAL Y POSIBLES USOS DE LODOS TRATADOS.....	85
9.1. BIOSOLIDOS Y SUS CARACTERISTICAS .....	85
9.2. DISPOSICION FINAL DE LODOS TRATADOS .....	88
9.2.1. ENCAPSULAMIENTO.....	88
9.2.2. FIJACION QUIMICA O SOLIDIFICACION (FQS) .....	89
9.2.3. COBERTURA FINAL DE RELLENOS SANITARIOS .....	89
9.2.4. INCORPORACION A RELLENO SANITARIO .....	90
9.3. POSIBLES USOS DE LODOS TRATADOS [23].....	91

9.3.1. AGRICOLA Y FORESTAL [62].....	91
9.3.2. RECUPERACION DE SUELOS DEGRADADOS Y RECUPERACION DE PAISAJES.....	92
9.3.3. OTROS USOS .....	93
9.3.3.1. FABRICACIÓN DE LADRILLOS [4][11](25)[67] .....	93
9.3.3.2. FABRICACIÓN DE HORMIGÓN.....	94
9.3.3.3. UTILIZACIÓN DE CENIZAS .....	94
10. CONCLUSIONES.....	95
BIBLIOGRAFIA.....	97

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL LODO A TRATAR [21].	19
TABLA 2. CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBRES PARA DESTINACION DE RECURSO HIDRICO [50].	30
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE [55].	31
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS CONVENCIONALES DE LOS RESIDUOS SÉPTICOS [21].	34
TABLA 5 . CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÉPTICOS [74].	34
TABLA 6. PRINCIPALES PARAMENTROS DEL AGUA RESIDUAL PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES [19].	38
TABLA 7. RESIDUOS SÓLIDOS RETENIDOS EN PRETRATAMIENTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES [19].	38
TABLA 8. CARACTERIZACIÓN AGUA TRATADA [19].	39
TABLA 9. CAPACIDADES DE RETENCIÓN DE GRASA [49].	41
TABLA 10. CANTIDAD DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$ NECESARIA PARA MANTENER EL PH POR ENCIMA DE 12 DURANTE 30 MINUTOS [69].	58
TABLA 11. PARAMETROS DE DISEÑO PARA ESPESADORES [30].	62
TABLA 12. PROPIEDADES FISICAS DE LAS CENIZAS.	79
PROPIEDADES QUÍMICAS	79
TABLA 13. PROPIEDADES QUIMICAS DE LAS CENIZAS PROCEDENTES DE PLANTAS ESPAÑOLAS Y OTRAS FUENTES [59].	79
TABLA 14. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PRINCIPALES PTAR DE COLOMBIA [16].	85
TABLA 15. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS BIOSÓLIDOS DE COLOMBIA Y SU COMPARACIÓN CON BIOSÓLIDOS DE EEUU Y LA UE [16].	86
TABLA 16. CARACTERÍSTICAS AGROLÓGICAS DE LOS BIOSÓLIDOS DE COLOMBIA [16].	87
TABLA 17. INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL EN BIOSÓLIDOS DE COLOMBIA [16].	87



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ALTERNATIVAS PLANTEADAS PARA TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS [14].....	44
FIGURA 2. LÍNEAS MÁS COMUNES EN EL TRATAMIENTO DE LODOS [18] ..	45
FIGURA 3. MECANISMO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS [8] .....	47
FIGURA 4. DIGESTOR ANAEROBIO DE CARGA BAJA [47].....	49
Fuente: METCALF & EDDY, 1991 .....	49
FIGURA 5. DIGESTOR ANAEROBIO DE CARGA ALTA [47].....	50
Fuente: METCALF & EDDY, 1991 .....	50
FIGURA 6. DIGESTOR ANAEROBIO DE CARGA ALTA [47].....	50
FIGURA 7. DIGESTOR DE DOBLE ETAPA [47].....	51
Fuente: METCALF & EDDY, 1991 .....	51
FIGURA 8. TANQUES OVALADOS PARA DIGESTIÓN DE LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL SAN FERNANDO [47][30].....	53
FIGURA 9. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO AEROBIO DE LODOS [72].	54
FIGURA 10. DIAGRAMA DE FLUJO COMBINADO DE LOS PROCESOS ZIMPRO PORTEUS [57].....	60
FIGURA 11. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN HIDROCICLON [18]....	64
FIGURA 12. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CAMPANA TUBULAR CENTRIFUGA [3][39].....	65
FIGURA 13 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE CÁMARAS-CAMPANA DE CENTRIFUGACIÓN [3][39].....	66
FIGURA 14. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN CENTRIFUGADOR DE CESTA IMPERFORADA [3][39].....	67
FIGURA 15 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SEPARADOR DE DISCOS [3][39] .....	68
FIGURA 16 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN DECANTADOR [3][39].	69
FIGURA 17. ESQUEMA DE UN FILTRO-PRENSA [1].....	74
FIGURA 18. ESQUEMA DE UN FILTRO PRENSA [27] .....	75
FIGURA 19. RELACION ENTRE EL TIPO DE HORNO Y EL RESIDUO A INCINERAR [59] .....	80
FIGURA 20. ESQUEMA DE HORNO DE PARRILLAS [59].....	81
FIGURA 21. HORNO ROTATORIO TIPICO CON CAMARA DE POST COMBUSTION [59].....	82
FIGURA 22. HORNO DE LECHO FLUIDIZADO [35].....	83

FIGURA 23 COBERTURA ORGANICA CON BIOSOLIDOS O LODOS ESTABILIZADOS EN EL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA.....90

FIGURA 24. SUELOS RECUPERADOS CON BIOSOLIDOS PROCEDENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....93

## GLOSARIO

**ABLANDAMIENTO:** Proceso para reducir la dureza del agua debido a la presencia de iones de calcio y magnesio. Normalmente es por precipitación química, pero también puede ser por intercambio iónico u otros procesos específicos.

**ACETOGÉNESIS:** La acetogenesis es el proceso a través del cual bacterias anaerobias producen acetato a partir de diversas fuentes de energía (por ejemplo, hidrógeno) y de carbono (por ejemplo, dióxido de carbono). Las diferentes especies bacterianas que son capaces de realizar la acetogénesis se denominan colectivamente acetógenos

**AGUAS PLUVIALES:** Aquéllas que provienen de las lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y el granizo.

**AGUAS RESIDUALES DE PROCESO:** Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

**AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS:** Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

**AGUAS RESIDUALES:** Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

**BACTERIAS TERMÓFILAS:** Las bacterias termófilas son aquellas que se desarrollan a temperaturas superiores a 45 °C, pudiendo superar incluso los 100 °C (hipertermófilos) siempre que exista agua en estado líquido, lo que se consigue si la presión es elevada como ocurre en las profundidades oceánicas

**BIOMAGNIFICACIÓN:** Tendencia de algunos productos químicos a acumularse a lo largo de la cadena trófica, exhibiendo concentraciones sucesivamente mayores al ascender el nivel trófico. La concentración del producto en el organismo consumidor es mayor que la concentración del mismo producto en el organismo consumido.

**BIOOXIDACION:** El término biooxidación es utilizado para describir un proceso que emplea bacterias para degradar un sulfuro, usualmente pirita o arsenopirita, en la que el oro o la plata, o ambos, se encuentran encapsulados

**BIOSOLIDOS:** Lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento.

**CESTODOS:** Subclase de helmintos, de la clase platelmintos, gusanos planos, en forma de cinta que posee ganchos de fijación con los que se adhieren a la pared intestinal y que son parásitos intestinales

**COAGULACIÓN:** Consiste en neutralizar la carga, generalmente electronegativa, de los coloides presentes en el agua, quedando estos en condiciones de formar flóculos. Este proceso se consigue introduciendo en el agua un producto químico denominado coagulante.

**COLIFORMES FECALES:** Bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Bacilos cortos Gram negativos no esporulados, también conocidos como coliformes termotolerantes. Pueden identificarse por su tolerancia a temperaturas de 44 °C – 45 °C. Tienen la capacidad de fermentar la lactosa a temperatura de 44,5 °C. Incluyen al género *Escherichia* y algunas especies de *Klebsiella*.

**DEFERRIZACIÓN:** Es un proceso que permite reducir los contenidos de hierro presentes en el agua, lo cual se realiza por precipitación química, por adsorción en medio filtrante cubierto con óxidos de hierro, o por intercambio iónico, principalmente.

**DETRITOS:** Residuos, generalmente sólidos, provenientes de fuentes humanas y depositados indiscriminadamente en el suelo y en el agua.

**DIGESTIÓN AEROBIA:** Es la transformación bioquímica de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en bióxido de carbono y agua por los microorganismos en presencia de oxígeno.

**DIGESTIÓN ANAEROBIA:** Es la transformación bioquímica de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en gas metano y bióxido de carbono y agua por los microorganismos en ausencia de oxígeno disuelto y combinado.

**ECOTOXICOLÓGIA:** Nueva división de la toxicología que trata del estudio de químicos persistentes que pueden ejercer varios efectos tóxicos en varios sitios de un ecosistema.

**EDAFÓN:** En ecología y edafología se llama edafón a la biota específica del suelo. La palabra aplica al suelo (edaphos) el modelo de la palabra plancton. La parte fundamental del edafon consiste en microorganismos procarióticos, hongos y pequeños animales. Por su actividad biológica el suelo alcanza muchos de los rasgos de su composición e incluso de su estructura; y por la actividad metabólica del edafon el suelo es la sede de procesos fundamentales para los ciclos de los elementos, que los mantienen a disposición de la vida.

**EDAR:** Estación Depuradora De Aguas Residuales (EDAR), también llamada planta de depuración, tiene el objetivo genérico de conseguir, a partir de aguas negras o mezcladas y mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, un agua efluente de mejores características de calidad y cantidad, tomando como base ciertos parámetros normalizados.

**ESTABILIZACIÓN ALCALINA:** Es el proceso mediante el cual se añade suficiente cal viva (óxido de calcio CaO) o cal hidratada (hidróxido de calcio Ca(OH)<sub>2</sub>) o equivalentes, a la masa de lodos y biosólidos para elevar el pH.

**ESTABILIZACIÓN:** Son los procesos físicos, químicos o biológicos a los que se someten los lodos para acondicionarlos para su aprovechamiento o disposición final para evitar o reducir sus efectos contaminantes al medio ambiente.

**EUTROFIZACIÓN:** Enriquecimiento del agua, la cual causa un crecimiento excesivo de plantas acuáticas e incrementan la actividad de microorganismos anaeróbicos. Como resultado los niveles de oxígenos disminuyen rápidamente y el agua se asfixia, haciendo la vida imposible para los organismos acuáticos aeróbicos.

**FITOTOXINAS:** Productos tóxicos para las plantas.

**FLOCULACIÓN:** Acumulación de partículas desestabilizadas y micro partículas, y posteriormente la formación de copos de tamaño deseado. Uno debe añadir otra sustancia química llamada floculante en orden de facilitar la formación de copos llamados flóculos

**HELMINTO:** Término designado a un amplio grupo de gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales), de vida libre, con forma y tamaños variados. Poseen órganos diferenciados, y sus ciclos vitales comprenden la producción de huevos o larvas, infecciosas o no.

**HIDROCICLONES:** El hidrociclón es un filtro diseñado para ser utilizado en cabezales de filtración, tanto para aplicaciones agrícolas como industriales. Su función es la de separar la arena y otras partículas compactas más pesadas que el agua, por lo que es ideal como filtro previo en instalaciones que captan agua de pozo. La separación se produce gracias a la velocidad de rotación que se genera al ser inyectada el agua de forma tangencial en el interior del cuerpo del hidrociclón

**HIDROLÍISIS:** La hidrólisis es una reacción química entre agua y otra sustancia, como sales. Al ser disueltas en agua, sus iones constituyentes se combinan con los iones hidronio u oxonio,  $H_3O^+$  o bien con los iones hidroxilo,  $OH^-$ , o ambos. Dichos iones proceden de la disociación o autoprotólisis del agua. Esto produce un desplazamiento del equilibrio de disociación del agua y como consecuencia se modifica el valor del pH.

**LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE:** Valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido por los lodos y biosólidos para que puedan ser dispuestos o aprovechados.

**LITÓSFERA:** Es la capa más externa de la geosfera que está compuesta por rocas, aunque entre ellas suele haber agua, petróleo, vetas minerales, fósiles, etc. Su nombre resulta de unir el término griego *lithos* que significa piedra o roca, y *esfera*.

**LIXIVIADO:** Líquido proveniente de los lodos y biosólidos, el cual se forma por reacción o percolación y que contiene contaminantes disueltos o en suspensión.

**LODO CRUDO:** Aquellos removidos durante las distintas etapas de tratamiento de aguas y que no han sido objeto de proceso de estabilización. (No aptos para uso agrícola.)

**LODO DESHIDRATADO:** Aquellos sometidos a procesos de secado, logrando un porcentaje de humedad igual o inferior al 70 % por peso.

**LODO ESTABILIZADO:** Aquellos sometidos a procesos de tratamiento para evitar la putrefacción y la atracción de vectores.

**LODO HIGIENIZADO:** Aquellos sometidos a un proceso para eliminar gérmenes patógenos.

**LODOS ACTIVADOS.** Este proceso y sus variantes o modificaciones son los más frecuentemente utilizados en grandes instalaciones. El agua residual previamente sedimentada y el lodo de recirculación se alimentan en la entrada de un tanque de aereación, donde son mezclados por medio de difusores o de aereadores

mecánicos para propiciar la degradación de la materia. Tienen eficiencias de 85 al 95 %

**LODOS:** Son sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

**MEJORAMIENTO DE SUELOS:** Es la aplicación de los biosólidos en terrenos para mejorar sus características físicas, químicas o microbiológicas.

**METANOGENÉISIS:** La metanogénesis es la formación de metano por microbios. Es una forma de metabolismo microbiano muy importante y extendida. En la mayoría de los entornos, es el paso final de la descomposición de la biomasa.

**MICROORGANISMOS MESÓFILOS:** Los mesófilos presentan temperaturas óptimas a los 25-40 °C y máximas entre 35 y 47 °C. La mayor parte de las eubacterias (incluyendo las patógenas) pertenecen a esta categoría. La mayor parte de los microorganismos que viven en ambientes templados y tropicales, incluyendo los simbioses y parásitos, pertenecen a esta categoría.

**MICROORGANISMOS PSICRÓFILOS:** Las psicrófilas o criófilas: crecen a partir de entre -5 a 5 °C.

a) Las llamadas psicrófilas obligadas tienen temperatura óptima a 15-18 °C, como por ejemplo *Flavobacterium*.

b) Las psicrófilas facultativas o psicrotolerantes (también llamadas psicrotrofas) presentan temperatura óptima en torno a los 20-30 °C y máximas a los 35 °C. Las bacterias y hongos psicrotrofos son los responsables de que los alimentos guardados en nevera se estropeen al cabo del tiempo.

**NEMATODOS:** Organismos en forma de gusano, generalmente microscópicos y que viven como saprofitos en el agua o en el suelo, o bien como parásitos de plantas y animales.

**PARÁSITO:** Organismo animal o vegetal que vive sobre o dentro de un individuo de otra especie.

**PATÓGENO:** Microorganismo capaz de causar enfermedades, si está presente en cantidad suficiente y condiciones favorables.

**PROCESOS ATAD:** procesos ATAD, según la nomenclatura inglesa correspondiente a "Autothermal Thermophilic Aerobic Digestión"

**PROCESOS PSRP:** procesos PSRPs, según la nomenclatura inglesa correspondiente a "Process to Significantly Reduce Pathogens"

**PROTOZOOS:** también llamados protozoarios, son organismos microscópicos, unicelulares eucarióticos; heterótrofos, fagótrofos, depredadores o detritívoros, a veces mixótrofos (parcialmente autótrofos); que viven en ambientes húmedos o directamente en medios acuáticos, ya sean aguas saladas o aguas dulces; la reproducción puede ser asexual por bipartición y también sexual por isogametos o por conjugación intercambiando material genético.

**RSU:** Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son los que se originan en la actividad doméstica y comercial de ciudades y pueblos.

**SALMONELLA SPP:** Bacilos motiles por sus flagelos peritricos, que fermentan de manera característica glucosa y manosa sin producir gas, pero no fermentan

lactosa ni sacarosa. La mayoría produce sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). A menudo, son patógenos para el hombre y los animales cuando se ingieren, ocasionando fiebre tifoidea y enterocolitis (conocida también como gastroenteritis).

**SEDIMENTACIÓN:** Es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin. Toda corriente de agua, caracterizada por su caudal, tirante de agua, velocidad y forma de la sección tiene una capacidad de transportar material sólido en suspensión. El cambio de alguna de estas características de la corriente puede hacer que el material transportado se sedimente; o el material existente en el fondo o márgenes del cauce sea erosionado

**SKIMMER:** Es un desnatador de superficie. Se encarga de aspirar las impurezas flotantes en la superficie del agua.

**SÓLIDOS TOTALES (ST):** Son los materiales residuales que permanecen en los lodos y biosólidos, que han sido deshidratados entre 103 °C a 105 °C, hasta alcanzar un peso constante y son equivalentes en base a peso seco.

**SÓLIDOS VOLÁTILES (SV):** Son sólidos orgánicos totales presentes en los lodos y biosólidos, que se volatilizan cuando éstos se queman a 550 °C en presencia de aire por un tiempo determinado.

**TENSOACTIVOS:** Son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases (p.ej., dos líquidos insolubles uno en otro). Cuando se utilizan en la tecnología doméstica se denominan como emulgentes o emulsionantes; esto es, sustancias que permiten conseguir o mantener una emulsión.

**TERATOGENOS:** Se denominan teratógenos aquellos agentes que pueden inducir o aumentar la incidencia de las malformaciones congénitas cuando se administran o actúan en un animal preñado durante su organogénesis. Las muertes intrauterinas y las reabsorciones no siempre son incluidas como efectos teratológicos.

**TREMATODOS:** Los trematodos o tremátodos (Trematoda) son una clase del filo de gusanos platelmintos que incluye especies parásitas de animales, algunas de las cuales infestan al hombre. Son conocidos comúnmente por duelas. La mayoría de los trematodos tienen ciclos de vida complejos con estadios que afectan a varias especies; en estado adulto son endoparásitos de vertebrados, incluido el ser humano, y en estado larvario los son de moluscos y, a veces, de un tercer hospedador.

## **RESUMEN**

Esta monografía se realizó con el objetivo de recopilar la información existente referente al tratamiento y disposición final de lodos producto de sistemas de tratamiento de agua potable, sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales (pozos sépticos), trampas de grasas y procesos industriales, así como analizar las posibles alternativas para minimizar el impacto generado.

Este documento recopila la información necesaria para construir las bases conceptuales tanto de los procesos generadores de lodos como de los diversos sistemas de tratamiento y sobre las alternativas más apropiadas para la disposición final de dichos residuos.

**PALABRAS CLAVES:** LODOS, TRATAMIENTO DE LODOS, SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ESTABILIZACION, BIOSOLIDOS

## **ABSTRACT**

This monograph was carried out with the aim of collecting existing information concerning the treatment and disposal of sludge treatment systems product of drinking water, individual systems of wastewater treatment (septic tanks), grease traps and industrial processes and analyzes alternatives to minimize the impact caused.

This document outlines the information needed to build the conceptual foundations of both processes generate sludge as the various systems of treatment and for the most appropriate alternative for the final disposal of such waste.

**KEY WORDS:** SLUDGE, SEWAGE TREATMENT SYSTEMS SEWAGE TREATMENT, STABILIZATION, BIOSOLIDS



## INTRODUCCION

Desde hace algunos años atrás la implementación de nuevas tecnologías tanto en los procedimientos de potabilización del agua como en los sistemas de tratamiento de aguas residuales producto de procesos industriales han conllevado a la optimización de dichos procesos, pero a su vez han aumentado la generación de lodos residuales que se han convertido en una gran fuente de contaminación para las fuentes hídricas que reciben su descarga directa o por escorrentía.

El tratamiento y la adecuada disposición final de los lodos residuales se convierten así en importantes eslabones de la cadena de protección del medio ambiente forzando de esta manera la implementación de tecnologías ya existentes o en pleno surgimiento para su procesamiento y dando pie a la elaboración de diversas investigaciones que se fundamenten en la búsqueda de una reducción en la generación de lodos o en la aplicación de nuevas alternativas para su adecuada disposición final.

Con esta monografía se pretende entonces adquirir bases conceptuales acerca de los diversos procesos generadores de lodos, comprender y desarrollar los diferentes sistemas de tratamiento, ventajas, desventajas, recomendaciones y demás aspectos que se derivan de los mismos. Además de ofrecer una amplia visión de las alternativas referentes a la disposición final más apropiada dependiendo del tipo de lodo y sus características

## 1. JUSTIFICACIÓN

Los lodos y sus posibles usos se han investigado en el mundo por más de 30 años, y hace más de una década tienen en los países desarrollados un marco normativo que regula su aprovechamiento en actividades agrícolas y no agrícolas (recuperación de suelos, cobertura de rellenos sanitarios, aprovechamiento forestal), así como su disposición final.

Las políticas de protección del recurso hídrico en Colombia han fomentado la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales tanto a gran escala como a escala doméstica (tanques sépticos) además de la implementación de trampas de grasa en grandes superficies para evitar vertimientos con grandes cargas contaminantes. Aunque éstas logran controlar en gran medida los problemas de contaminación hídrica, también generan subproductos, como los lodos, que requieren de un tratamiento para posteriormente poder realizar una adecuada disposición final con el fin de lograr reducir al mínimo su impacto ambiental.

En Colombia existe poca información acerca del manejo de los lodos, en el contexto nacional solo se cuenta con los Títulos C,E,I del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS del Ministerio de Desarrollo Económico [49], el cual define los lodos de la siguiente manera:

- Lodo: Contenido de sólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que se remueve durante los procesos de tratamiento

De igual manera el Decreto 1594 de 1984 (Ministerio de Desarrollo Económico, 1984) [50], correspondiente a los usos de las aguas y los residuos líquidos se tiene que:

- Artículo 70: Los sedimentos, lodos y sustancias sólidos provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de control de contaminación ambiental, y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo, no podrán disponerse en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, estuarinas o sistemas de alcantarillado, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.

Los aportes más significativos en la generación de lodos provienen principalmente de:

- Las plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas
- Las plantas de tratamiento de agua potable.

- Las plantas de tratamientos de aguas residuales industriales
- El mantenimiento rutinario del sistema de alcantarillado municipal.
- Los lodos provenientes de procesos industriales.
- Los pozos sépticos

Los residuos producto de sistemas de tratamiento de agua potable, sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales (pozos sépticos) y trampas de grasas son altamente variables y en su mayoría de tipo orgánico, con niveles significativos de grasa, arena, cabello, y detritos (resultantes de la desintegración de los organismos y de sus partes) dependiendo de su origen. Los líquidos y los sólidos residuales bombeados de dichos procesos tienen un olor y un aspecto ofensivo y resistencia a la sedimentación y la deshidratación. Los residuos producto de sistemas de tratamiento de agua potable, sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales (pozos sépticos) y trampas de grasas contienen numerosas formas de virus, bacterias y parásitos que causan diversas enfermedades. Por esta razón requieren precauciones especiales de manejo y tratamiento. A continuación en la Tabla 1 se hace referencia a los diversos parámetros fisicoquímicos evaluados en los lodos a tratar:

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL LODO A TRATAR [21]**

PARAMETRO	CONCENTRACION	
	MINIMA	MAXIMA
SOLIDOS TOTALES	1.132	130.475
SOLIDOS VOLATILES TOTALES	353	71.402
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	310	93.378
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	95	51.500
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	440	78.600
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	1.500	703.000
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	66	1.060
NITROGENO AMONIAICAL	3	116
FOSFORO TOTAL	20	760
ALCALINIDAD	522	4.190
GRASAS	208	23.368
pH	1.5	12.6
COLIFORMES TOTALES	10 <sup>7</sup> /100 mL	10 <sup>9</sup> /100 mL
COLIFORMES FECALES	10 <sup>6</sup> /100 mL	10 <sup>8</sup> /100 mL

Nota: los valores presentados en la Tabla 1 se dan en miligramos por litro a menos que se indique lo contrario. Fuente: U.S. EPA, 1994

En la actualidad la disposición final de lodos se hace de variadas formas, se utiliza para recuperación de taludes, o tierras donde ha habido explotación de minas, en lotes baldíos, también se disponen clandestinamente, otra parte va directamente a cuerpos de agua, de lo anterior no se tienen cifras estimadas.

La entrada en operación de plantas de tratamiento de aguas residuales en las grandes ciudades de Colombia ha generado un incremento en la producción de lodos y ha propiciado la investigación para evaluar su potencial de aprovechamiento en el ámbito local y nacional.

Es importante entonces tener claro que si es fundamental el saber que dichas investigaciones se están llevando a cabo pero aun mas importante es poder acceder a los resultados de las misma, ya que al conocer las posibilidades de tratamiento y las opciones para reducir el impacto que dichos lodos generan al medio ambiente se reduce directamente el grado de contaminación ya que más fácilmente se pueden emplear nuevas técnicas y aplicar tecnologías limpias.

Por lo cual se hace de gran importancia la recopilación de la información existente para facilitar el su difusión y conocimiento por parte de las empresas generadoras y personas relacionadas con el tema mediante un compendio de información, resultados e investigaciones procedentes de diferentes fuentes bibliográficas conformando así un documento de importancia tanto practica como metodológica referente al tratamiento y adecuada disposición final de lodos residuales.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Toda actividad económica generadora de residuos sólidos en particular de lodos producto de sistemas de tratamiento de agua potable, sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales (pozos sépticos) y trampas de grasas son considerados como una fuerte amenaza para el medio ambiente en especial para las fuentes hídricas que entren en contacto directo con dichos sólidos o por escorrentía de los mismos.

En la actualidad pocas entidades se enfocan en el tratamiento y disposición final adecuada de los lodos resultantes de sistemas de tratamiento de agua potable, sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales (pozos sépticos) y trampas de grasas por lo cual se hace necesario el conocimiento para el desarrollo de tecnologías adecuadas que cumplan con el tratamiento y disposición final adecuada de dichos lodos y reduzcan el impacto causado al medio ambiente haciéndose necesario contar con la información suficiente para tener una base en que fundamentar los esfuerzos para lograr la reducción del impacto ambiental. Entendiendo que la información referente al correcto manejo y adecuada disposición final de los lodos procedentes de dichos procesos se encuentra pocamente difundida y solo hasta hace poco tiempo se convirtió en un tema de vital importancia para la protección del medio ambiente y en especial la protección de las fuentes hídricas como recurso natural no renovable se hace necesario para las empresas generadoras y en general para todas las personas implicadas con este tipo de residuos el contar con algún tipo de recopilación bibliográfica o documento que sirva como guía o enfoque hacia el correcto manejo de los lodos en cuestión.

Con este documento entonces se busca ofrecer una serie de alternativas que permitan entender la problemática y abrir las puertas a las posibles soluciones con respecto al manejo de este tipo de residuos de una manera adecuada y amigable con el medio ambiente tomando como base los recursos existentes y la información resultado de las investigaciones realizadas.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Recopilar la información existente referente al tratamiento y disposición final de lodos producto de sistemas de tratamiento de agua potable, sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales (pozos sépticos), trampas de grasas y procesos industriales; evaluando tanto su impacto ambiental como sus posibles usos y planteando algunas opciones que contribuyan a la posible solución de la problemática.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Recopilar información de diversas fuentes acerca de las propiedades físicas y químicas de los lodos procedentes de sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales tanto a gran escala como a escala doméstica (pozos sépticos), trampas de grasa.

Reconocer y evaluar la importancia del impacto ambiental generado por este tipo de residuos entendiendo que en la actualidad son una gran fuente de contaminación en especial para las fuentes hídricas.

Documentar y reconocer los diferentes sistemas de tratamiento de lodos que permitan el mejoramiento y protección del medio ambiente comparando los resultados obtenidos por diversas investigaciones y arrojando una visión más clara sobre los sistemas de tratamiento más adecuados.

Establecer posibles soluciones que permitan reducir la generación de dichos residuos o que logren mitigar su impacto al medio ambiente mediante una extensa consulta de las bases de datos referentes al tema.

#### **4. DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR**

- Mediante la búsqueda y análisis de información en las diferentes fuentes lograr adquirir las bases conceptuales acerca del tema teniendo claros los términos y definiciones relacionados con el tratamiento y adecuada disposición final de los lodos a estudiar.
- Examinar exhaustivamente las diferentes referencias científicas presentes en centros de documentación, bibliotecas e internet acerca de las propiedades fisicoquímicas de los lodos objeto de estudio.
- Mediante el acceso a la bibliografía existente consultar los diferentes sistemas de tratamiento de lodos que faciliten la protección del medio ambiente teniendo en cuenta los casos ya existentes sus ventajas y posibles falencias.
- Analizar en las diferentes bases de datos, centros de documentación e internet acerca de las diferentes opciones para reducir la generación de lodos y sus aplicaciones más eficaces.

## 5. CRONOGRAMA

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Elaboración del Anteproyecto												
Presentación del Anteproyecto												
Revisión de la normatividad												
Elaboración Informe Parcial												
Presentación Informe Parcial												
Elaboración de documentos												
Recopilación de la información												
Solicitud de jurados												
Elaboración Informe Final												
Presentación Informe Final												



## 6. PRESUPUESTO

<b>ÍTEM</b>	<b>Rubros</b>	<b>Valor (\$)</b>
<b>1</b>	FOTOCOPIAS	35.000
<b>2</b>	PAPELERÍA	36.000
<b>3</b>	ENCUADERNADO	32.000
	<b>TOTAL</b>	<b>103.000</b>

## 7. CAPITULO I: PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LOS DIVERSOS LODOS

### 7.1. GENERALIDADES

La gestión ambiental debe entenderse como un conjunto de operaciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino final más adecuado desde el punto de vista medioambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costo de tratamiento, posibilidades de recuperación, comercialización y normas jurídicas.

En Colombia se define como "Residuos Especiales" son los objetos, elementos o sustancias que se abandonan, botan, desechan, descartan o rechazan y que son patógenos, tóxicos, combustibles, inflamables, explosivos, radiactivos o volatilizables, así como y los empaques y envases que los hayan contenido, como también los **lodos, cenizas y similares**"[50].

Generalmente todas las actividades domésticas e industriales generan residuos y en consecuencia el titular de la industria está afectado por la respectiva legislación que para tal efecto rige en los diferentes países.

El término contaminante [21], en su legislación sobre utilización de lodos, es definido como un organismo patógeno o como una sustancia orgánica o inorgánica o la combinación de ambas, que al tener contacto con un organismo por vía dérmica, ingestión o inhalación, directamente del medio ambiente o a través de la cadena alimenticia, pueda causar la muerte, inducir cáncer, producir enfermedades, alteración del comportamiento, mutaciones genéticas, malformaciones fisiológicas y/o físicas o daños teratogénicos.

#### 7.1.1. CLASIFICACION DE LOS LODOS

La generación de lodos industriales en procesos de producción es común, sobre todo en los siguientes tipos de industrias:

- Textil.
- Química y farmacéutica.
- Pulpa y producción del papel.
- Metalmecánica y acabado de metal.
- Industria de electro galvanizado.
- Electrónicas.
- Procesamiento de alimentos.
- Curtido del cuero.

Estos tipos de lodos pueden ser clasificados en función de la toxicidad y la prioridad de manejo, teniendo los siguientes tipos de lodos industriales:

- Lodos orgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos, fácilmente biodegradable, prioridad I.
- Lodos orgánicos e inorgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos, los orgánicos no fácilmente biodegradables, prioridad II.
- Lodos orgánicos e inorgánicos conteniendo contaminantes tóxicos, prioridad III.

Las opciones de manejo de acuerdo a los tipos de lodos se han establecido en función de su prioridad, así:

- Prioridad I: Reutilización como fertilizante dependiendo de la composición, prevención dependiendo del proceso de generación, relleno sanitario o incineración.
- Prioridad II: reuso y revalorización dependiendo de la composición, compostaje, incineración o relleno.
- Prioridad III: Prevención dependiendo de los procesos de generación del lodo o disposición en mono rellenos o celdas de seguridad.

#### 7.1.2. CONTAMINANTES MÁS GENERALES

La calidad de los lodos depende fundamentalmente de la concentración de cuatro grupos de contaminantes principales:

**Metales.** Principalmente zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr). Su potencial de acumulación en los tejidos humanos y su biomagnificación suscitan preocupaciones. Los metales están siempre presentes, en concentraciones bajas, en las aguas residuales domésticas, pero las concentraciones preocupantes son sobre todo las que se encuentran en las aguas residuales industriales [46].

De otro lado, los metales pesados se encuentran de manera natural en la litósfera, hidrósfera y atmósfera en concentraciones tales que por lo general no perjudican las diferentes formas de vida. Sin embargo, los procesos industriales han ocasionado un paulatino aumento puntual de dichas concentraciones en los diferentes componentes del edafón (microbiota del suelo, hongos y pequeños microorganismos) [26].

**Nutrientes y materia orgánica.** Su peligrosidad radica en su potencial de eutrofización para las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, se pueden considerar como fertilizantes valiosos al igual que la materia orgánica. [46]

**Contaminantes orgánicos.** Los plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tensoactivos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción, tienden a acumularse en los lodos [46].

Todos estos contaminantes son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y sobre la salud humana. Una característica de las más importantes es su variado potencial de biodegradación.

Muchos se biodegradan lentamente, por lo tanto los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales con tiempos de residencia más largos, tendrán una mayor capacidad para biodegradar estos compuestos indeseables. La biodegradación también puede ocurrir después de esparcir los lodos en la tierra o durante el compostaje [46].

El grupo de trabajo de la OMS sobre riesgos para la salud de los productos químicos presentes en los lodos residuales aplicados a las tierras, llegó a la conclusión de que la absorción total por el hombre, de contaminantes orgánicos procedentes de la aplicación de lodos a las tierras de cultivo, es poco importante y probablemente no causará efectos adversos para la salud. Sin embargo, a pesar de que cada vez se investiga más el papel ecotoxicológico de los contaminantes orgánicos en el sistema suelo-planta-agua y en la cadena alimentaria, es aún poco claro. [46]

**Agentes patógenos.** Los agentes patógenos más importantes que se han encontrado en los lodos son las bacterias, los virus (especialmente enterovirus), los protozoos, los trematodos, los cestodos y los nematodos. Los residuos de animales sacrificados o muertos accidentalmente, los desechos hospitalarios y funerarios, entre otros, pueden elevar la carga y la diversidad de patógenos en el afluente.

Para que cualquier vertido de lodos sea seguro, se precisa la eliminación o la inactivación eficaz de estos patógenos. A este fin, se puede aplicar a los lodos una serie de tratamientos, como la pasteurización, la digestión aerobia o anaerobia, el compostaje, la estabilización con cal, el almacenamiento en estado líquido, la deshidratación y el almacenamiento en seco [46].

## **7.2. LODOS PROCEDENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: PROCESO GENERAL Y CARACTERISITICAS**

Según el Título C - SISTEMAS DE POTABILIZACION - del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS del Ministerio de Desarrollo Económico [49], en el cual se especifican las diversas etapas referentes al proceso de potabilización del agua y que a continuación se hace referencia a ellas como introducción a la producción de los lodos residuales en dicho proceso:

Proceso convencional de potabilización del agua incluye principalmente las siguientes etapas:

1. Pretratamiento (Desarenadores)
2. Coagulación – mezcla rápida.
3. Floculación.
4. Sedimentación.
5. Filtración.
6. Desinfección.
7. Estabilización y ablandamiento.
8. Control de sabor y olor.
9. Deferrización.

Los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de agua potable están compuestos fundamentalmente por las materias presentes en el agua cruda y que por oxidación, coagulación y precipitación que han sido retenidos en los sedimentadores y filtros, así como por sustancias procedentes del coagulante y otros reactivos como cal, permanganato, carbón, que se han empleado en el tratamiento. Dentro de estas etapas se destacan tres puntos donde se generan la mayor cantidad de lodos, dichos puntos de generación de lodos son:

1. Desarenadores: En esta etapa los lodos presentan, en general arcilla y arena.
2. Sedimentadores: En esta etapa la composición química del lodo depende del coagulante y químicos auxiliares empleados en etapas previas. Coagulantes metálicos. Pueden ser de tres tipos :
  - Sales de aluminio.
  - Sales de Hierro.
  - Compuestos varios, como el carbonato de magnesio.Los coagulantes con sales de aluminio son el de sulfato de aluminio, sulfato de aluminio amoniacal y aluminato de sodio.

Los coagulantes con sales de hierro son el cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso.

Los polímetros inorgánicos se pueden emplear polímetros de hierro (III) y aluminio como coagulante.

3. Filtros: Los lodos de esta etapa tienen una misma composición que los generados en la sedimentación

Las sustancias contenidas en el agua bruta son generalmente inertes como arcillas, arenas, etc. y otras tanto en suspensión como disueltas, inorgánicas y orgánicas como el plancton y otros microorganismos etc., de aquí que las características de los lodos varíen en función de la calidad del agua bruta y de tratamiento de potabilización aplicado a esta.

Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional.

**TABLA 2. CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBRES PARA DESTINACION DE RECURSO HIDRICO [50]**

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
AMONIACO	N	1,0
ARSENICO	As	0,05
BARIO	Ba	1,0
CADMIO	Cd	0,01
CIANURO	CN <sup>-</sup>	0,2
CINC	Zn	15,0
CLORUROS	Cl <sup>-</sup>	250,0
COBRE	Cu	1,0
<b>COLOR</b>	<b>COLOR REAL</b>	<b>75 UNIDADES</b>
	<b>PLATINO COBALTO</b>	
<b>COMPUESTOS FENOLICOS</b>	<b>FENOL</b>	<b>0,002</b>
<b>CROMO</b>	<b>Cr<sup>+6</sup></b>	<b>0,05</b>
	<b>CONCENTRACION DE AGENTE ACTIVO</b>	<b>NO DETECTABLE</b>
<b>MERCURIO</b>	<b>Hg</b>	<b>0,002</b>
<b>NITRATOS</b>	<b>N</b>	<b>10,0</b>
<b>NITRITOS</b>	<b>N</b>	<b>10,0</b>
<b>pH</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>5,0 – 9,0</b>

Continuación de la tabla 2:

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
<b>PLATA</b>	Ag	0,05
<b>PLOMO</b>	Pb	0,06
<b>SELENIO</b>	Se	0,02
<b>SULFATOS</b>	SO4-2	400,1
<b>TENSOACTIVOS</b>	SUSTANCIAS ACTIVAS	0,5
	AL AZUL DE METILENO	
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	NMP	20 000 microorganismos/100mL
<b>COLIFORMES FECALES</b>	NMP	2 000 microorganismos/100mL

Fuente: Decreto 1594 de 1984

Las siguientes tablas presentan las características de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua potable de acuerdo a diferentes autores desde 1968 hasta 1998. [55]

**TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE [55]**

AUTOR/AÑO	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SS %SS
<b>NEUBAUER (1968)</b>	30 a 150	500 a 15000	6,0 a 7,6	1 100 a 16000	20% a 30%	
<b>SUTHERLAND (1969)</b>	100 a 232	669 a 1100	7,0	4300 a 14000	25%	80
<b>BUGG (1970)</b>	380	1162 a 15800	6,5 a 6,7	4380 a 14000	20%	
<b>ALBRECHT (1972)</b>	30 a 100	500 a 10000	5,0 a 7,0	3000 a 15000	20%	75
<b>CULP (1974)</b>	40 a 150	340 a 5000	7,0			
<b>NILSEN (1974)</b>	100	2300		10000	30%	
<b>SINGER (1974)</b>	30 a 300	30 a 5000				
<b>CORDEIRO (1981)</b>	320	5150	6,5	81575	20.7%	
<b>VIDAL (1990)</b>	449	3487	6,0 a 7,4	21972	15%	
<b>VIDAL (1990)</b>	173	1776	6,7 a 7,1	6300	73%	

Continuación de la tabla 3:

AUTOR/AÑO	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SS %SS
CORDEIRO (1993)		5600	6,4	30275	26.3%	
PATRIZZE (1998)			5,55	6112	19%	
PATRIZZE (1998)			6,8	6281		

Fuente: PENALVA R 1999

### 7.3. LODOS PROCEDENTES DE POZOS SEPTICOS: PROCESO GENERAL Y CARACTERISITICAS [49]

Son tanques generalmente subterráneos, sellados, diseñados y construidos para el saneamiento rural. Deben llevar un sistema de postratamiento. Se recomiendan solamente para:

- Áreas desprovistas de redes públicas de alcantarillados.
- Alternativa de tratamiento de aguas residuales en áreas que cuentan con redes de alcantarillado locales.
- Retención previa de los sólidos sedimentables, cuando la red de alcantarillado presenta diámetros reducidos.

No está permitido que ingresen:

- Aguas lluvias ni desechos capaces de causar interferencia negativa en cualquier fase del proceso de tratamiento.
- Los efluentes a tanques sépticos no deben ser dispuestos directamente en un cuerpo de agua superficial. Deben ser tratados adicionalmente para mejorar la calidad del vertimiento.

**Tipos:** Se permiten los siguientes tipos de pozos sépticos:

- Tanques convencionales de dos compartimentos.
- Equipados con un filtro anaerobio.
- Según el material: de concreto o de fibra de vidrio o de otros materiales apropiados.
- Según la geometría: rectangulares o cilíndricos

Los tanques pueden ser cilíndricos o prismáticos rectangulares. Los cilíndricos se utilizan cuando se quiere minimizar el área útil aumentando la profundidad, y los



prismáticos rectangulares en los casos en que se requiera mayor área horizontal o mayor profundidad.

Se recomiendan cámaras múltiples, en serie para tanques de volúmenes pequeños a medianos, que sirvan hasta 30 personas. Para otros tipos de tanques, se recomienda lo siguiente:

- Tanques cilíndricos: tres cámaras en serie.
- Tanques prismáticos rectangulares: dos cámaras en serie.

El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios :

- Atascamiento.
- Área específica.
- Tiempo de contacto.
- Granulometría.

Además, se recomiendan los siguientes detalles constructivos:

El medio filtrante debe tener una granulometría uniforme; la profundidad (h) útil es 1,80 m para cualquier volumen de dimensionamiento; el diámetro (d) mínimo se recomienda de 0,95 m; el diámetro máximo y el largo (L) no deben exceder tres veces la profundidad útil y el volumen útil mínimo será 1250 L.

Los factores que afectan las características físicas de los residuos sépticos son: el clima, los hábitos del usuario, el tamaño del tanque séptico, el diseño, la frecuencia de bombeo, las características del suministro de agua y el material de las tuberías, así como el uso de dispositivos de conservación del agua, trituradores de basura, productos químicos caseros y compuestos reductores de la dureza del agua. La tabla 3 enumera las características y los límites de los residuos sépticos domésticos.

Los residuos sépticos son altamente variables y de tipo orgánico, con niveles significativos de grasa, arena, cabello, y detritos (resultantes de la desintegración de los organismos y de sus partes). Los líquidos y los sólidos bombeados de un tanque séptico o de un pozo de aguas negras tienen un olor y un aspecto ofensivo, con una tendencia a formar nata cuando se agitan, y resistencia a la sedimentación y la deshidratación. Los residuos sépticos contienen numerosas formas de virus, bacterias y parásitos que causan diversas enfermedades. Por esta razón los residuos sépticos requieren precauciones especiales de manejo y tratamiento.

**TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS CONVENCIONALES DE LOS RESIDUOS SÉPTICOS [21]**

PARAMETRO	CONCENTRACION	
	MINIMA	MAXIMA
SOLIDOS TOTALES	1 132	130 475
SOLIDOS VOLATILES TOTALES	353	71 402
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	310	93 378
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	95	51 500
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	440	78 600
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	1 500	703 000
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	66	1 060
NITROGENO AMONIAICAL	3	116
FOSFORO TOTAL	20	760
ALCALINIDAD	522	4 190
GRASAS	208	23 368
Ph	1,5	12,6
COLIFORMES TOTALES	10 <sup>7</sup> /100 MI	10 <sup>9</sup> /100 MI
COLIFORMES FECALES	10 <sup>6</sup> /100 MI	10 <sup>8</sup> /100 MI

Nota: los valores presentados en la Tabla 4 se dan en miligramos por litro a menos que se indique lo contrario.

Fuente: U.S. EPA, 1994

**TABLA 5 . CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÉPTICOS [74]**

DESCRIPCION	REMOCION O BOMBEO	CARACTERISTICAS
Tanque Séptico	2-6 años pero puede variar debido a normas locales	Valores altos de DBO, sólidos y nutrientes: nivel variable de sustancias toxicas (como los metales), materia inorgánica (como la arena), olores, agentes patógenos, aceites y grasas.

Continuación de la tabla 5:

DESCRIPCION	REMOCION O	CARACTERISTICAS
Pozos De Aguas Negras	2-10 años	Valores altos de DBO, sólidos y nutrientes: nivel variable de sustancias toxicas y materia inorgánica; algunas veces con alto contenido de partículas de arena y grava, olores, agentes patógenos, aceites y grasas.
Inodoros Portátiles	1 semana a meses	Niveles variables de DBO, sólidos, materia inorgánica, olores, agentes patógenos y algunos productos químicos
Tanque Aeróbicos	meses a 1 año	Niveles variables de DBO, sólidos, materia inorgánica, olores, agentes patógenos y altas concentraciones de sólidos
Tanques sépticos de almacenamiento sin campos de percolación , generalmente con requisito local	Días a semanas	Niveles variables de DBO, sólidos, materia inorgánica, olores, agentes patógenos: similar a los sólidos en aguas residuales tratadas
Pozos secos (asociados con zonas de infiltración séptica)	2-6 años	Niveles variables de DBO, sólidos, materia inorgánica y olores
Plantas privadas para el tratamiento de aguas residuales	Variable	Tanques sépticos
Estaciones de bombeo de aguas residuales de barcos	Variable	Inodoros portátiles

Continuación de la tabla 5:

DESCRIPCION	REMOCION O	CARACTERISTICAS
Colector de arena	Variable	Aceites, grasas, sólidos, materia inorgánica, olores y DBO variable
Colector de grasa	Semanas a meses	Aceites, grasas, DBO, sólidos viscosos y olores

Fuente: WEF, 1997

#### 7.4. LODOS PROCEDENTES DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: PROCESO GENERAL Y CARACTERISITICAS [19]

Los lodos generados durante el tratamiento de aguas residuales se pueden también clasificar en función de los procesos productivos, pudiéndose presentar las siguientes alternativas:

Lodo peligroso por la presencia de contaminantes tóxicos de acuerdo a lo establecido por la EPA [22] en sus apartados 260 y 261, mientras no exista norma nacional, o que el lodo no pueda ser considerado como peligroso, porque las concentraciones de sus componentes son inferiores a los valores establecidos por la EPA [22]. Dentro de este grupo se puede establecer subcategorías, atendiendo a criterios microbiológicos específicos y al uso que se pueda darle, como a la disposición final de los mismos.

Además se pueden clasificar o nombrar diferentes tipos de lodos resultantes de los diversos procesos de depuración:

**LODO CRUDO:** Lodo crudo, es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tiende a producir la acidificación de la digestión y produce olor.

**LODO PRIMARIO:** El lodo primario es producido durante los procesos de tratamiento primario de las aguas residuales. Esto ocurre después de las pantallas y desarenado y consiste en productos no disueltos de las aguas residuales. El lodo en el fondo de tanque primario de sedimentación se llama también lodo primario. La composición del lodo depende de las características del área de recogida de las aguas. El lodo primario contiene generalmente una gran cantidad de material orgánica, vegetales, frutas, papel, etc. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 93 % y 97 %.

**LODO ACTIVO:** La eliminación de materia orgánica disuelta y los nutrientes de las aguas residuales tiene lugar durante el tratamiento biológico del agua. Normalmente se caracteriza por la interacción de distintos tipos de bacterias y microorganismos, que requieren oxígeno para vivir, crecer y multiplicarse y consumen materia orgánica. El lodo resultante se llama lodo activo. Normalmente este lodo está en forma de floculos que contienen biomasa viva y muerta además de partes minerales y orgánicas adsorbida y almacenada. El comportamiento de sedimentación de los floculos de los lodos activos es de gran importancia para el funcionamiento una planta de tratamiento biológico. Los floculos deben ser removidos, para separar la biomasa del agua limpia, y el volumen requerido de lodo activo puede ser bombeado de nuevo en el tanque de aireación.

**LODO ACTIVO DE RETORNO:** El lodo activo de retorno que proviene del tanque de aireación biológica al clarificador final. Los floculos de lodo activo sedimentan al fondo y pueden separarse del agua limpia residual. La mayoría del lodo que se lleva de nuevo a tanque de aireación e llama lodo activo de retorno.

**LODO SECUNDARIO:** Para alcanzar una vida del lodo constante, la biomasa en exceso debe de eliminarse de la planta biológica de tratamiento. El lodo en exceso contiene partículas no hidrolizables y biomasa resultado del metabolismo celular.

#### 7.4.1. DESCRIPCION DEL PROCESO Y FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**TOMA DE AGUA Y PUESTO DE BOMBEO:** El ingreso a tratamiento se logra con la desviación del curso de las aguas en el canal mediante una estructura de compuertas que atraviesa transversalmente el canal-interceptor y que puede ser accionada para aliviar caudales de exceso que en temporada invernal transporta el canal. El agua ingresa inicialmente a una cámara tranquilizadora provista de un foso de remoción de sólidos gruesos pesados, para pasar luego por un pretratamiento de cribado grueso (desbaste grueso) por medio de rejas (espacio libre entre barrotes 10 cm). Para la elevación del agua a casi 10 m se han instalado bombas, tipo tornillo de Arquímedes de 3,10 m de diámetro [19].

**TABLA 6. PRINCIPALES PARAMENTROS DEL AGUA RESIDUAL PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES [19]**

Parámetro	Unid.	Valor
ST	mg/L	226
BO5	mg/L	264
DQO	mg/L	564
pH	Unid.	7,33
alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	208
SV	mg/L	158
T	mg/L	613
V	mg/L	310
Turbiedad	NTU	173
Conductividad	mS	677

Fuente: DESCRIPCION DE LA PTAR SALITRE Y RECOPIACION DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS OPERATIVOS, Bogota 2004

**PRETRATAMIENTO:** Después del “pre-desbaste” con las rejas gruesas antes mencionado y paso seguido al bombeo, el agua pasa hacia la línea de pretratamiento. Este pretratamiento consiste en: (a) desbaste fino, mediante cuatro rejillas automáticas (espacio libre entre barrotes 2,50 cm); (b) desarenado, permite remover arena y otros materiales inertes (vidrio, semillas) y desengrasado; esto se logra entre tres canales aireados dobles, cada uno de 8 metros de ancho y 30 metros de largo. Adicionalmente al pretratamiento se promueve la clarificación del agua vía coagulación – floculación. De aquí el agua es conducida mediante un conducto rectangular hacia las cámaras de reparto de agua.

En la tabla 7 se reseñan las cantidades promedio de residuos sólidos retirados al agua en pretratamiento [19]

**TABLA 7. RESIDUOS SÓLIDOS RETENIDOS EN PRETRATAMIENTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES [19]**

Residuo	Unid.	Cantidad
Gruesos	Ton/mes	31,5
Finos	Ton/mes	22,5
Arenas	m <sup>3</sup> /mes	8,8
Grasas	m <sup>3</sup> /mes	77,7

Fuente: DESCRIPCION DE LA PTAR SALITRE Y RECOPIACION DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS OPERATIVOS, Bogota 2004

**CÁMARA DE REPARTO:** Con 10 m de diámetro interior y 5,4 m de altura, estas cámaras están provistas de vertederos calibrados para distribuir uniformemente los caudales de alimentación a los sedimentadores o decantadores primarios.

**SEDIMENTADORES O DECANTADORES PRIMARIOS:** Son unidades de aproximadamente 43 metros de diámetro cada una y altura lateral de 3,5 m. El agua residual proveniente de las cámaras de reparto ingresa a cada decantador por un conducto central vertical. Una pantalla difusora instalada alrededor de este conducto, obliga al agua a descender para luego ascender hacia las canaletas recolectoras perimetrales. En este descenso y posterior ascenso, se produce el desprendimiento de los sólidos sedimentables que van al fondo del tanque para formar el lodo primario. Los sedimentadores están dotados de puentes barre lodos para raspar el lodo que cae al fondo y concentrarlo en una tolva o bolsillo central. Este lodo es transportado por medio de las estaciones de bombeo de lodos primarios hasta los espesadores de lodos, donde se inicia su tratamiento.

**EDIFICIOS DE BOMBEO DE LODOS PRIMARIOS:** Por cada dos decantadores primarios se ha dispuesto una estación con bombas que envían el lodo hacia la etapa de espesamiento gravimétrico. La extracción de lodos desde los decantadores se hace automáticamente gracias a válvulas neumáticas.

**CANALES DE MEDICIÓN DE AGUA TRATADA:** El agua decantada que se recoge en las canaletas perimetrales es transportada a lo largo de los conductos colectores hasta la estructura de medición, para su posterior descarga en el río, terminando así el tratamiento en lo correspondiente a la línea de aguas.

La condición promedia del agua tratada tomada en este punto y caracterizada, se presenta en la tabla 8 [19].

**TABLA 8. CARACTERIZACIÓN AGUA TRATADA [19]**

<b>Parámetro</b>	<b>Unid.</b>	<b>Valor</b>
<b>SST</b>	mg/L	<b>86</b>
<b>DBO5</b>	mg/L	<b>149</b>
<b>DQO</b>	mg/L	<b>302</b>
<b>pH</b>	Unid.	<b>7,24</b>
<b>Alcalinidad</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	<b>189</b>
<b>SSV</b>	mg/L	<b>63</b>
<b>ST</b>	mg/L	<b>436</b>
<b>SV</b>	mg/L	<b>181</b>
<b>Turbiedad</b>	NTU	<b>75</b>
<b>Conductividad</b>	mS	<b>686</b>
<b>Coliformes fecales</b>	<b>NMP</b>	<b>1,2 X 10<sup>7</sup></b>

Fuente: DESCRIPCIÓN DE LA PTAR SALITRE Y RECOPIACIÓN DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS OPERATIVOS, Bogotá 2004

**ESPEADORES DE LODOS PRIMARIOS:** Las plantas de tratamiento de aguas residuales cuentan generalmente con dos unidades de aproximadamente 29 m de

diámetro y 4,0 m de altura lateral, dispuestas para aumentar la concentración de lodos antes de enviarlos a digestión. El agua que se ha retirado a los lodos fluyendo a través de vertederos perimetrales, es retornada al inicio del tratamiento (cabeza de proceso) con una concentración promedio de 300 mg/L de SST [19]. Los espesadores están equipados con sistemas barre-lodos que dirigen los lodos espesados hacia la salida central ubicada al fondo de cada tanque.

**EDIFICIO DE BOMBEO:** Los lodos espesados, con una concentración de sólidos del orden de 40 g/L aproximadamente, son extraídos y enviados hacia un pozo de recolección, desde donde son bombeados.

**DIGESTORES DE LODOS:** En los digestores, se produce la estabilización biológica de los lodos al cabo de  $\approx$  22 días, a una temperatura de 35 °C y con una mezcla homogénea de los lodos, lograda mediante agitación por gas. El biogás producido es entonces recirculado e inyectado en el centro de cada digestor, asegurando un contacto íntimo entre el lodo digerido y el lodo crudo.

**LOCAL DE CALENTAMIENTO:** los lodos son calentados en intercambiadores tubulares de contracorriente agua – lodos para mantener su temperatura al interior de los digestores sobre los 35 °C .

**ALMACENAMIENTO DE LOS LODOS DIGERIDOS:** Los lodos digeridos son almacenados en un tanque equipado con agitadores sumergibles desde donde son extraídos hacia el proceso de deshidratación.

**DESHIDRATACIÓN DE LODOS:** Por medio de algunos de los diversos sistemas para deshidratar los lodos digeridos, estos son procesados a fin de reducir su volumen y facilitar su transporte y disposición. La torta de lodos final termina con una concentración de sólidos de aproximadamente 30 % [19].

## **7.5. LODOS PROCEDENTES DE TRAMPAS DE GRASA: PROCESO GENERAL Y CARACTERISITICAS**

### **TRAMPAS DE GRASA**

Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico. Recibe nombres específicos según al tipo de material flotante que vaya a removerse.

**1. Domiciliar:** Normalmente recibe residuos de cocinas y está situada en la propia instalación predial del alcantarillado.



**2. Colectiva:** Son unidades de gran tamaño y pueden atender conjuntos de residencias e industrias

**3. En Sedimentadores:** Son unidades adaptadas en los sedimentadores (primarios en general), las cuales permiten recoger el material flotante en dispositivos convenientemente proyectados, para encaminarlo posteriormente a las unidades de tratamiento de lodos.

### Localización

Deben localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual (generalmente la cocina) y aguas arriba del tanque séptico, sedimentador primario o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo para prevenir problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores. Debe tenerse en cuenta, que independientemente de su localización, deben existir condiciones favorables para la retención y remoción de las grasas.

### Parámetros de diseño

El diseño debe realizarse de acuerdo con las características propias y el caudal del agua residual a tratar, teniendo en cuenta que la capacidad de almacenamiento mínimo expresada en kg. de grasa debe ser de por lo menos una cuarta parte del caudal de diseño (caudal máximo horario) expresado en litros por minuto.

El tanque debe tener 0,25m<sup>2</sup> de área por cada litro por segundo, una relación ancho/longitud de 1:4 hasta 1:18, una velocidad ascendente mínima de 4 mm/s. En la tabla 9 se puede ver los caudales y capacidades de retención típicos que se deben usar para trampas de grasa respectivamente. [34]

**TABLA 9. CAPACIDADES DE RETENCIÓN DE GRASA [49]**

TIPO DE AFLUENTE	CAUDAL (L/min)	CAPACIDAD DE RETENCION DE GRASA (kg)	CAPACIDAD MAXIMA RECOMENDADA (L)
Cocina de restaurante	56	14	190
Habitacion sencilla	72	18	190
Habitacion doble	92	23	240
Dos habitaciones sencillas	92	23	240
Dos habitaciones dobles	128	32	330
Volumen de agua mayor de 115 litros	56	14	115

Continuación de la tabla 9:

TIPO DE AFLUENTE	CAUDAL (L/min)	CAPACIDAD DE RETENCION DE GRASA (kg)	CAPACIDAD MAXIMA RECOMENDADA (L)
Volumen de agua mayor de 190 litros	92	23	240
Volumen entre 190 y 378 litros	144	36	378

Fuente: RAS, 2000

## **8. CAPITULO II : SISTEMAS DE TRATAMIENTO EXISTENTES**

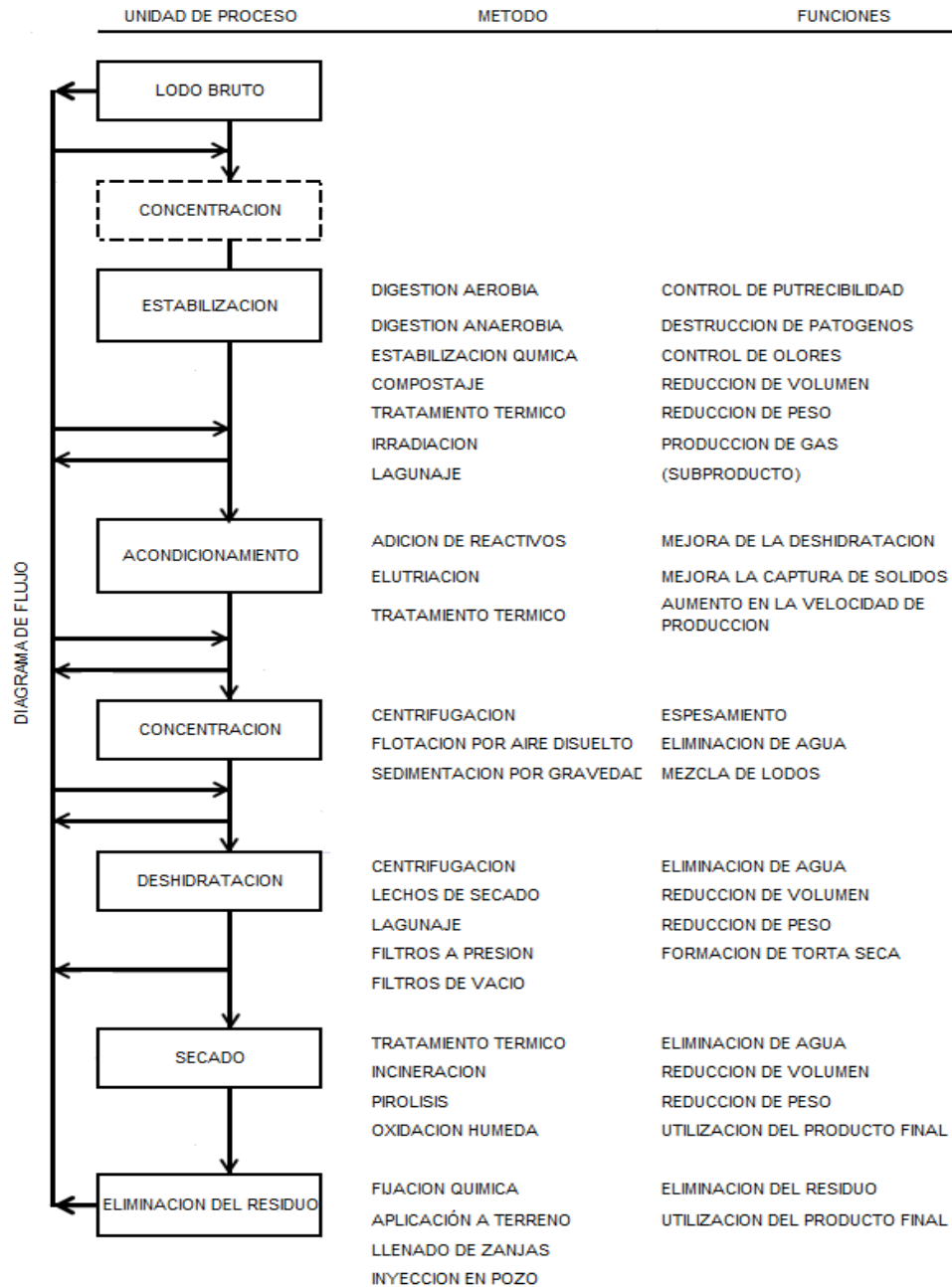
### **8.1. GENERALIDADES**

Los métodos de tratamiento de lodos pueden estar orientados fundamentalmente a conseguir dos fines bien diferenciados. Por un lado, existen una serie de tratamientos que llevan a cabo una estabilización de los lodos, es decir, los someten a un tratamiento que da lugar a un producto adecuado para su utilización posterior, reduciendo su capacidad de fermentación y la presencia de organismos patógenos [16]. Los procesos de digestión o secado pueden ser considerados entre estos tratamientos como de estabilización.

Por otra parte se utilizan también procesos conducentes a una total o casi total eliminación de la materia orgánica del lodo, obteniendo un menor volumen de un residuo más manejable y prácticamente inerte. Entre estos últimos procesos cabe citar la oxidación con aire en fase acuosa y la incineración. Por ello, los procesos de tratamiento de lodos pueden, en general, dividirse en dos grandes categorías, procesos de estabilización de los lodos y procesos de reducción/eliminación del componente orgánico de los mismos.

En la Figura 1 [14] se indican de manera esquemática los diferentes tratamientos a que pueden ser sometidos los lodos hasta su destino final interrelacionando los procesos y los métodos de tratamientos del lodo junto a las funciones que designan a cada proceso.

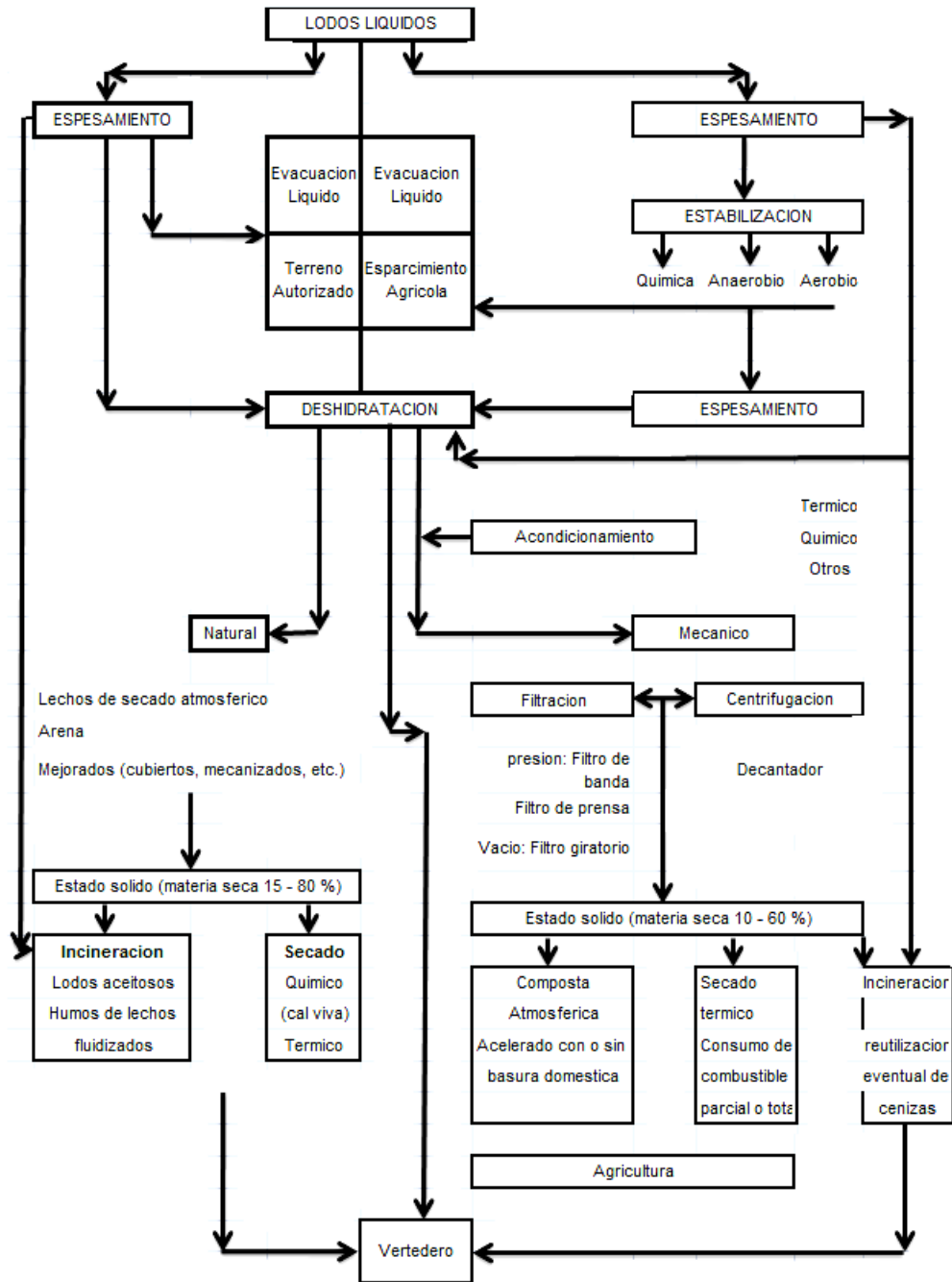
**FIGURA 1. ALTERNATIVAS PLANTEADAS PARA TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS [14]**



Fuente: CORBITT, 2003

8.1.1. CLASIFICACION DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

FIGURA 2. LÍNEAS MÁS COMUNES EN EL TRATAMIENTO DE LODOS [18]



Fuente: DEGREMONT, 1991

## **8.2. PROCESOS DE ESTABILIZACION DE LODOS**

### **ESTABILIZACIÓN DEL LODO**

La estabilización del lodo se lleva a cabo principalmente para: 1.- reducir la presencia de patógenos, 2.- eliminar los olores desagradables, y 3.- reducir o eliminar su potencial de putrefacción. La supervivencia de microorganismos patógenos y la proliferación de olores en el lodo se producen cuando se permite que los microorganismos se desarrollen sobre la fracción orgánica del mismo.

Los medios de estabilización más eficaces para eliminar el desarrollo de estas condiciones son: la reducción biológica del contenido de materia volátil; la oxidación química de la materia volátil; la adición de agentes químicos para hacer el lodo inadecuado para la supervivencia de microorganismos y la aplicación de calor con el objetivo de desinfectar o esterilizar el lodo.

Las técnicas de estabilización de lodos más recurridas son: la digestión anaerobia; la digestión aerobia; la estabilización con cal; el tratamiento térmico, y el compostaje.

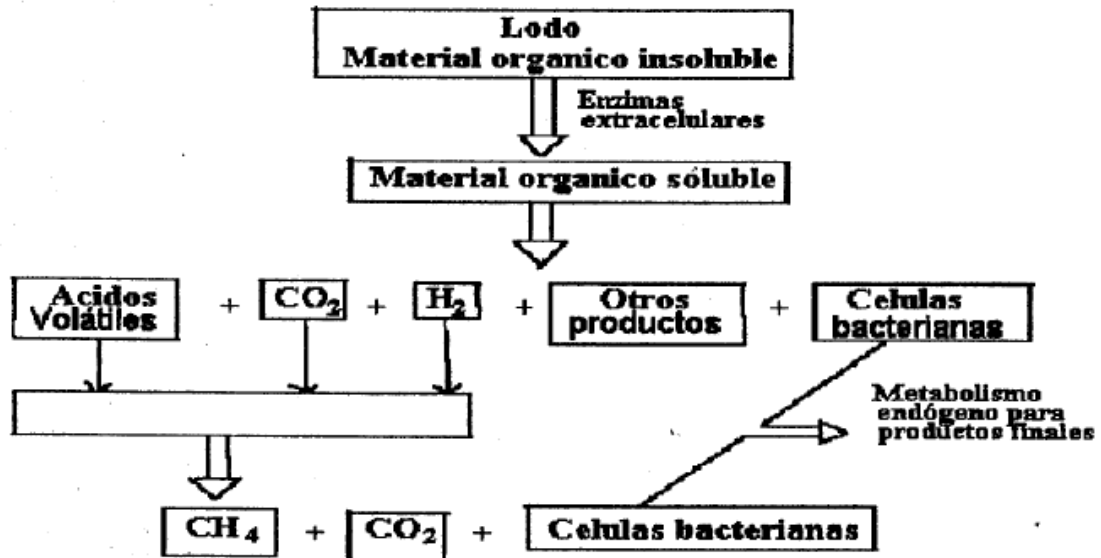
#### **8.2.1. DIGESTIÓN ANAEROBIA [37]**

La digestión anaerobia es la degradación de la materia orgánica de los lodos en condiciones de oxígeno reducido. Las reacciones que se producen en esta degradación liberan energía además de liberar al medio metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Los procesos de digestión anaerobia de alta carga, se llevan a cabo en un digestor primario con un periodo medio de retención que oscila entre los 10 y los 30 días en función del tipo de lodos alimentados y de la temperatura de trabajo. Algunas instalaciones que procesan por este sistema mezclas de lodos primarios y secundarios, utilizan temperaturas en el intervalo 30-33 °C y tiempos de residencia que van de los 17 a los 30 días. Se suele disponer además de un digestor secundario que facilita el espesamiento de los lodos y donde se lleva a cabo una digestión adicional. [37]

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios y secundarios se convierte en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) principalmente. El proceso se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado. Los lodos se introducen en el reactor de forma continua o intermitente, y permanecen dentro de estos tanques durante períodos de tiempo considerables. El lodo estabilizado que se extrae del proceso tiene un bajo contenido de materia orgánica y de microorganismos patógenos vivos.

FIGURA 3. MECANISMO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS [8]



Fuente: BENEFIELD, L.D. y RANDALL, C.W., 1982.

La digestión anaerobia ha sido y es uno de los procesos más comúnmente utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales para la estabilización de los lodos [8] [45] [47] [75] pudiendo clasificarse como un tratamiento clásico. Este sistema presenta una serie de ventajas e inconvenientes inherentes que se referencian a continuación:

### VENTAJAS

- Importante reducción de sólidos volátiles (entre un 40 y un 60 %) [47] [5]
- Bajos costos de operación si se recupera el metano producido
- Proceso excedentario en energía
- Es el método más rentable económicamente para plantas que traten por encima de 7.500 m<sup>3</sup>/día [47]
- Buena reducción del número de microorganismos patógenos
- Lodos utilizables para agricultura, pudiendo aplicarse generalmente en mayor cantidad que los correspondientes biosólidos obtenidos mediante digestión aerobia
- Reducción de la masa total de lodo [15]

### INCONVENIENTES

- Elevado volumen de inversión preciso para llevar a cabo su instalación
- Posibilidad de depósitos minerales en el equipo, dificultades de limpieza y posible formación de espumas
- Potencial producción de olores
- Peligrosidad de los gases inflamables producidos
- Presenta sobrenadantes con elevadas DBO, DQO, sólidos en suspensión y  $\text{NH}_3$
- Puede presentar problemas de "digestión acida" ya que los microorganismos productores de metano son de crecimiento lento

El volumen de los digestores aumenta, obviamente, con la cantidad de lodos a procesar así como cuanto menor es la temperatura de trabajo, al requerir mayores tiempos de residencia. Este proceso lleva a cabo una reducción significativa en el número de patógenos existentes, encontrándose dentro de los procesos PSRP según la EPA [41].

Como ya se ha enunciado, la digestión anaerobia puede llevarse a cabo a diferentes temperaturas y de ordinario se procede a un calentamiento de la masa en fermentación que acelera el proceso. El proceso global resulta excedentario en energía ya que del gas producido en la digestión se consume del orden de un 65 % o menos [63] para mantener la temperatura del lodo en el nivel adecuado. En principio, este sistema parece bastante atractivo ya que además de producir un lodo de características que facilitan su utilización posterior, resulta ser un proceso energéticamente excedentario, obteniendo energía que puede ser utilizada bien en la propia planta o para otros fines [63].

Existen también procesos de digestión anaerobia termófila que operan a temperaturas ligeramente superiores a 50 °C. A pesar de que precisan menores tiempos de residencia, producen una mayor destrucción de bacterias y mejoran la capacidad de procesar el lodo, su aplicación es limitada debido a sus requerimientos energéticos, problemas de estabilidad en la operación, producción de olores y sobrenadantes con abundante contenido en sólidos disueltos [47].

#### 8.2.1.1. TIPOS DE DIGESTORES ANAEROBIOS [47]

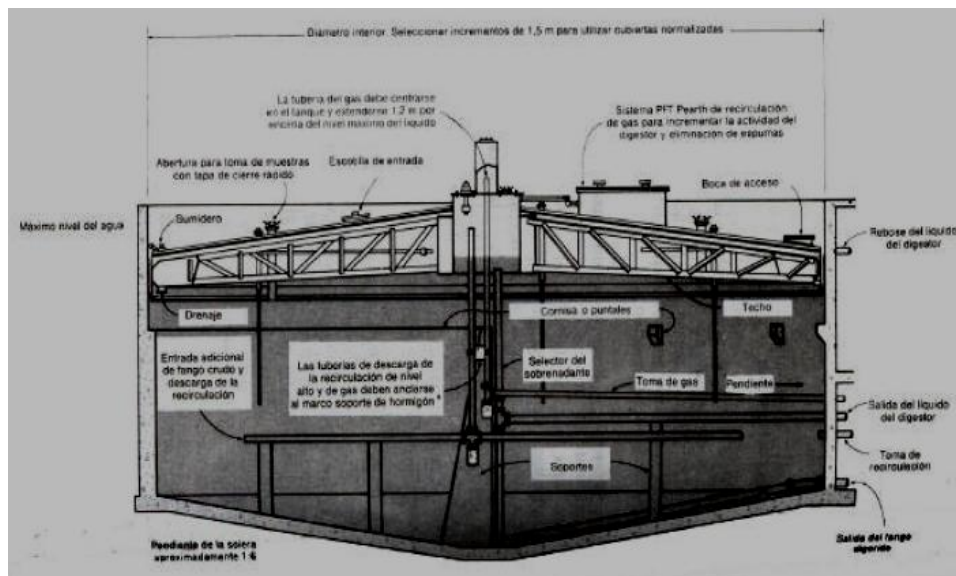
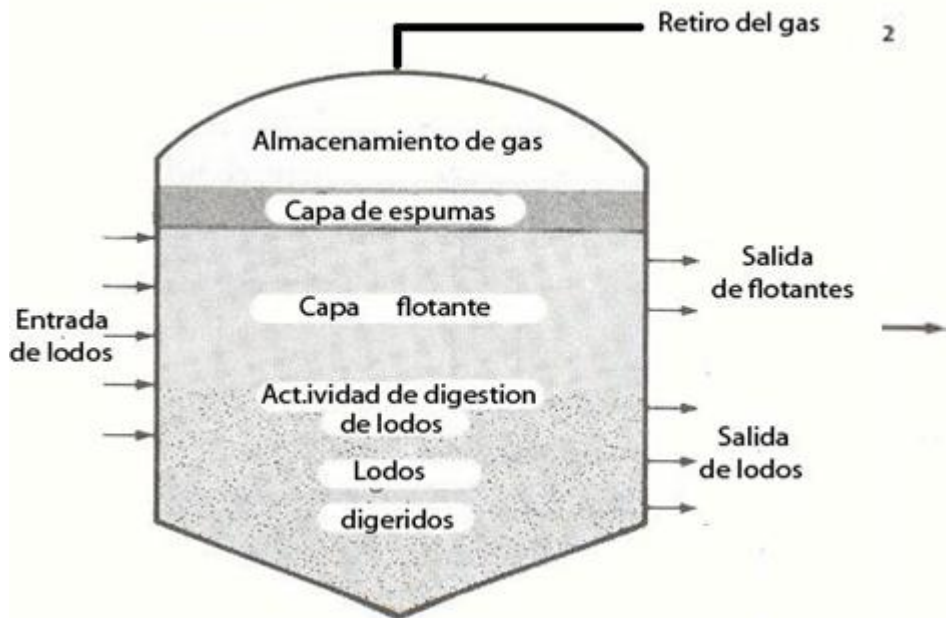
Los dos tipos de digestores más empleados son los de alta y baja carga. En el proceso de digestión de baja carga, como se aprecia en la Figura 4 , no se suelen calentar ni mezclar el contenido del digestor, y los tiempos de retención varían entre 30 y 60 días.

En los procesos de digestión de alta carga (ver Figura 5) el contenido del digestor se calienta y mezcla completamente. El lodo se mezcla mediante recirculación de



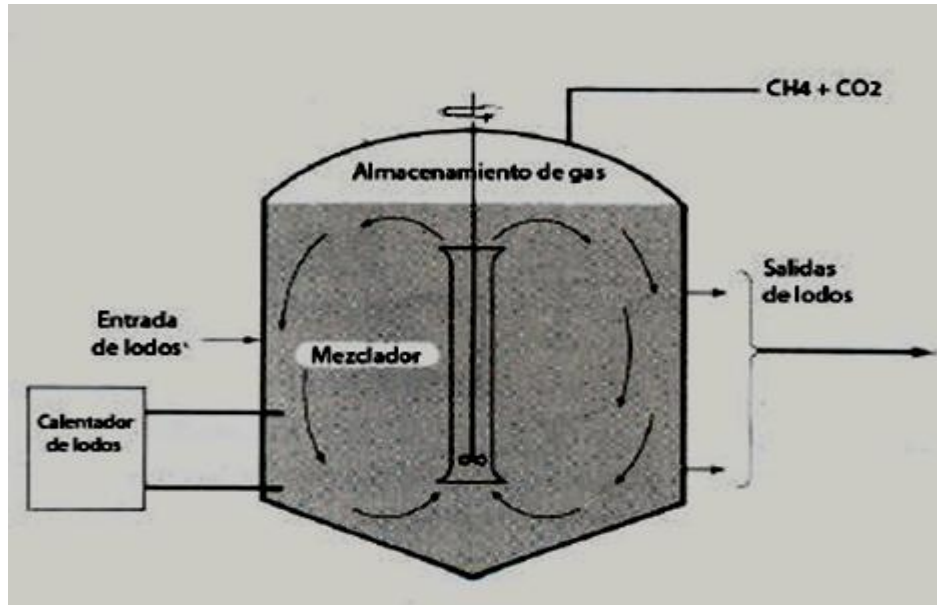
gas, mezcladores mecánicos, bombeo o mezcladores con tubos de aspiración, y se calienta para optimizar la velocidad de digestión. El tiempo de retención generalmente es menor a 15 días.

**FIGURA 4. DIGESTOR ANAEROBIO DE CARGA BAJA [47]**



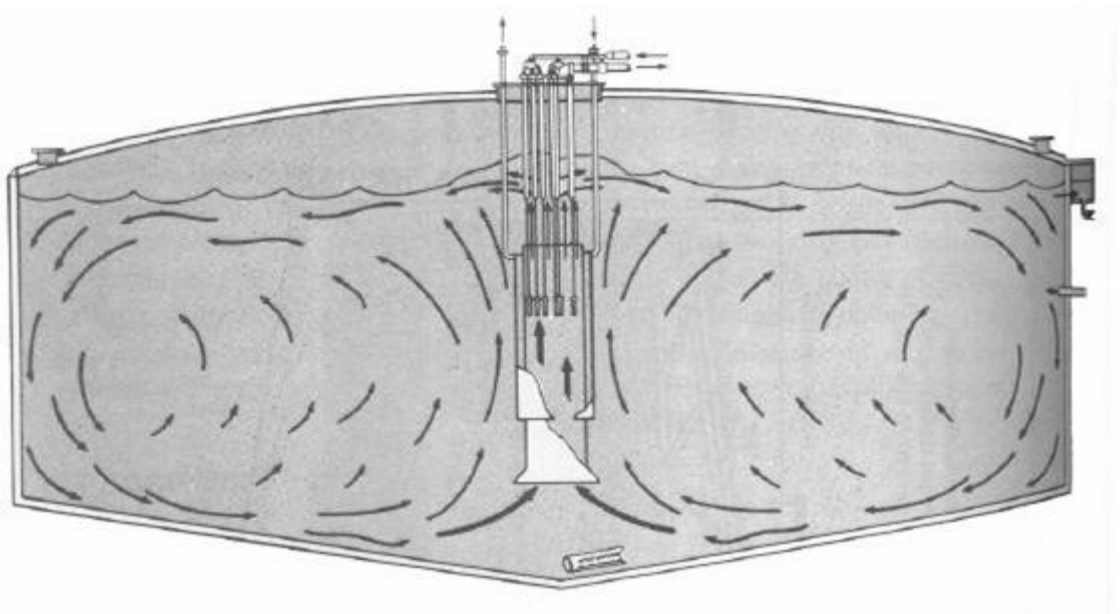
Fuente: METCALF & EDDY, 1991

**FIGURA 5. DIGESTOR ANAEROBIO DE CARGA ALTA [47]**



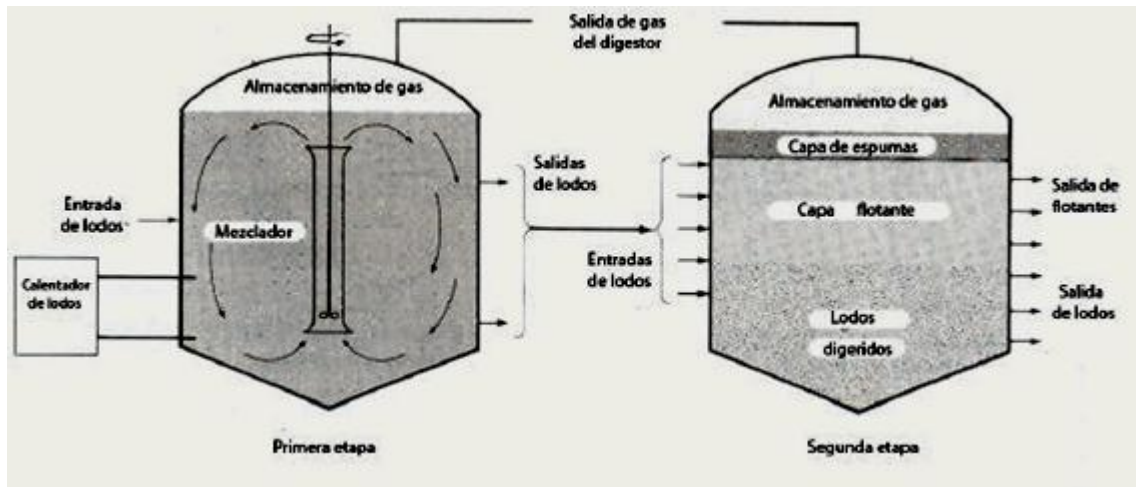
Fuente: METCALF & EDDY, 1991

**FIGURA 6. DIGESTOR ANAEROBIO DE CARGA ALTA [47]**



Fuente: METCALF & EDDY, 1991

**FIGURA 7. DIGESTOR DE DOBLE ETAPA [47]**



Fuente: METCALF & EDDY, 1991

La combinación de estos dos procesos se conoce como proceso de doble etapa, la cual se ilustra en la Figura 7. El primer tanque se utiliza para la digestión, y se equipa con dispositivos para el mezclado. El segundo tanque se utiliza para el almacenamiento y concentración del lodo digerido, y para la formación de un sobrenadante relativamente clarificado.

#### 8.2.1.2. MICROBIOLOGÍA DEL PROCESO

La conversión biológica de la materia orgánica de los lodos se produce en tres etapas.

El primer paso del proceso comprende el rompimiento de las moléculas “grandes” de materia orgánica en sus monómeros (hidrólisis).

El segundo paso, llamado ácido génesis se refiere a la conversión bacteriana de los monómeros generados (carbohidratos, ácidos grasos y aminoácidos) en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular.

El tercer paso, llamado metano génesis, implica la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simples, principalmente metano y dióxido de carbono. Mas desglosados así:

- **FASE DE HIDROLISIS**

En esta etapa se rompen los enlaces de las grandes moléculas gracias a las enzimas que excretan las bacterias hidrolíticas.

- **FASE ÁCIDA**

En esta fase actúan bacterias facultativas que transforman los compuestos orgánicos presentes en el lodo en ácidos orgánicos de bajo peso molecular, esto produce al finalizar esta etapa el pH descienda.

- **FASE ACETOGÉNICA:**

Esta fase la realizan las bacterias acetogénicas, las cuales liberan al medio acetatos y  $\text{CO}_2$ .

- **FASE METANOGENICA:**

Etapa realizada gracias a las bacterias metanogénicas, las cuales forman metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Estas bacterias tienen un crecimiento lento provocando que su metabolismo sea limitante en el proceso del tratamiento de los lodos mediante digestión anaerobia.

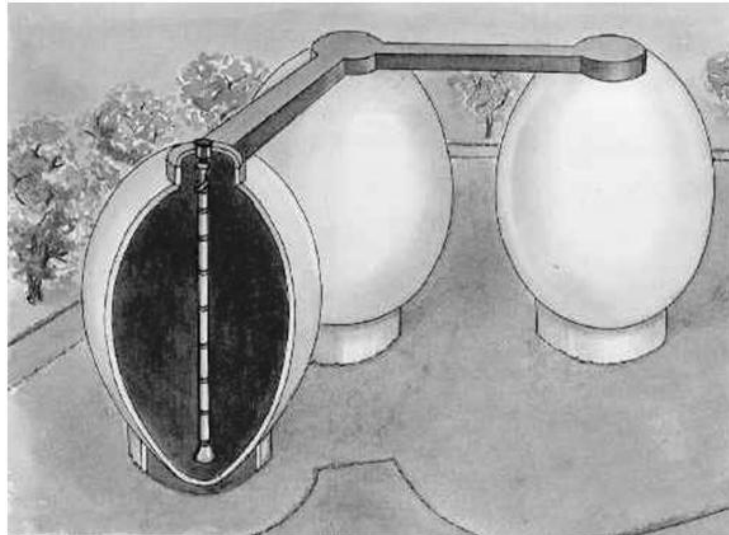
#### 8.2.1.3. FORMA DE LOS TANQUES

Los tanques de digestión anaerobia pueden ser cilíndricos, rectangulares o con forma de huevo. La implantación de tanques ovalados (Figura 6) ha ido creciendo en los últimos años en Estados Unidos y en México mientras que su uso es muy común en Europa. El objetivo del diseño de los tanques ovalados es eliminar la necesidad de limpiar los tanques. En la parte inferior del tanque, las paredes forman un cono de inclinación suficientemente pronunciada para evitar la acumulación de arenas. Otras ventajas de estos tanques son el mejor mezclado, mejor control de la capa de espumas, y las menores necesidades de superficies. Se pueden construir de acero o de hormigón armado.

#### 8.2.1.4. GAS COMO SUBPRODUCTO DE LA DIGESTION

La composición volumétrica del gas generado en la digestión anaerobia del lodo de aguas residuales contiene 65 - 70 % metano ( $\text{CH}_4$ ), 25 - 30 % dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), y muy pequeñas cantidades de nitrógeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno y algunos otros gases.

**FIGURA 8. TANQUES OVALADOS PARA DIGESTIÓN DE LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL SAN FERNANDO [47][30]**



Fuente: METCALF & EDDY, 1991 - HAMMEKEN ARANA, A. M., ROMERO GARCÍA, E. 2005

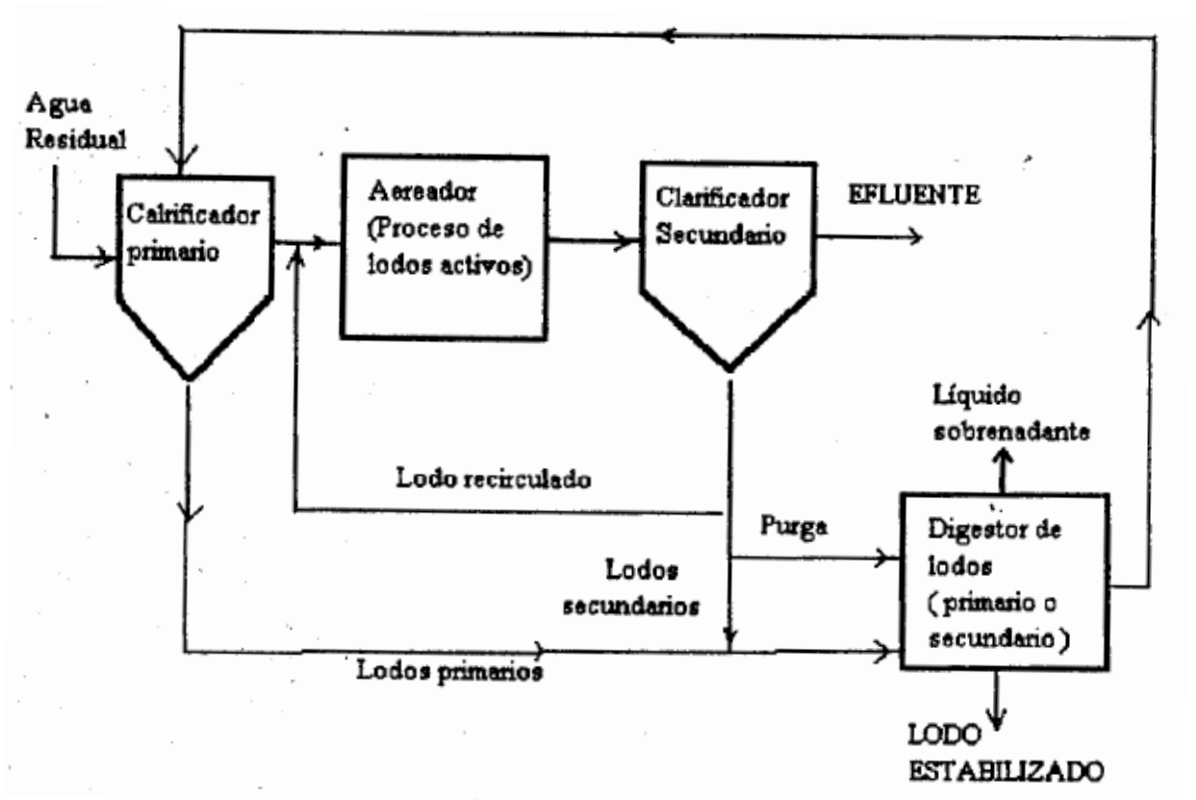
Un metro cúbico de metano, tiene un poder calorífico de  $\sim 35,800$  kJ. Como se mencionó anteriormente el gas suele tener un 65 % de metano por lo que el poder calorífico del gas de digestión es de  $\sim 22,400$  kJ/m<sup>3</sup>. Comparado con el gas natural, el cual tiene un poder calorífico de  $37,300$  kJ/m<sup>3</sup> su poder calorífico es considerable. El gas de digestión se puede emplear como combustible para calderas y motores de combustión internos que, a su vez, se pueden utilizar para el bombeo de agua residual, generación de electricidad y funcionamiento de aireadores.

### 8.2.2. DIGESTION AEROBIA [30]

Consiste en un proceso de aireación prolongada que dota al sistema de O<sub>2</sub> como medio adecuado para la producción de microorganismos aerobios. Los procesos de digestión aerobia están indicados especialmente para la estabilización de lodos procedentes del tratamiento biológico, siendo en esencia una continuación del proceso de aireación. Los métodos, cada vez menos usados, de digestión aerobia psicrófila y mesófila operan a temperaturas en torno a los 20 °C y presentan tiempos de residencia entre 10 y 30 días [31][47] con valores típicos en el intervalo 14-16 días [32]. El tiempo de residencia va a venir condicionado en gran medida por el origen de los lodos, correspondiendo los tiempos más reducidos a la

digestión aerobia de biosólidos procedentes únicamente de un proceso de lodos activos.

**FIGURA 9. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO AEROBIO DE LODOS [72]**



Fuente: VILLASEÑOR GÁNDARA, 1995

El tiempo de residencia ha de ir incrementándose conforme se incorpora al proceso de digestión aerobia una mayor cantidad de lodos procedentes de decantación primaria.

La digestión aerobia termófila es un proceso de estabilización de lodos en el cual reacciones biológicas aerobias que tienen lugar a temperaturas del orden de 55 °C (el intervalo varía en  $\pm 10$  °C o incluso más, de acuerdo con diferentes referencias) destruyen los componentes orgánicos biodegradables.

Según esta definición, el proceso podría ser equiparable al compostaje, pero existen diferencias suficientes que justifican la existencia de una nomenclatura propia para los dos procesos.

## VENTAJAS

- Bajo costo inicial, sobre todo para pequeñas instalaciones
- El sobrenadante es menos problemático que en el caso de los procesos anaerobios
- Control de operación simple
- Amplio intervalo de aplicación
- Buena desinfección del lodo (en el caso de procesos termófilos)
- Poca generación de olores con un diseño y operación adecuados
- Reducción de la masa total de lodo

## INCONVENIENTES

- Altos costes energéticos
- Generalmente menor reducción de sólidos volátiles que el proceso de digestión anaerobia
- Puede precisar la adición de álcali para reducir la bajada de pH
- Pueden producirse espumas
- Existe la posibilidad de dispersión de patógenos por medio de aerosoles
- El lodo es difícil de deshidratar por medios mecánicos
- Las bajas temperaturas afectan negativamente su rendimiento

Aplicable generalmente a plantas de tratamiento de aguas residuales de tamaño reducido con una capacidad de tratamiento por debajo de 17000 m<sup>3</sup>/día [47] aunque se ha utilizado con éxito en plantas mayores. Instalaciones típicas pueden tratar caudales de agua del orden de 3000 - 6000 m<sup>3</sup>/día

Así por ejemplo, en los procesos de digestión aerobia termófila el manejo del lodo es en forma de líquido, con un contenido en sólidos entre el 3% y el 5% [31][47] mientras que para las operaciones de compostaje es preciso llevar a cabo una deshidratación previa del lodo hasta alcanzar contenidos en sólidos del 30-35 % como mínimo [10][30][75].

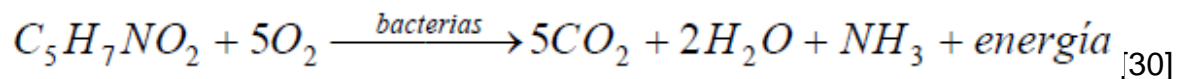
Las modernas técnicas de digestión aerobia termófila utilizan el carácter exotérmico de las reacciones de oxidación de la materia orgánica. Si la sequedad de los lodos es superior al 3 % se puede conseguir un proceso autotérmico (procesos ATAD, según la nomenclatura inglesa correspondiente a “Autothermal Thermophilic Aerobio Digestión”) que se llevará a cabo a temperaturas comprendidas entre 45 y 70°C que permiten destruir la mayoría de los virus y huevos de ácaros [31][38]. Este proceso de digestión opera con tiempos de retención mínimos del orden de un día [28] aunque los valores correspondientes a diferentes instalaciones se encuentran en un intervalo muy amplio. Se recomienda

que todo el lodo esté sometido a una temperatura mínima de 55 °C para que la desinfección sea satisfactoria.

Según algunos estudios [45], este proceso es capaz de eliminar microorganismos nocivos refractarios al tratamiento anaerobio. Cuando los lodos a tratar provienen de la depuración de aguas residuales urbanas y de aguas de origen industrial, se considera que una buena alternativa para conseguir un producto con suficiente estabilidad química y un nivel suficientemente bajo de patógenos el acoplar un proceso de digestión aerobia termófila con una digestión anaerobia [31]. Otros trabajos [28] indican que es posible conseguir mediante digestión aerobia termófila una garantía simultánea de estabilización y desinfección.

La digestión aerobia se emplea generalmente en plantas de tratamiento con capacidad inferior a 20 000 m<sup>3</sup>/día sin embargo, en algunas ocasiones se ha empleado en plantas con mayor capacidad.

La digestión aerobia es similar al proceso de lodos activados. Conforme se agota el suministro de sustrato disponible (alimento), los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma (respiración endógena) para obtener la energía necesaria para las reacciones de mantenimiento celular.



El tejido celular se oxida a dióxido de carbono, amoníaco y agua por vía aerobia. En la práctica sólo se puede oxidar entre el 75 y 80 % del tejido celular, puesto que el resto está formado por componentes inertes y compuestos orgánicos no biodegradables.

### 8.2.3. ESTABILIZACION QUIMICA

#### **OXIDACIÓN CON CLORO**

Es la oxidación química del lodo mediante la aplicación de una dosis elevada de cloro. Se realizan en reactores cerrados y necesita un periodo de retención bastante corto.

Los compuestos del cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gas (Cl<sub>2</sub>), el hipoclorito sódico (NaOCl), el hipoclorito de calcio [Ca(OCl)<sub>2</sub>], y el dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>). Los hipocloritos sódico y cálcico se suelen emplear en las plantas pequeñas, especialmente en las prefabricadas, en las que la simplicidad y seguridad son



criterios de mayor peso que el costo. El hipoclorito de sodio se emplea en las plantas de gran tamaño, principalmente por cuestiones de seguridad relacionadas con las condiciones locales. El dióxido de cloro también se emplean en las instalaciones de tratamiento, debido a que tiene algunas propiedades poco frecuentes (no reacciona con el amoníaco).

### **VENTAJAS**

- Versatilidad
- Altos rendimientos
- Bajos costos de operación

### **DESVENTAJAS**

- Aumento de sales
- Produce derivados clorados
- No oxida hasta CO<sub>2</sub>

### **ESTABILIZACIÓN CON CAL**

Se añade cal al lodo en dosis tales para mantener el pH 12 durante el tiempo suficiente como para asegurar la eliminación o reducción de organismos patógenos presentes en los lodos.

Este tipo de estabilización se suele usar:

- Como sistema complementario de estabilización durante los periodos en que las instalaciones de otros sistemas (como la digestión o la incineración) están fuera de servicio.
- Como sistema complementario a los procesos de digestión cuando hay una cantidad de lodos mayor a la cantidad prevista en el diseño de las instalaciones.
- En plantas de pequeño tamaño donde una inversión y la consiguiente explotación de las instalaciones de otro sistema de estabilización no resulten rentables.

### **VENTAJAS**

- El producto de la estabilización es un material sólido, de aspecto terroso, fácil de manejar, fácil de compactar, impermeable y completamente inerte.
- Los reactivos empleados son relativamente baratos y disponibles en cualquier parte.

- No se requiere un equipo sofisticado para el tratamiento.
- Las reacciones químicas que se desarrollan son relativamente sencillas.
- No hay necesidad de un secado previo del material a procesar, ya que de hecho, el agua es necesaria para el desarrollo de las reacciones químicas.
- No genera lixiviados en el proceso por lo tanto no es necesario contar con un área que reúna características especiales para el depósito final.

## DESVENTAJAS

- Los reactivos aumentan de un 10 % a un 25 % el peso del material que se estabiliza.
- Es necesario garantizar una mezcla perfectamente homogénea de desecho y reactivos para asegurar la reacción de estabilización química, para lo cual se cuenta con una mezcladora automatizada donde pesa el desecho, los reactivos que se utilizan y el agua, así no hay fallas en el proceso ni derrames.

En la Tabla 10 aparecen las dosis recomendadas para la adición de hidróxido de calcio dependiendo del tipo de lodo que se vaya a estabilizar, teniendo en cuenta su concentración de sólidos en porcentaje:

**TABLA 10. CANTIDAD DE  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  NECESARIA PARA MANTENER EL PH POR ENCIMA DE 12 DURANTE 30 MINUTOS [69]**

Tipo de lodo	Concentración de sólidos (%)		Dosis de cal, Kg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /ton sólidos secos	
	Intervalo	Valor medio	Intervalo	Valor medio
<b>Primario</b>	3-6	4,3	60-170	120
<b>Exceso de lodo activado</b>	1-1,5	1,3	210-430	300
<b>Mezcla digerida por vía aerobia</b>	6-7	6,5	140-250	190
<b>Líquido de fosas sépticas</b>	1-4,5	2,7	90-510	200

Fuente: TRATAMIENTO DE FANGOS, ESTABILIZACION

### 8.2.4. TRATAMIENTO TERMICO

Proceso que consiste en calentar el lodo durante cortos períodos de tiempo bajo presión dando como resultado la coagulación de los sólidos y la rotura de la estructura del coloide. Como consecuencia de todo ello, el lodo es esterilizado, prácticamente desodorizado, deshidratándose fácilmente en filtros prensa o de

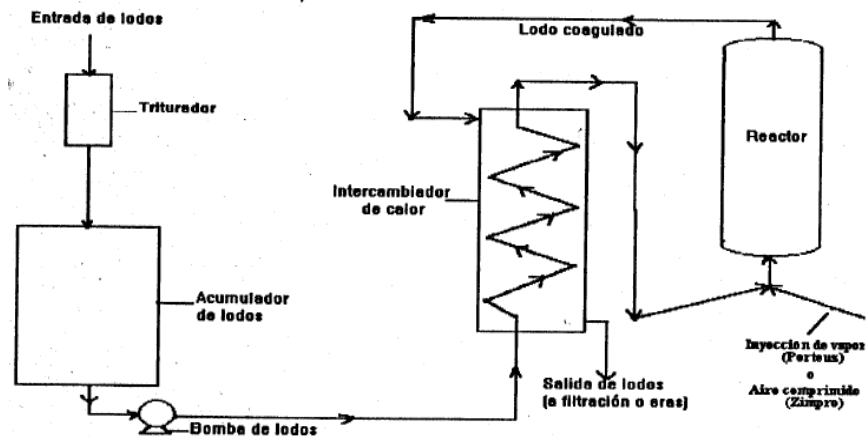
vacío sin adición de productos químicos. Este tipo de tratamiento tiene mayor aplicación a los lodos biológicos, que pueden ser difíciles de estabilizar por otros medios. Su uso está limitado, en general, a grandes plantas debido a los altos costos de inversión.

Se consideran principalmente dos tipos de tratamientos térmicos, conocidos por sus nombres comerciales Porteus y Zimpro. [57]

El proceso Porteus [57] incluye el funcionamiento en continuo a presiones de 12 a 15 kg/cm<sup>2</sup> y temperaturas aproximadamente de 200 °C. después de pasar por un triturador, el lodo se bombea desde un depósito a través de un intercambiador de calor, donde se calienta por medio del lodo caliente de salida del reactor. En el reactor se inyecta vapor a alta presión. El tiempo de residencia en el reactor es de unos 30 min, el lodo se conduce a través del intercambiador de calor a un tanque de decantación. Con este sistema se puede conseguir una reducción del 80-90 % en la materia orgánica, encontrándose parte de materia orgánica y amonio entre los productos finales. El lodo sedimentado puede filtrarse a un contenido de sólidos de 40-50 %.

En el sistema Zimpro [57] de baja presión, el lodo se trata como el proceso Porteus, con la única diferencia de que se inyecta aire en el recipiente del reactor junto con el lodo. El recipiente del reactor es calentado por vapor a temperaturas de 150 a 210 °C a presiones que oscilan entre 10.5 y 21 kg/cm<sup>2</sup>, el calor liberado durante la oxidación aumenta la temperatura de la operación hasta 175-316 °C . La combustión es del orden de 660-770 kcal/kg de aire. El lodo parcialmente oxidado puede deshidratarse por filtración, centrifugación o drenado sobre eras. El contenido en sólidos del lodo deshidratado puede variar del 30 al 50 %, según el grado de oxidación

**FIGURA 10. DIAGRAMA DE FLUJO COMBINADO DE LOS PROCESOS ZIMPRO PORTEUS [57]**



Fuente: RAMALHO, 1991

### 8.2.5. COMPOSTAJE

El término compostaje define un proceso biooxidativo controlado que involucra: [1] un sustrato orgánico heterogéneo en estado sólido; [2] una etapa termófila y liberación temporaria de fitotoxinas y [3] una etapa de maduración que finaliza en la producción de materia orgánica estabilizada (compost) y minerales. En comparación con otros procesos, la biooxidación controlada asegura mayor eficiencia: es más efectivo en la reducción de patógenos, elimina olores desagradables y acorta el tiempo necesario para la estabilización del material [42][76].

### SISTEMAS DE COMPOSTAJE

- Apilamiento estático, con aireación forzada es adecuado para áreas pequeñas, permite el control del oxígeno así como de la humedad y temperatura, las instalaciones no son caras.
- Apilamiento con volteos, es un sistema considerado lento y utilizado desde épocas muy remotas. Es simple y fácil de realizar, se voltea periódicamente la masa para lograr una buena aireación y control de la humedad y temperatura.
- Sistemas cerrados, involucran el uso de reactores de diferentes tipos y dimensiones, este tipo de proceso es rápido pero su mantenimiento es costoso y las descargas del compost son muy complicadas.

### **8.3. PROCESOS DE CONCENTRACION O ESPESADO DE LODOS**

El espesado es un procedimiento que se emplea para aumentar la fracción sólida del lodo de desecho mediante la reducción de la fracción líquida del mismo. Por ejemplo, si un lodo activado que normalmente se bombea desde los tanques de sedimentación secundaria con un contenido de sólidos del 0,8 %, se pudiera espesar hasta un contenido de sólidos del 4 %, por lo tanto se conseguiría reducir el volumen de lodo a una quinta parte.

La reducción del volumen de lodo es muy beneficiosa para los procesos de tratamiento subsecuentes tanto por la capacidad de tanques y equipos necesarios como por la cantidad de reactivos químicos necesarios para el acondicionamiento del lodo, y por la cantidad de calor necesario para los digestores. La reducción del volumen permite reducir tamaños de tuberías, bombas y tanques digestores.

Los sistemas de espesado suelen llevarse a cabo mediante procedimientos físicos, y los más utilizados son: 1.- el espesado por gravedad o sedimentación, 2.- por centrifugación y 3.- por flotación.

#### **8.3.1. ESPESADO POR GRAVEDAD O SEDIMENTACION [30]**

Este proceso se lleva a cabo en tanques similares a los utilizados en los sistemas de sedimentación convencional. Generalmente dichos tanques poseen formas circulares. El lodo diluido es conducido a una cámara de alimentación central. El lodo alimentado sedimenta y compacta, y el lodo espesado se extrae por la parte inferior del tanque. El lodo espesado que se recoge en el fondo del tanque se bombea a los digestores, mientras que el sobrenadante que se origina, se retorna al sedimentador primario. El espesado por gravedad resulta más efectivo en el tratamiento del lodo primario.

Aparece también un puente móvil donde se sitúan dos brazos con sendas rasquetas, movidos por un motor que acciona el eje central. La función de estas rasquetas es la de concentrar los sólidos y conducirlos a la parte central del fondo cónico, y proceder a su evacuación.

Este tipo de espesadores suelen estar tapados para evitar olores.

El fondo del espesador debe tener una pendiente mínima del 10 %. Existen otro tipo de recomendaciones para el diseño de espesadores que se resumen en la tabla 11:

**TABLA 11. PARAMETROS DE DISEÑO PARA ESPESADORES [30]**

	<b>Carga de sólidos (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h)</b>	<b>Tiempo de retención (h)</b>	<b>Concentración lodo espesado (g/l)</b>
<b>Lodos primarios</b>	<130	<1,40	>24	8-10
<b>Lodos activos</b>	<35	<0,45	>24	2-3
<b>Lodos mixto</b>	<70	<0,90	>24	4-7
<b>F. aireación prolongada</b>	<35	<0,45	>24	2-3
<b>F. estabilización aerobia</b>	<35	<0,45	>24	2,5-3,5

Fuente: HAMMEKEN ARANA, A. M., ROMERO GARCÍA, 2005

### 8.3.2. ESPESADO POR CENTRIFUGACION

La centrifugación es un proceso de separación que utiliza la acción de la fuerza centrífuga para promover la aceleración de partículas en una mezcla de sólido-líquido. Dos fases claramente distintas se forman en el recipiente durante la centrifugación:

- El sedimento que generalmente no tiene una estructura uniforme.
- El centrifugado o el concentrado que es el líquido flotante.

A menudo claro, algunas veces nublado, debido a la presencia de las partículas coloidales muy finas que no se depositan fácilmente. Sin embargo puede también contener varias fases si el líquido intersticial de las mezclas contiene el elemento con diversas densidades, tales como aceites por ejemplo.

Los centrifugadores se encargan de la separación de las partículas mediante fuerza de aceleración gravitacional que se logra gracias a una rotación rápida.

Este proceso puede provocar la sedimentación o suspensión de las partículas o puede conseguir la fuerza necesaria para la filtración a través de algún tipo de filtro [70].

La aplicación más común es la separación de sustancias sólidas a partir de suspensiones altamente concentradas. Si se usa de esta manera para el tratamiento de las aguas residuales y para el espesado de otros tipos de lodos se consigue la deshidratación y creación de sedimento más o menos consistente dependiendo de la naturaleza del lodo tratado, y la aceleración en concentrar o aumentar el grosor de lodo poco concentrado.

El método de separación es similar a la separación por gravedad. La fuerza motriz es mayor al ser resultado de la rotación del líquido: en el caso de la sedimentación, donde la fuerza motriz es el resultado entre las diferencias en densidad de las partículas sólidas y líquidas, la separación se logra con una fuerza del orden de 1000 a 20000 veces mayor que la gravedad.

## **DIFERENTES TIPOS DE CENTRIFUGADORES**

La mayoría de los centrifugadores rotan gracias a algún tipo de fuerza motriz. El tipo de centrifugadores para la sedimentación incluyen [18][3]:

- Hidrociclones
- Campana tubular centrifuga (bowl)
- Cámaras-campana de centrifugación (chamber bowl)
- Centrifugador de cesta imperforada (imperforate basket)
- Separador de discos (disk stack separator)
- decantador (decanter)

Los centrifugadores de sedimentos fueron inventados para la separación entre líquidos y sólidos y para los sólidos no manejables. Pronto se llegó a la conclusión de que este tipo de sistemas tiene una gran cantidad de aplicaciones adicionales desde la separación de sólidos e impurezas, hasta la separación de sólidos en líquidos.

### **8.3.2.1. HIDROCICLONES**

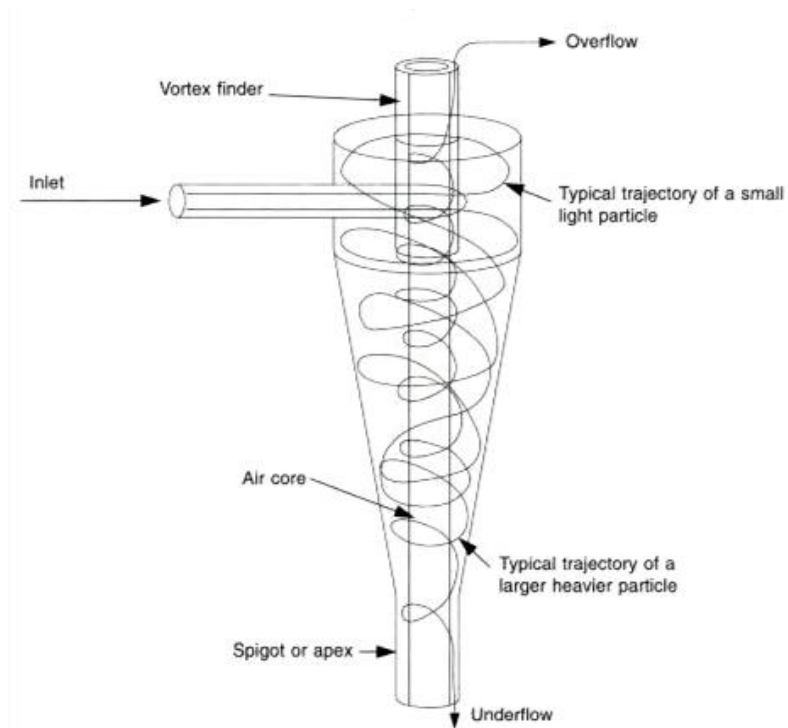
La manera más simple de utilizar la fuerza centrífuga para la separación son los Hidrociclones. En realidad no es un centrifugador: ya que la separación centrífuga es producida por el movimiento del lodo, inducido por la inyección del material de alimentación de manera tangencial. El principio de operación se basa en el concepto de velocidad terminal de sedimentación de una partícula sólida en un campo centrífugo.

El flujo de entrada entra tangencialmente (inlet) en la sección cilíndrica del hidrociclón que seguirá un camino circular con un flujo revertido de fluido desde afuera al eje del vórtice (vortex finder). El campo centrífugo generado por las velocidades tan altas de circulación crearía un cono de aire en el eje que normalmente se extiende hasta la apertura guía (spigot or apex) en la base de la sección cónica (air core) a través del vórtice (vortex finder) y hasta la sección de reborde o rebosamiento en la parte superior (overflow). Para que esto ocurra la fuerza centrífuga debe ser mucho mayor que la gravitacional. Las partículas que caen dentro del campo centrífugo tenderán a moverse hacia afuera en función de

la mayor densidad. Las mayores, y más pesadas migran rápidamente a las paredes de fuera de la sección cilíndrica y posteriormente forzadas a caer al interior de la pared cónica. Las partículas pequeñas, serán sin embargo atraídas hacia dentro por el fluido a medida que se mueven hacia el vórtice (vortex finder).

La separación sólida ocurrirá durante la suspensión a lo largo del recipiente del hidrociclón, de manera que genera lodo denso en la pared más externa, que permite el flujo continuo del hidrociclón en la boquilla de retraso.

**FIGURA 11. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN HIDROCIKLON [18]**



Fuente: DEGREMONT, 1991.

### 8.3.2.2. CAMPANA TUBULAR CENTRIFUGA

La campana tubular centrifuga ha sido usado durante mucho tiempo antes que otros sistemas de centrifugación. Se basa en simple geometría: su diseño consiste en un tubo, cuyo largo es de varias veces su diámetro que rotan entre apoyos a cada lado. El flujo del proceso entra en el fondo del centrifugador (feed suspension) y altas fuerzas centrifugas separan los sólidos que se adhieren a las

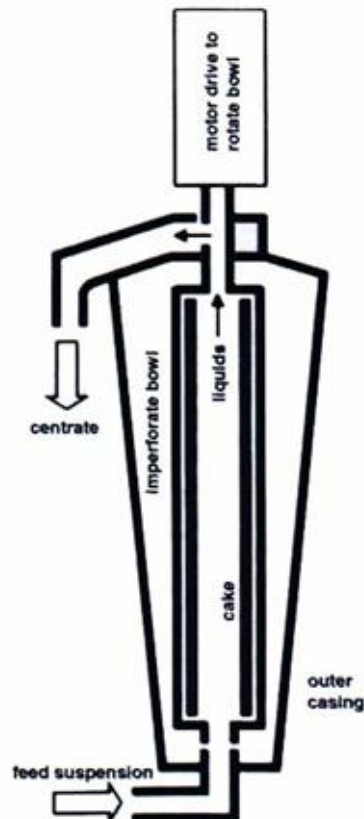


pareces de la campana, mientras la fase líquida sale en la parte superior del centrifugador.

Debido a que este sistema carece de rechazo de sólidos, los sólidos solo se pueden eliminar parando el funcionamiento del aparato, desmontándolo y arrastrando o lavando los sólidos manualmente.

Estos centrifugadores campana tubular tienen capacidad de deshidratación, pero capacidad limitada de separación de sólidos. La espuma generada puede suponer un problema a no ser que se utilicen skimmer especiales (desnatadores para recoger la espuma generada en la superficie) o bomba centrípeta.

**FIGURA 12. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CAMPANA TUBULAR CENTRIFUGA [3][39]**

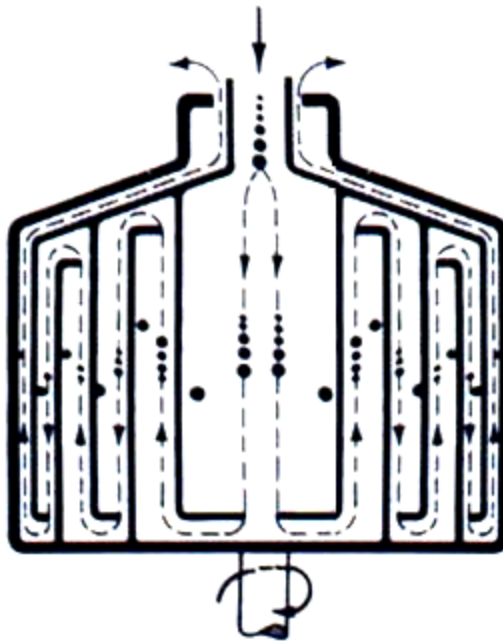


Fuente: ALAN RECORDS, 2001 - KEN SUTHERLAND, 2005

### 8.3.2.3. CÁMARAS-CAMPANA DE CENTRIFUGACIÓN

Las cámaras- campana de centrifugación consisten en un número de campanas tubulares organizadas de manera co-axial. Radica en una campana principal que tienen divisiones cilíndricas insertadas que separan el volumen de la campana en una serie de cámaras anulares que operan en serie. El flujo de alimentación entra en el centro de la campana y la suspensión pasa a través de las distintas cámaras, que van aumentando la distancia del eje. Los sólidos sedimentan en las partes externas en las paredes de las cámaras y el líquido limpio se extrae mediante rebosamiento en la cámara de mayor diámetro. El sistema también supone una clasificación de sólidos en suspensión: las partículas principales se depositan en la cámara interior y las partículas finas en las cámaras subsecuentes. La eliminación de los sólidos sedimentables necesita la parada de la rotación para su limpieza manual.

**FIGURA 13 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE CÁMARAS-CAMPANA DE CENTRIFUGACIÓN [3][39]**

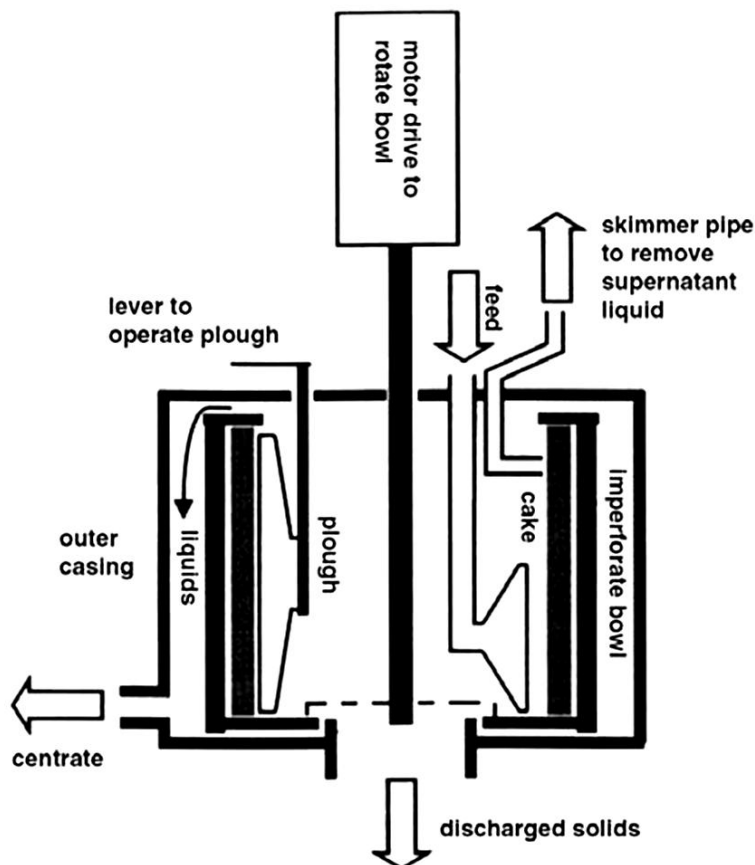


Fuente: ALAN RECORDS, 2001 - KEN SUTHERLAND, 2005

#### 8.3.2.4. CENTRIFUGADOR DE CESTA IMPERFORADA

Se usa cuando el contenido de sólidos en suspensión es muy alto. Consiste simplemente en una cesta o campana tambor, que normalmente rota en torno a un eje vertical. Los sólidos se acumulan y comprimen debido a la fuerza centrífuga pero no son deshidratados. El líquido residual drena al parar la rotación. La capa de sólidos se remueve manualmente mediante cepillado o retirada con pala. La descarga se puede conseguir mediante un skimmer y tubería para remover el líquido residual y después mediante la aplicación de una pala-cuchillo para cortar el sólido formado. Esto evita la parada del sistema para su limpieza.

**FIGURA 14. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN CENTRIFUGADOR DE CESTA IMPERFORADA [3][39]**

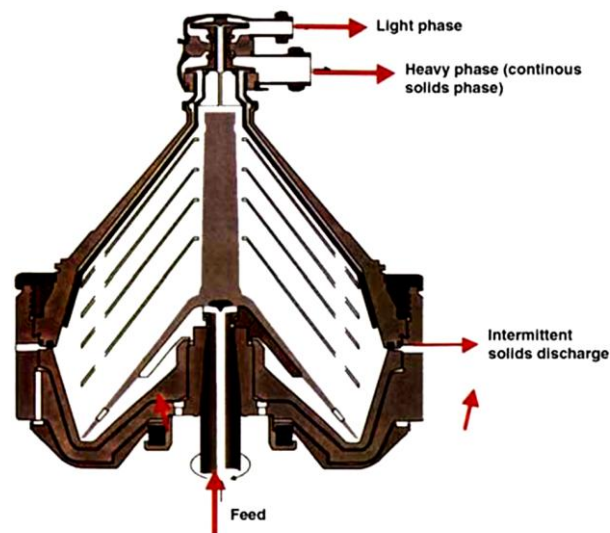


Fuente: ALAN RECORDS, 2001 - KEN SUTHERLAND, 2005

### 8.3.2.5. SEPARADOR DE DISCOS

El diseño más limpio se basa en una cámara cerrada que contiene una pila de discos, donde cualquier sólido es recogido en la parte externa de la cámara, desde donde se retiraran manualmente al parar la rotación. Los sólidos son extraídos de la cámara mediante una serie de métodos incluidos las boquillas, que se abren continuamente, y que permiten la retirada de lodo denso. En otros diseños más complicados boquillas con válvulas se abren automáticamente cuando la profundidad del sólido en la cámara alcanza cierto valor, y luego se cierra cuando los sólidos han sido extraídos. El diseño más complicado, consiste en una cámara abierta: donde las carcasas de la cámara se separan de manera circunferencial durante un corto periodo de tiempo, en donde esta apertura también viene condicionada por la profundidad de los sólidos en la cámara.

**FIGURA 15 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SEPARADOR DE DISCOS [3][39]**



Fuente: ALAN RECORDS, 2001 - KEN SUTHERLAND, 2005

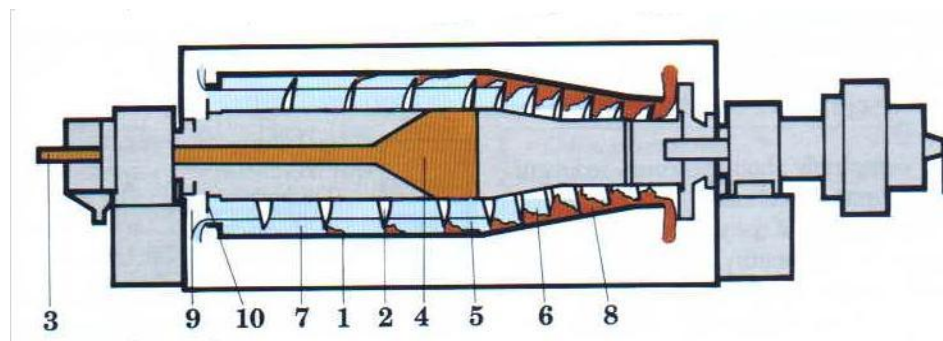
### 8.3.2.6. DECANTADOR

El decantador centrífugo es el único decantador que ha sido preparado para el manejo de concentración de sólidos significativa en la suspensión de alimentación.

Al mismo tiempo alcanza altos niveles de clarificación del concentrado líquido. Aunque es una maquina de diseño complicado está basado en un principio básico.

Consiste en una cámara cilíndrica horizontal (1) que rota a alta velocidad, con un tornillo helicoidal de extracción (2) situado co-axialmente. El tornillo se ajusta perfectamente al contorno de la cámara, de manera que solo permite agua clara entre la cámara y el rotador. La velocidad diferencial entre el tornillo y el rotador es lo que provoca un movimiento de arrastre para la recogida de los sólidos, que se acumulan en las paredes de la cámara.

**FIGURA 16 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN DECANTADOR [3][39]**



Fuente: ALAN RECORDS, 2001 - KEN SUTHERLAND, 2005

1. Cono cilindro cónico
2. Tornillo Extracción helicoidal (rotador)
3. Alimentación
4. Distribuidor
5. Espacio entre anillos
6. Producto de sedimentación
7. Nivel liquido
8. Zona de secado
9. Liquido clarificado
10. Limite ajustamiento

El producto a ser tratado (3) se introduce axialmente en la unidad mediante un distribuidor apropiado (4). Es propulsado en el espacio anillo (5) que se forma en la superficie interna de la cámara y el cuerpo del rotador. El proceso de rotación tiene lugar dentro de la sección cilíndrica de la cámara. La velocidad relativa del rotador empuja los productos sedimentados [6] a lo largo de la cámara. El arrastre de los sólidos en la longitud del cono permite a los sedimentos pasar fuera de la fase líquida clarificada. Mientras la entrada de agua sea continua se establece un

nivel de líquido (7) en la unidad siguiendo la superficie cilíndrica que constituye la superficie externa del anillo líquido. Una vez han pasado los sólidos fuera del anillo líquido la sección restante del cono produce el drenaje final hasta el eyector o expulsor: esta sección se conoce como zona de secado (8). El líquido clarificado (9) se colecta al otro extremo de la cámara mediante un flujo dentro de un límite ajustable (10), que limita el anillo de líquido de la unidad. Una tapa permite la colección del líquido clarificado y los sedimentos y protege el rotor.

El decantador opera principalmente mediante la sedimentación causada por la separación de sólidos en suspensión, en función de la densidad del líquido donde se encuentran suspendidos. Si la diferencia de densidad es mayor que la gravedad esto provoca una fuerza motriz suficiente para la separación en un tiempo razonable. Si la densidad es pequeña, o el tamaño de las partículas es pequeño, entonces la separación por gravedad se produce durante mucho tiempo y la fuerza de separación debe aumentarse mediante fuerzas centrífugas mayores que la gravedad.

## **VENTAJAS**

La principal ventaja del decantador es la posibilidad de remover sólidos separados en zonas de separación específicas de manera continuada. En comparación con:

**Sedimentación por gravedad:** el decantador puede alcanzar separaciones que serían muy difíciles en un clarificador o separador en láminas, y además produce sólidos más secos.

**Hidrociclones:** el decantador tiene una mayor capacidad de líquido, puede manejar mayores concentraciones de lodo y producir sólidos más secos.

**Campana tubular centrífuga:** el decantador ofrece mayores capacidades, puede manejar mayores concentraciones de lodo y producir sólidos más secos.

**Centrifugador de cesta imperforada:** el decantador opera de manera continuada, puede manejar mayores concentraciones de lodo y producir sólidos más secos.

**Separador de discos:** el decantador tiene una operación continuada, puede manejar mayores concentraciones de lodo y producir sólidos más secos.

Las ventajas del decantador son que se puede utilizar para un mayor rango de usos potenciales, además de su continua operación, la posibilidad de aceptar grandes rangos de concentraciones de alimentación al sistema, y la disponibilidad para una gran variedad de capacidades del flujo de alimentación al sistema.

### 8.3.3. ESPESADO POR DESHIDRATACION

La deshidratación disminuye el contenido de agua de los lodos disminuyendo así el volumen de los lodos para el transporte y la manejabilidad de los mismos. El destino de los lodos determinará el grado de deshidratación y el método utilizado para este fin.

Con la deshidratación se consigue:

- Disminuir los costes de transporte de los lodos al disminuir el volumen del lodo.
- Mejora la manejabilidad de los lodos.
- La deshidratación suele ser necesaria antes de la incineración ya que se consigue aumentar el poder calorífico al disminuir la humedad, La deshidratación es necesaria si el lodo se destina a compostaje.
- Para evitar los olores que puedan derivarse de los lodos se realiza la deshidratación.
- La deshidratación es necesaria si el lodo va a ser evacuado a vertedero ya que evitamos la formación de lixiviados.

#### 8.3.3.1. LECHOS DE SECADO

Los lechos de secado son capas de materiales drenantes dispuestas de forma vertical en un receptáculo. El lodo se hace pasar sobre estas capas de grava o arena produciéndose el filtrado y la deshidratación de los lodos por evaporación.

Esta evaporación dependerá de las condiciones climáticas de la zona, los días de exposición de los lodos y las características del lodo.

El material drenante suele estar formado por capas de 10 cm de arenas sobre una capa de grava de 10-20 cm, colocando una red de tuberías en la parte inferior para recoger el agua que volverá a ser tratada. La capa de arena debe reponerse cada cierto tiempo ya que se pierden arenas en el proceso de filtrado y recogida de los lodos.

Este método se utiliza para poblaciones de 20 000 habitantes o inferiores. El inconveniente que presenta este proceso es la gran superficie de terreno que se requiere.

### 8.3.3.2. FILTRO BANDA

Es un sistema de alimentación continua de lodo, donde se realiza también un acondicionamiento químico, generalmente con polielectrolitos.

En los filtro banda primero se produce un drenaje por gravedad y después se hace pasar al lodo por una aplicación mecánica de presión para que se produzca la deshidratación, gracias a la acción de una telas porosas.

Es un método barato, ya que no necesita una gran inversión inicial, los costes de mantenimiento y explotación son bajos y la instalación representa un bajo consumo energético.

### 8.3.3.3. FILTRO PRENSA

Los filtros de prensa son equipos que producen lodos de mayor sequedad alcanzando el 50 % cuando otros procesos difícilmente llegan bajo el 30 %. Esto quiere decir que el lodo que sale de un filtro de prensa ocupa un poco más de la mitad del volumen de un lodo que sale de un filtro de vacío. [65]

El filtro-prensa está constituido por una serie de placas verticales huecas y perforadas recubiertas con tela filtrante en ambas caras y apretadas unas contra otras por los bordes periféricos más espesos. Estas bolsas son alimentadas con lodo a través de un hueco que atraviesa todas las placas generalmente por el centro [1].

El lodo líquido se introduce por medio de una bomba de pistón con presión creciente que puede alcanzar los  $15 \text{ kg/cm}^2$  o un poco más, siendo la alimentación mantenida durante un periodo de tiempo entre los 30 minutos y 2 horas [1].

El líquido intersticial atraviesa las telas filtrantes dejando entre ellas una masa que termina ocupando el espacio de la concavidad entre las placas.

La compactación de la masa es muy grande, pudiéndose lograr un lodo final con 40 - 50 % de humedad, por tanto comparable al secado al secado en lechos de arena filtrante.

El filtrado de filtros-prensa es claro, de baja turbiedad, conteniendo en general menos de 20 mg/L de sólidos suspendidos.

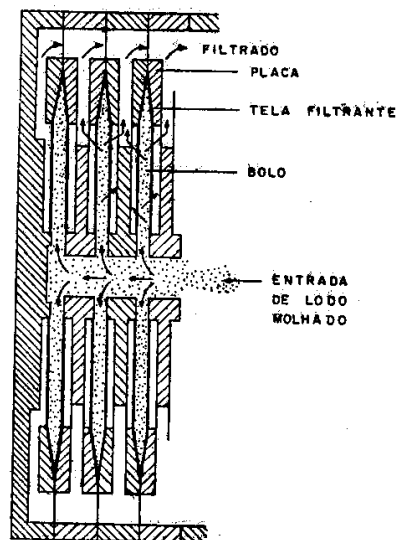


## CICLOS DE FILTRACIÓN [27]

Los filtros de prensa son sistemas de deshidratación intermitente. Cada operación de prensado supone los siguientes pasos:

- 1- Cerramiento de la prensa:** cuando el filtro está totalmente vacío, la cabeza móvil que es activado por el sistema hidráulico-neumático cierra las placas. La presión de cerramiento es auto regulada mediante la filtración.
- 2- Rellenado:** Durante esta fase corta la cámara se llena con lodos para su filtración. El tiempo de relleno depende del flujo de la bomba de alimentación. Para lodo con gran capacidad de filtración es mejor rellenar el filtro rápidamente para evitar la formación de una pasta en la cámara primaria antes de que se haya rellenado del todo.
- 3- Filtración:** Una vez rellena la cámara, la llegada de manera continua de lodo a tratar para ser desaguado provoca un aumento de la presión debido a la formación de una capa espesa de lodo en las membranas. Esta fase de filtración puede reducirse de manera manual, mediante un temporizador o un indicador del flujo que activa una alarma de parada cuando se alcanza el final de la capacidad de filtración. Cuando se ha parado la bomba de filtración, los circuitos de filtración y ductos centrales, que están todavía rellenos de lodo se les aplica aire comprimido para su purgado.
- 4- Apertura del filtro:** La cabeza móvil se retira para desarmar la primera cámara de filtración. La pasta cae por su propio peso. Un sistema mecanizado tira de las placas una por una. La velocidad en la separación de las placas puede ajustarse teniendo en cuenta la textura de la pasta.
- 5- Limpieza:** La limpieza de las membranas puede llevarse a cabo entre 15-30 operaciones del proceso. Para unidades largas o medianas esto tienen lugar en prensados usando spray de agua a altas presiones (80-100 bar). La limpieza esta sincronizada con la separación de las placas.

**FIGURA 17. ESQUEMA DE UN FILTRO-PRENSA [1]**



Fuente: LOTHAR HESS SAO PABLO

El filtro prensa es adecuado para los siguientes tipos de lodos [1]:

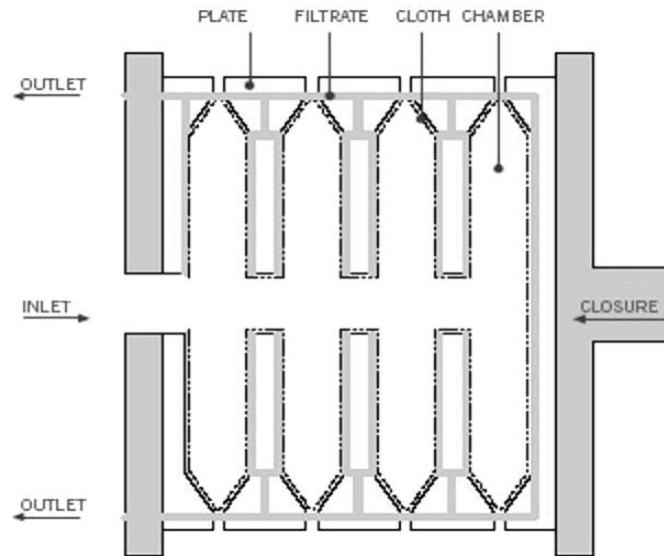
**Lodo orgánico hidrófilo:** acondicionamiento inorgánico es recomendado para la conseguir una pasta satisfactoria que no se adhiera a las membranas del filtro.

**Lodo inorgánico hidrófilo:** el filtro prensa generalmente requiere la adición de arcilla únicamente.

**Lodo inorgánico hidrofóbico:** es muy denso e ideal para los filtros de prensa. Es desaguado sin necesidad de acondicionamiento preliminar.

**Lodo aceitoso:** el filtro prensa se puede utilizar para el tratamiento de lodo que contiene aceites ligeros, la presencia de grasas puede permitir una operación más suave del filtro aunque las membranas deben desengrasarse a intervalos frecuentes.

**FIGURA 18. ESQUEMA DE UN FILTRO PRENSA [27]**



Fuente: LENNTECH

#### 8.3.4. ESPESADO POR FLOTACION

Existen algunas variantes de este proceso, aunque la flotación por aire disuelto es la más utilizada. En este proceso, se introduce aire en una solución que se mantiene a una presión determinada. Cuando se despresuriza la solución, el aire disuelto se libera en forma de burbujas finamente divididas que arrastran el lodo hasta la superficie, en donde es recogido con un desnatador. Este proceso resulta muy efectivo para el tratamiento de cultivo biológico en suspensión, por ejemplo para lodos activados, aunque también puede ser empleado para el tratamiento de otros lodos [36].

En este espesador también se separa la fase sólida de la líquida, pero a diferencia de otros métodos, en los espesadores por flotación los sólidos se concentran en la parte superior. Los lodos en este caso ascienden a una velocidad superior a la de sedimentación. Esto se consigue mediante la introducción de aire. Estas pequeñas burbujas de aire arrastran a las partículas sólidas hacia arriba. Los sólidos acumulados en la superficie del espesador son retirados mediante procesos mecánicos.

Este tipo de tratamiento se suele aplicar para los lodos biológicos, mientras que para los lodos primarios no se suele usar [20].

En este tratamiento hay que tener en cuenta la relación existente entre el aire aportado y los sólidos que tiene el lodo. Por lo general esta relación suele estar entre 0,005 y 0,06 kg de aire/kg de lodo.

Los lodos en exceso se espesan mediante el sistema de flotación debido al bajo peso específico de los floculos, y su débil capacidad para sedimentar y compactarse.

En un estudio realizado recientemente, se ha comprobado que el grado de espesamiento conseguido dependía de la concentración inicial del lodo. Concentraciones finales mayores se conseguían con lodos más diluidos. Además, parece que la capacidad de espesamiento del lodo activado en exceso varía con el tiempo medio de retención celular con el que funciona la planta.

Hay cuatro variantes básicas de la operación de espesado: flotación por aire disuelto, flotación al vacío, flotación por dispersión de aire y flotación biológica [20].

Sin embargo, sólo la flotación por aire disuelto tiene utilización generalizada para el espesamiento de lodos.

La mayor o menor facilidad para que se produzca la flotación es función de los siguientes factores [36]:

**Afinidad del aire a la partícula.** Es necesario que la adhesión de las partículas a las burbujas sea mayor que la tendencia que aquellas tienen a establecer contacto con el agua. Por lo tanto, las partículas hidraulicaófilas tendrán menos afinidad a las burbujas que las hidraulicaófbas.

**Densidad de la partícula.** La flotación es más fácil en partículas con densidad muy próxima a la del agua. Cuanto mayor sea la densidad, mayor será la cantidad de aire que debe adherirse a ella para provocar la flotación.

**Diámetro de la partícula.** Cuanto mayor sea, es necesario más aire adherido a la partícula.

Por otra parte, el tamaño de la burbuja de aire afecta de modo importante a la eficacia de la flotación, por diversos motivos:

**El rendimiento** de la adherencia de las burbujas a las partículas es función del tiempo que dichas burbujas se mantienen en la suspensión y la oportunidad de contactos con dichas partículas. Por lo tanto, cuanto menor sea el diámetro de las

partículas, menor será la velocidad ascensional de las mismas y mayor tiempo de retención tendrán.

Cuanto mayor es el tamaño de la burbuja, mayor será la necesidad del caudal de aire a introducir para conseguir una buena equiparación en el tanque de flotación. El tamaño de las burbujas influye también en la turbulencia en el tanque, produciendo mayor turbulencia a mayor tamaño, reduciendo la eficiencia de la flotación.

El sistema más utilizado en el proceso de flotación de lodos es el de la presurización. La producción de aire en este sistema consiste en disolver aire en un líquido bajo una presión de varias atmósferas y, a continuación, liberarlo hasta presión atmosférica, con lo que el aire disuelto forma micro burbujas que se adhieren a las partículas sólidas. La presurización puede producirse de dos formas:

**Presurización directa total o parcial:** se presuriza todo o parte del caudal de lodos.

**Presurización indirecta:** se presuriza agua clarificada, ya sea del propio efluente del espesador o del agua clarificada en el decantador secundario.

La presurización directa es menos aconsejable que la indirecta debido a los riesgos de obstrucción de los equipos de presurización. Es empleado normalmente en pequeñas instalaciones.

#### **8.4. PROCESOS DE INCINERACION**

La combustión controlada es un proceso en el que la fracción orgánica de los lodos se transforma en materia inerte. Como es evidente, no se trata de un sistema de eliminación total, genera cenizas y gases, pero también produce una significativa reducción de peso y volumen del material original que puede ser tratado como cualquier tipo de residuo si su poder calorífico es adecuado. Si este tipo de transformación se produce de forma incontrolada[56][64] puede originar problemas medioambientales debido a las características propias de los lodos que pueden tener carácter ácido, básico o salino y por otra parte pueden contener elementos de transición y no metálicos que pueden favorecer la generación de sustancias tóxicas durante el proceso de combustión [58]

La incineración es el sistema más caro pero reduce el volumen del lodo entre un 70 % y un 90 %, el cual, una vez inerte se puede depositar en vertederos controlados, añadir a masas cerámicas o vitrificar. Este sistema es muy utilizado en países como Francia, Austria, Dinamarca y Suiza

Existen diferentes procesos de incineración, que dependen del horno donde se realice ésta, así se encuentran los hornos de lecho fluidificado, de pisos, mixtos y rotativos. La incineración en hornos de pisos múltiples se utiliza para convertir el lodo deshidratado en cenizas inertes. Este tipo de incineración es de gran complejidad con lo cual sólo se suele utilizar en grandes plantas. Las temperaturas más altas en este tipo de horno se consiguen en el piso intermedio donde se quema el lodo y el combustible auxiliar para calentar el horno y mantener el proceso de combustión. El lodo que se quema debe tener un contenido en sólidos superior al 15 % y si contiene entre un 15 % y un 30 %, suele ser necesario añadir un combustible auxiliar [6]

El horno más utilizado en la incineración es el horno de lecho fluidificado que es un cilindro vertical de acero revestido con un material refractario. El horno contiene un lecho de arena y orificios para el mantenimiento de la combustión. Las dimensiones del cilindro varían entre 2,5 y 7,5 metros de diámetro. Antes de introducir el lodo en el horno debe haber una temperatura entre 700 y 800 °C.

El lodo previamente secado se inyecta y se incinera a una temperatura que puede variar entre los 650 °C y los 980 °C. La evaporación del agua y la combustión de los sólidos del lodo se produce rápidamente. Las cenizas antes de salir del horno se someten normalmente a un lavado [6]

## **PROPIEDADES DE LAS CENIZAS**

Las cenizas obtenidas tras la incineración de los lodos digeridos, no contienen ni microorganismos ni materia orgánica, pero los metales pesados (el cinc, níquel, manganeso) están más concentrados que en los lodos digeridos debido a la reducción de volumen de estos tras la incineración. En cambio hay otros metales como el mercurio, el cromo y el plomo que se volatilizan tras la incineración [66]. Las cenizas procedentes de la incineración de lodos contienen principalmente cuarzo y en menor medida mica, vermiculita y esmectita (colapsada).

## **PROPIEDADES FÍSICAS**

Las cenizas presentan una granulometría continua y una densidad próxima a 0,85 g/cm<sup>3</sup>. El peso específico de las partículas está comprendido entre 2,44-2,96. Además presentan un gran porcentaje de finos menores de 0,075 mm (entre un 40 y un 90 % en algunas cenizas) y una forma muy irregular.

En la siguiente tabla se resumen las principales propiedades físicas de estos residuos [40][58][67][68]

**TABLA 12. PROPIEDADES FISICAS DE LAS CENIZAS  
PROPIEDADES QUÍMICAS**

	CENIZAS
Peso específico	2,44 - 2,96
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,90 - 1,10
Humedad (%)	0,5 - 2,8
Porosidad (%)	63,5 - 69,2
Absorción de agua (%)	7,80 - 9,60
Perdida al fuego	3,60 - 5,20
Valor del pH	8,97 - 9,03

La caracterización química de las cenizas procedentes de la incineración de los lodos de dos estaciones depuradoras en España aparece reflejada en la siguiente tabla, junto con los datos obtenidos de otras fuentes. La gran diferencia en cuanto a la humedad es debida al agua que se puede añadir a las cenizas para su mejor manejo.

**TABLA 13. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS CENIZAS PROCEDENTES DE  
PLANTAS ESPAÑOLAS Y OTRAS FUENTES [59]**

PARAMETROS (%)	CENIZAS DE LODOS DE DEPURADORAS	
	CENIZAS ESPAÑOLAS [34][53]	OTRAS FUENTES [31]
Humedad	0,5	50
Perdida al fuego	5,1	8,8
Residuos insolubles	16,1	-
SO <sub>3</sub>	12,4	1,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,4	3,2
SiO <sub>2</sub>	20,8	45,3
CaO	31,3	19,3
MgO	2,6	2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,9	15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,7	0
K <sub>2</sub> O	0	1,6

Fuente: Residuos Hospitalarios – Capítulo 4: Emisiones A La Atmosfera Y Correcciones. Tipos De Hornos

## IDONEIDAD DE LOS DIVERSOS HORNOS

La figura 19 se indica la idoneidad de los diversos tipos expuestos, de acuerdo con los tipos de residuos a incinerar.

**FIGURA 19. RELACION ENTRE EL TIPO DE HORNO Y EL RESIDUO A INCINERAR [59]**

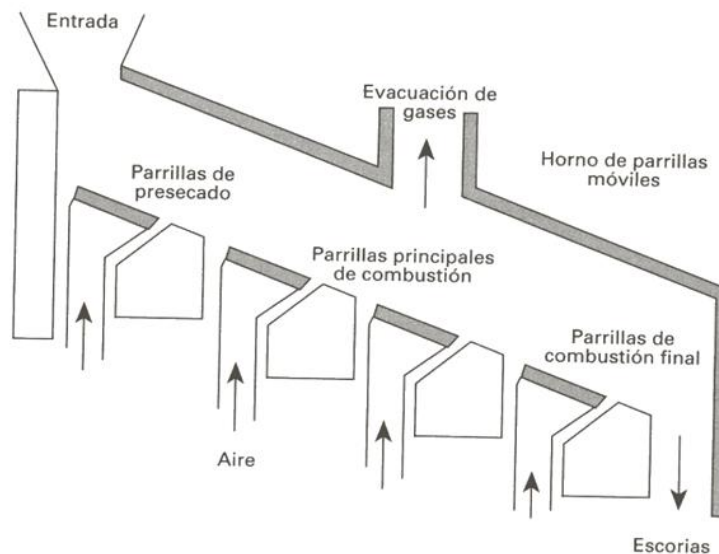
Tipo de residuo	Rotativo	Vertical	L.fluidizado	Parrillas
Granular, homogéneo	X		X	X
Irregular	X			X
Sólido bajo punto fusión	X	X	X	
Orgánicos con cenizas fundibles	X			X
A granel voluminoso	X			
Vapores orgánicos	X	X	X	X
Líquidos orgánicos	X	X		
Fangos con carga halogenada	X	X		
Fangos orgánicos	X		X	

Fuente: Residuos Hospitalarios – Capítulo 4: Emisiones A La Atmosfera Y Correcciones. Tipos De Hornos



#### 8.4.1.1. HORNOS DE PARRILLAS [59]

**FIGURA 20. ESQUEMA DE HORNO DE PARRILLAS [59]**



Fuente: Residuos Hospitalarios – Capítulo 4: Emisiones A La Atmosfera Y Correcciones. Tipos De Hornos

Son los más conocidos y los más extendidos debido a su empleo en el tratamiento de los RSU, tratamiento de lodos y por su versatilidad y capacidad de tratamiento.

La carga, residuo, se introduce en la parrilla por gravedad o por medio de un cilindro hidráulico. Por lo general el residuo se introduce “todo uno”, es decir sin triturar lo que favorece la presencia de acumulaciones de material que impiden la libre transmisión del calor por radiación.

El movimiento de la carga sobre la superficie de la parrilla se logra por efecto de la gravedad (planos inclinados) o bien por diversos mecanismos que obligan a la carga a desplazarse, como los rodillos o las parrillas móviles [59].

Según el modo de accionamiento de las parrillas la introducción del aire, que se inyecta por la parte inferior es diferente. La figura 20 reproduce un esquema de un horno típico de parrillas.

Como muestra la figura, la carga entra por gravedad en una primera zona, parrilla, de pre-secado. De hecho la calidad del secado es muy deficiente puesto que la humedad contenida en el residuo es poco accesible.

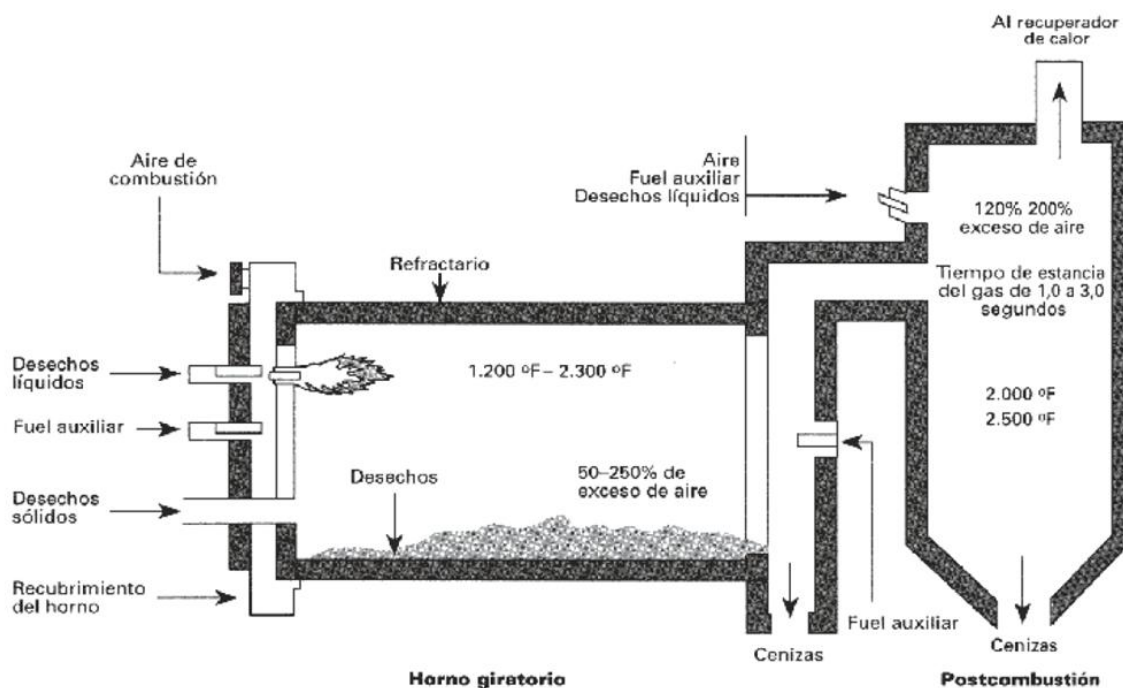
En la parte central, parrillas principales de combustión, además de la combustión buena parte de la carga piroliza y gasifica. En la última parte de la parrilla es donde tiene lugar, propiamente, las reacciones de combustión.

#### 8.4.1.2. HORNO ROTATORIO

Es la modalidad de horno que suele usarse para la incineración de residuos industriales, cárnicos o bien cuando se trata de incinerar mezclas de residuos con PCI (Poder Calorífico Interno) no bien definidos.

Esencialmente consta de un cilindro con revestimiento de material cerámico en su interior, que va girando a una velocidad variable y montado también en una inclinación que permite regular el tiempo de residencia de los sólidos.

**FIGURA 21. HORNO ROTATORIO TÍPICO CON CAMARA DE POST COMBUSTION [59]**



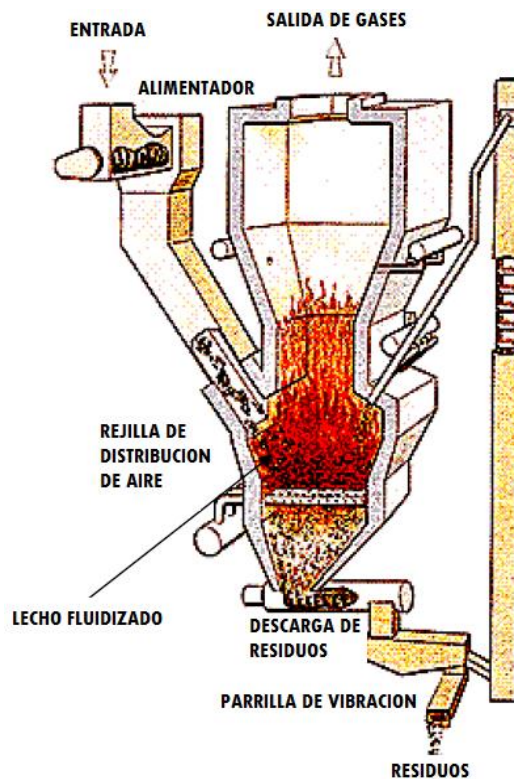
Fuente: Residuos Hospitalarios – Capítulo 4: Emisiones A La Atmosfera Y Correcciones. Tipos De Hornos

Las principales características diferenciales son:

- La carga suele ocupar el 20 % del volumen.
- Permite variar la inclinación y velocidad y con ello el tiempo de permanencia de los sólidos (por lo general las escorias son de muy buena calidad).
- No hay partes metálicas, lo que equivale a decir que no existe limitación de temperatura de trabajo.
- Puede trabajar con cualquier cantidad de aire. Por lo general en el horno se adiciona el aire estequiométrico y el exceso se lleva a cabo en la cámara de oxidación.
- Arrastre de partículas reducido. Ello depende de la relación longitud/diámetro.
- Posibilidad de inyectar aire caliente.
- Tratar cualquier tipo de residuo.

#### 8.4.1.3. HORNOS DE LECHO FLUIDIZADO

**FIGURA 22. HORNO DE LECHO FLUIDIZADO [35]**



Fuente: Incineración, Diseño, Preparación Del Residuo Y Procesos De Combustión

Este tipo de horno ha sido concebido para el tratamiento de materiales conflictivos, PCI (Poder Calorífico Interno) bajo o diferencias de tamaño en el combustible y/o en la alimentación.

El principio de funcionamiento estriba en la gran transferencia de calor que se lleva a cabo desde las partículas de refractario que constituyen el lecho que se mantiene en constante agitación, gracias al caudal de fluidificación.

La alimentación se realiza por la parte central del lecho. En función del diseño y del tipo de horno (burbujeante o circulante) el arrastre de material será más o menos intenso. En cualquier caso las partículas serán recogidas en un ciclón.

Desde el punto de vista técnico las ventajas que aporta el lecho fluidizado en comparación con el convencional pueden sintetizarse en [11]:

- Requiere un menor exceso de aire con lo que el rendimiento de la combustión será mayor.
- Puede trabajar a temperaturas menores con lo que se evita la fusión parcial de las escorias del combustible en el seno del lecho.
- Las instalaciones son más compactas.
- Posibilidad de introducir catalizadores en el lecho.

Pero desde la óptica medioambiental las ventajas son, si cabe, más importantes [11]:

- Posibilidad de usar mezclas heterogéneas de combustibles, siendo el estado físico de alguno de ellos difícil (lodos).
- Minimización de las emisiones de  $\text{SO}_2$  por adición de reactivos en el propio lecho (carbonatos).
- Reducción de los niveles de  $\text{NO}_x$  al trabajar a menores niveles térmicos y excesos de aire más reducidos.
- Aumento del tiempo de residencia.

## 9. CAPITULO III: BIOSOLIDOS, DISPOSICION FINAL Y POSIBLES USOS DE LODOS TRATADOS

### 9.1. BIOSOLIDOS Y SUS CARACTERISTICAS

Los biosólidos son un producto originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales. La estabilización se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de suelos degradados.

En la actualidad, Colombia genera diariamente 274 toneladas de biosólidos (94 toneladas base seca). El 97 % de la producción es generada por tres plantas (El Salitre, Cañaveralejo y San Fernando) [16]. Caracterizar los biosólidos es fundamental para una adecuada gestión y se convierte en la principal herramienta para darle prelación a una u otra alternativa de aprovechamiento.

El control de los biosólidos de las PTAR (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales) se basa en el análisis de parámetros físicos, químicos, agrológicos y microbiológicos. Tal como se observa en la tabla 13, los biosólidos de las grandes plantas del país presentan valores de humedad similares; por el contrario, la producción varía dependiendo del sistema de tratamiento de aguas residuales y del caudal afluente.

**TABLA 14. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PRINCIPALES PTAR DE COLOMBIA [16]**

Parámetro	PTAR El Salitre Datos Sep. 2000 Dic. 2002	PTAR San Fernando (Medellín) Datos de 2003	PTAR Cañaveralejo (Cali) Datos de 2003	PTAR Río Frío (Bucaramanga) Datos de 2003
<b>Humedad (%)</b>	67	68	66	29
<b>Sequedad(%)</b>	33	32	34	71
<b>Producción Toneladas/día (Base húmeda)</b>	130	80	60	2
<b>Producción Toneladas/día (Base seca)</b>	43	28	20	1.4

Fuente: DÁGUER, 2003

Con respecto a las características químicas, es de resaltar que las concentraciones de la totalidad de los metales pesados analizados en los biosólidos de Colombia se mantienen por debajo de los límites máximos permitidos por las principales regulaciones internacionales y en la mayoría de parámetros por debajo de las concentraciones promedio de metales pesados de los biosólidos de EEUU y la Unión Europea, tal como se observa en la tabla 15.

**TABLA 15. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS BIOSÓLIDOS DE COLOMBIA Y SU COMPARACIÓN CON BIOSÓLIDOS DE EEUU Y LA UE [16].**

Contaminante Mg/kg	Colombia*	EEUU[12]	Unión Europea[12]	NORMA EPA 40CFR- 503 PC –EQ QUALITY	Límites recomendados Unión Europea 86/278/CEE
<b>Arsénico</b>	0,47	4.9	Nd	41	No regulado
<b>Cadmio</b>	2,78	25	4	39	20-40
<b>Cobre</b>	180	616	380	1500	1000 – 1750
<b>Cromo</b>	849	178	145	No regulado	No regulado
<b>Mercurio</b>	0,85	2.3	2.7	17	16-25
<b>Níquel</b>	65,4	71	44	420	300-400
<b>Plomo</b>	84	204	97	300	750-1200
<b>Selenio</b>	0,46	6	Nd	100	No regulado
<b>Zinc</b>	966,3	1285	1000	2800	2500-4000

\*Promedio ponderado de concentraciones en Colombia de las PTAR El Salitre(Bogotá), San Fernando(Medellín), Cañaveralejo(Cali), Río Frío(Bucaramanga), Américas y Comfenalco(Ibagué). Fuente: DÁGUER,2003

Con respecto a las características agrológicas, los biosólidos de Colombia presentan concentraciones típicas de nitrógeno y fósforo que muestran su alto potencial de aprovechamiento en actividades agrícolas y no agrícolas (recuperación de suelos, actividades forestales, cobertura de rellenos), tal como se observa en la tabla 16.

**TABLA 16. CARACTERÍSTICAS AGROLÓGICAS DE LOS BIOSÓLIDOS DE COLOMBIA [16]**

Parámetros %	Rango Colombia	Rango literatura*
<b>Nitrógeno total</b>	1,6 – 3,3	3 – 8**
<b>Nitrógeno orgánico</b>	0,44 – 1,9	1 – 5
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	0,6 – 2,3	1 – 3
<b>Fósforo</b>	0,04 – 3,3	1,5 – 5
<b>Potasio</b>	0,007– 0,4	0,2 – 0,8
<b>Sólidos volátiles</b>	42 – 50	–
<b>Unidades pH</b>	6,05 – 7,9	–

\*Rangos típicos de biosólidos digeridos anaeróbicamente [52]

\*\* ADEME, Los biosólidos del tratamiento municipal y su uso en la agricultura [2]

Fuente: DÁGUER,2003

Con respecto a las características microbiológicas, las concentraciones de coliformes fecales de los biosólidos de la mayoría de las PTAR de Colombia son las típicas de un biosólido de clase B; sin embargo, con respecto a los huevos de helminto, los biosólidos de las PTAR San Fernando y El Salitre tienen características de clase A tal como se observa en la tabla 17; no obstante, no se cuenta con datos de huevos de helminto de los biosólidos de las otras plantas del país.

**TABLA 17. INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL EN BIOSÓLIDOS DE COLOMBIA [16]**

Indicador	Rango Colombia	NORMA EPA 40 CFR-503 [15]
<b>Coliformes fecales (NMP/g)</b>	$1,5 \times 10^5 - 5,1 \times 10^5$	<2000000 Clase B < 1000 Clase A
<b>Huevos de helminto (Huevos/4 g)</b>	<1*	>1 Clase B < 1 Clase A

\*Datos de las PTAR El Salitre y San Fernando [16] Fuente: DÁGUER,2003

Los biosólidos de Clase A, pueden ser usados sin ninguna restricción (cultivos de consumo directo). Los biosólidos de clase B pueden ser usados en recuperación de suelos, plantaciones forestales, cultivos que no se consuman directamente y cobertura de rellenos sanitarios; sin embargo, las concentraciones de indicadores

de contaminación fecal limitan su aprovechamiento por un tiempo en cultivos agrícolas de consumo directo como las hortalizas [31].

## **9.2. DISPOSICION FINAL DE LODOS TRATADOS**

Actualmente existen diferentes alternativas de manejo para dar un destino final seguro a los lodos resultantes de los procesos de tratamiento de aguas residuales. Según la calidad y el volumen de los lodos obtenidos, es posible optar por tratamientos finales en base a incineración, aplicación al terreno, disposición en mono rellenos y co-disposición en rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos. La aplicación de las alternativas tecnológicas disponibles para el tratamiento o destino final de los lodos debe ser acorde con los niveles de desarrollo y recursos disponibles en los diferentes países donde se aplique.

A nivel mundial, durante varios años, el uso benéfico mediante la aplicación al terreno ha sido el método preferido para la disposición del lodo generado en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas. Esto debido a los nutrientes que poseen los lodos, que lo hace una excelente enmienda de suelo y por consiguiente, su uso como fertilizante en la agricultura ha sido ampliamente difundido. Sin embargo, en el último tiempo, se ha generado una inquietud creciente acerca de los impactos a la salud que se asocian a la utilización de este método de tratamiento, lo que ha hecho que la co-disposición de lodos con residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios, se presente como una adecuada alternativa para la disposición de lodos

### **9.2.1. ENCAPSULAMIENTO**

El encapsulamiento es un proceso por medio del cual el residuo es incorporado dentro de un material que lo aísla del ambiente, sin que los componentes del residuo se fijen químicamente al material utilizado. Entre los materiales de encapsulamiento están el vidrio, el metal, el concreto y el plástico. El vidrio es inerte a la agresión de muchas sustancias químicas, pero es bastante frágil y el proceso de encapsulamiento requiere altas temperaturas. El metal, principalmente en forma de cilindros, es más práctico; sin embargo, se corroe fácilmente. El concreto armado ha sido utilizado para el encapsulamiento de residuos con PCBs (Bifenilos PoliClorados) y otras sustancias orgánicas altamente tóxicas en casos donde no ha sido posible incinerarlos [7].

El plástico, también utilizado como material de encapsulamiento, ha demostrado resultados positivos y mínimo incremento de volumen de los residuos a disponerse. Por ejemplo, se han desarrollado procesos en los cuales se solidifican los lodos mezclándolos con Cal, posteriormente se aglomeran con Polibutadieno y finalmente se les encapsula con Polietileno [71].



El encapsulamiento es un proceso más costoso y complejo que el de la fijación química y solidificación. Sin embargo, no incrementa el volumen del residuo, por lo que se recomienda cuando el espacio dentro del relleno es restringido.

### 9.2.2. FIJACION QUIMICA O SOLIDIFICACION (FQS)

La fijación química es un proceso a través del cual se detoxifica, inmoviliza, insolubiliza o se reduce la peligrosidad de un residuo [13]. Se logra este efecto generalmente a través de una reacción química entre uno o más componentes del residuo y una matriz sólida. Se utiliza este proceso para tratar residuos peligrosos que se encuentran en forma líquida o en lodos para producir un sólido apto para su disposición en el suelo.

Los sistemas más comunes de FQS involucran el uso de cemento solo, cemento con cenizas volátiles, cal con cenizas volátiles, y cemento con silicato de Sodio. El mecanismo químico de fijación no es conocido del todo, sin embargo existen indicaciones que en el pH relativamente alcalino del cemento, los metales pesados se precipitan como hidróxidos insolubles, los que son inmovilizados dentro de la matriz sólida [61].

El problema principal identificado con los sistemas de FQS (Fijación Química o Solidificación) es que son generalmente específicos para un residuo bajo determinadas condiciones [13]. Es por esto que su aplicación debe estar precedida de pruebas piloto para determinar exactamente los parámetros de diseño.

Así mismo, es importante tomar en cuenta que estos procesos requieren la adición de grandes cantidades de materiales solidificantes por lo cual el volumen del residuo se incrementa.

### 9.2.3. COBERTURA FINAL DE RELLENOS SANITARIOS

Comprende la disposición de barros en las acciones de clausura de rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos y otros como instancia previa a su vegetalización.

## FIGURA 23 COBERTURA ORGANICA CON BIOSOLIDOS O LODOS ESTABILIZADOS EN EL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA



### 9.2.4. INCORPORACION A RELLENO SANITARIO

Un relleno sanitario puede utilizarse para la adecuada disposición final de lodos y grasas tanto si han sido estabilizados o no. El factor que más influencia la elección de este método de disposición final es la economía en el transporte de los lodos y en la mayoría de los casos determinara que se hace necesario deshidratar dichos lodos reduciendo su volumen y de esta manera generando un ahorro importante en el costo de disposición final. Lo que hace aconsejable dicho método es el hecho de que los lodos residuales se mezclan con otros tipos de basuras o residuos sólidos de la comunidad. En el relleno sanitario los residuos se disponen en un área determinada y son compactados (tanto lodos como residuos domésticos) mediante maquinaria pesada y cubiertos con una capa de tierra limpia aproximadamente unos 30 cm, permitiendo la interacción entre los lodos, la tierra y los otros residuos, además de reducir al mínimo los vectores mas importantes como lo son los malos olores y las moscas.

Los aspectos operativos del vertido de lodos en rellenos sanitarios involucran las propiedades físicas de los lodos, sus propiedades adhesivas en las instalaciones de transporte y el efecto de los lodos sobre las propiedades mecánicas del lugar de vertido. Cuando los lodos son dispuestos, contienen una gran cantidad de agua, lo que afecta las condiciones mecánicas e hidrológicas del relleno sanitario. El vertido de lodos con un contenido de materia seca de 12 % junto con RSU (residuos sólidos urbanos), incrementa el peso del relleno sanitario en más del doble.

El lodo en muchos casos debe ser deshidratado mecánicamente después de su acondicionamiento con cal, cloruro de hierro o polímeros. La experiencia práctica, ha demostrado que para lodos con contenidos de materia seca sobre el 35 %, es posible realizar un efectivo proceso de mezclado con RSU y la relación lodo residuos no es muy crítica. Este contenido de materia seca puede ser fácilmente alcanzado deshidratando previamente los lodos.

El vertido de residuos se puede realizar de diferentes maneras; puede ser aplicado capa por capa y mezclarlo con posterioridad, o puede ser aplicado como un paquete premezclado en el relleno sanitario. Algunos autores sugieren que la estabilidad de un relleno sanitario decrece fuertemente si el lodo se dispone como una capa horizontal continua. La disposición de paquetes de lodo con basura, perpendiculares a la potencial línea de corte, mejora la estabilidad.

La reducida información sobre aspectos geotécnicos de la co-disposición de lodos y RSU (residuos sólidos urbanos), destaca la importancia que tiene para esta alternativa de disposición final, la humedad, método de disposición, compactación alcanzada, resistencia al corte, deformabilidad y estabilidad de taludes, tanto para los lodos como para la mezcla de lodos y RSU (residuos sólidos urbanos). En general, se consideran proporciones bajas de biosólidos respecto de estos residuos y no se han establecido criterios geotécnicos para la relación entre la humedad de disposición y la resistencia al corte o la estabilidad.

### **9.3. POSIBLES USOS DE LODOS TRATADOS [23]**

#### **9.3.1. AGRICOLA Y FORESTAL [62]**

Los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales constituyen una fuente de materia orgánica alternativa a otros insumos orgánicos utilizados tradicionalmente como abonos [48]. La materia orgánica de un suelo es el componente más global que contribuye significativamente a mantener su capacidad productiva; influye en características físicas tales como porosidad, estado de agregación de las partículas, densidad aparente, etc., y proporciona una reserva estable de nutrientes para las plantas y organismos en el medio edáfico, modificando ciertas propiedades químicas de éste durante su mineralización [51]

Los suelos agrícolas y forestales sufren un desequilibrio en el mantenimiento de niveles estables de materia orgánica (MO) debido a diversas razones (excesivo laboreo, producción intensiva, uso de fitosanitarios, deforestaciones irracionales, incendios forestales, pastoreo inadecuado, etc.), ocasionando una disminución de la fertilidad natural.

Como consecuencia de ello se presentan problemas ambientales tales como mayor erosión, poca infiltración y menor capacidad de almacenamiento de agua, dificultad para el desarrollo radical y deficiente establecimiento de poblaciones microbianas benéficas [17][43].

En este sentido, [11] [70] han reportado que el uso de lodos como fuente de materia orgánica mejora las propiedades tanto físicas como químicas del suelo agrícola en cuanto a incrementos en los niveles de materia orgánica, disminución de la densidad aparente, mayor formación y estabilidad de agregados, mejor retención de humedad, incremento en el tamaño de poros, etc. Además aporta cantidades significativas de nitrógeno y fósforo que contribuye a disminuir el consumo de fertilizantes químicos [51][73].

Los lodos han sido utilizados en silvicultura para incrementar la productividad forestal, para reforestar y para estabilizar áreas deforestadas o perturbadas por la minería, la construcción, los incendios, el sobrepastoreo, erosión u otros factores [9]

Junto a los beneficios del uso de los lodos, también debe considerarse los riesgos que representan estos materiales, ya que cada material es diferente y puede contener altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPT) para los cultivos o para los consumidores de los productos de los mismos. La posibilidad de contaminar suelos y aguas subterráneas constituye su principal limitante, de ahí que su uso no puede ser indiscriminado sin una adecuada planeación y supervisión [54]. Una utilización incorrecta de lodos puede ocasionar efectos indeseables sobre el suelo [26]

### 9.3.2. RECUPERACION DE SUELOS DEGRADADOS Y RECUPERACION DE PAISAJES

En regiones sujetas a procesos de desertificación o pérdida de cobertura vegetal o suelos, derivados de causas naturales o antrópicas. Para recuperación de áreas que fueron sometidas a extracción minera o en aquellas sujetas a pérdida de suelos superficiales debido a obras de infraestructura.

## **FIGURA 24. SUELOS RECUPERADOS CON BIOSOLIDOS PROCEDENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**



### **9.3.3. OTROS USOS**

Comprende los usos no contemplados en los numerales anteriores y para los que se deben establecer regulaciones específicas: elaboración de elementos para la construcción, utilización como material combustible para recuperación de energía, entre otros.

#### **9.3.3.1. FABRICACIÓN DE LADRILLOS [4][11](25)[67]**

Existen estudios sobre la valorización de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales en la fabricación de ladrillos. La introducción de lodos en el proceso resulta muy atractiva porque determinados materiales cerámicos disponen de gran capacidad de inertización de metales pesados.

Durante la cocción, los compuestos orgánicos del lodo: celulosa, lignina, grasas, microorganismos patógenos, etc. se destruyen y en su lugar se crean unos poros cerrados que darán lugar a sus propiedades de aislamiento térmico. Los componentes inorgánicos (arcillas, tierras, metales pesados, etc.), quedan insertados en la matriz vítrea del cuerpo cerámico y, por tanto, inmovilizados.

En general la introducción de lodos en matrices cerámicas tiene aspectos positivos energéticamente, pudiéndose apuntar los siguientes:

- Importante ahorro energético durante la cocción cerámica en función de la presencia de materia combustible en la matriz cerámica aportada por los lodos

(en cualquier caso, el balance total energético debe tener en cuenta también el proceso de secado).

- Ahorro del consumo de agua por la aportación de los lodos (contienen un promedio del 70 % de humedad).
- Poder calorífico de los lodos, que aproximadamente se sitúa en las 3400 kcal/kg.

El máximo porcentaje de lodos que se podría mezclar con la arcilla cerámica se sitúa en torno al 40 %, aunque con esta cantidad, la adherencia de la mezcla es pobre y la textura superficial del ladrillo irregular. Así, las proporciones óptimas están entre el 10 % y el 20 %.

#### 9.3.3.2. FABRICACIÓN DE HORMIGÓN

Se han realizado estudios sobre la utilización de lodos secos de depuradora en el hormigón, siendo uno de ellos realizado en una planta de España. En dicho estudio se realizaron muestras de adoquines con un 2 % de lodo seco sobre peso de cemento y se determinaron las propiedades de dicho producto comparadas con el producto sin adición del lodo. El estudio concluyó que la adición de lodos de depuradoras al hormigón puede suponer una disminución de la porosidad y de absorción y un aumento de la resistencia mecánica, lo que lleva a que la utilización de los lodos en los adoquines aumente la durabilidad de estos últimos

#### 9.3.3.3. UTILIZACIÓN DE CENIZAS

El hecho de adicionar ciertos porcentajes de cenizas producto de la incineración de lodos digeridos que varían entre un 5 y un 50 %, genera en los ladrillos ciertas propiedades variables que pueden afectar positivamente las cualidades de los mismos haciéndolos más porosos y menos densos favoreciendo sus cualidades como aislante térmico y acústico, pero por otro lado también afecta su resistencia al esfuerzo mecánico debido a una mayor porosidad se reduce su resistencia afectando negativamente las utilidades dichos ladrillos.

## 10. CONCLUSIONES

- Entendiendo el funcionamiento y las interacciones que sufre el agua tanto en procesos de potabilización con diversos agentes externos como en diversos procesos industriales hasta su tratamiento como agua residual, se logra comprender que la cantidad de lodos residuales generados en estos procesos depende directamente de los sistemas empleados, de la manera en que se realicen y de la calidad del agua empleada, ya que de ello se deriva el aumento o la disminución de los lodos sedimentados y su calidad para posibles usos alternativos.
- Dentro del proceso de digestión anaerobia el crecimiento lento de las bacterias encargadas de fermentar y procesar el lodo se convierte en uno de los mayores impedimentos de su rápida ejecución y es entre otras una de las mayores limitantes del proceso unido a este se encuentra la producción esporádica de gases y malos olores y una alta inversión inicial, sin embargo esto no le resta eficacia al sistema de tratamiento y le permite consolidarse como un sistema clásico.
- Al ser un proceso excedentario de energía la digestión anaerobia ofrece a parte de una gran eficiencia al momento de tratar los lodos una interesante alternativa al generar cierta cantidad de gas que suple la necesidad supuesta de la planta de tratamiento y entendiendo que la temperatura es un factor determinante en la digestión anaerobia dicho gas producido se convierte en una excelente opción a la hora de calentar los digestores.
- La elección de un sistema de tratamiento de lodos dependerá directamente de la naturaleza fisicoquímica del lodo jugando un papel muy importante y de nivel definitivo el grado de humedad contenido en el mismo y su contenido de sólidos, de la disponibilidad presupuestal, de la supuesta disposición final en la que se vaya a emplear dicho lodo y de su cantidad.
- Los procesos de deshidratación y estabilización de los lodos se convierten en partes fundamentales de su tratamiento debido a que en estos dos procesos se lleva a cabo la reducción del volumen junto con la desinfección y reducción máxima de los agentes patógenos presentes en el lodo respectivamente.
- En base a la revisión bibliográfica se puede concluir que los procesos de estabilización química se pueden utilizar como sistemas complementarios anexos a otros tratamientos principales y no como un sistema de tratamiento único.

- En la mayoría de los sistemas que utilizan la fuerza centrífuga como principio, la limpieza de los equipos y la remoción de los lodos deshidratados debe realizarse manualmente y con los equipos detenidos convirtiendo dicho factor en el inconveniente en este tipo de procesos de espesado.
- Dentro de la gran variedad de filtros que utilizan la fuerza mecánica y otros sistemas de espesado, los filtros prensa se destacan por su efectividad a la hora de obtener lodos con bajos contenidos de humedad y por lo tanto que ocupen un menor volumen facilitando su transporte y maniobrabilidad.
- La incineración se convierte en una interesante alternativa a pesar de ser quizás una de las opciones más costosas en cuanto a tratamiento se refiere debido al alto consumo de energía y a el considerable monto de inversión tanto en equipos como en instalaciones, dicho sistema ofrece un alto porcentaje de deshidratación de los lodos alcanzando hasta un 70 % en reducción del volumen compensando así de alguna manera sus altos costos.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] ACONDICIONAMIENTO Y DESAGUADO – FILTRACIONES AL VACIO – FILTROS-PRENSA – LECHOS DE SECADO, Lothar Hess Max Compañía Estatal de tecnología de Saneamiento Básico y de defensa del Medio Ambiente – Sao Pablo – Brasil. Disponible en línea : <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/05862/05862-18.pdf>
- [2] ADEME-AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE. (2001) Los biosólidos del tratamiento municipal y su uso en la agricultura.
- [3] ALAN RECORDS, 'Decanter centrifuge Handbook', 2001
- [4] ALLEMAN, J.E.; BERMAN, N.A.: "Constructive Sludge Management: Biobrick". Journal of Environmental Engineering, Vol. 110, nº 2, p. 301-311. Abril 1984
- [5] AMORENA UDABE, A., Valorización Agrícola de los Fangos de Depuradora en la Comarca de Pamplona. Jornadas Técnicas: Biosólidos y Aguas Depuradas Como Recursos. R. Mujeriego y L. Sala (Eds.). Pag. 53-66. Sant Feliu de Guíols, Gerona, 1994.
- [6] ANGEL ALFONZO HERRERA SUÁREZ: "Eliminación De Lodos De Una Edar". Febrero 2003. Master en ingeniería del agua. Página web(Septiembre 2006): [http://tar5.eup.us.es/master/ponencias/pdf/lodos\\_d.pdf#search=%22esquema%20general%20de%20una%20edar%20operaciones%20de%20pretratamiento%22](http://tar5.eup.us.es/master/ponencias/pdf/lodos_d.pdf#search=%22esquema%20general%20de%20una%20edar%20operaciones%20de%20pretratamiento%22)
- [7] BENAVIDES, LIVIA, GUIA PARA EL DISEÑO DE RELLENOS DE SEGURIDAD EN AMERICA LATINA, 1997 Disponible en línea: <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/gtz/grespel/guiatrat.html>
- [8] BENEFIELD, L.D. y RANDALL, C.W. Biological Process Design for Wastewater Treatment. Prentice-Hall, Inc, New Jersey. (1982).
- [9] BROWN S, HENRY CH, CHANEY R, COMPTON H, DE VOLDER P Using municipal biosolids in combination with other residuals to restore metal-contaminated mining areas. Plant Soil. 2003, 249: 203-215
- [10] CADENAS, A., CAÑELLAS, N., AMENGUAL, A., CALAFAT, J. Planta Experimental de Compostaje de Lodos, Ingeniería Química. 104-106, junio, 1993.
- [11] CANET R, POMARES E, ESTELA M, TARAZONA E, Efecto de los lodos de depuradora en la producción de hortalizas y las propiedades químicas del suelo. Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.1986, 11: 83-99

- [12] CASTELLS, Xavier Elías ,Tratamiento y valorización energética de residuos, Fundación Universitaria Iberoamericana, Ediciones Díaz de Santos, 2005. pag 189-190.
- [13] CONNER, J. R. Fixation and solidification of wastes. Chemical Engineering;1986, 10: 79-85 pp.
- [14] CORBITT, Robert A. “Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”, Editorial McGraw-Hill, 2003.
- [15] CROHN, D.M., Sustainability of Sewage Sludge Land Application to Northern Hardwood Forests. Ecological Applications, 1995, 53-62 p.
- [16] DÁGUER, Gian Paolo, Gestión De Biosólidos En Colombia. En: ACODAL. Volumen. 202; Noviembre de 2003
- [17] DALAL RC, MAYER RJ , Long –term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. Aust. J. Soil Res.1986, 24:281-292
- [18] DEGREMONT, Manual Técnico del Agua, (6ª Ed.) Degrémont, Paris (1991).
- [19] DESCRIPCION DE LA PTAR SALITRE Y RECOPIACION DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS OPERATIVOS, Bogota 2004 Disponible en [http://www.acueducto.com.co/wpsv5/wps/html/resources/PTAR/Agua y lodosDesctecnicatratamiento.doc](http://www.acueducto.com.co/wpsv5/wps/html/resources/PTAR/Agua%20y%20lodosDesctecnicatratamiento.doc)
- [20] DISMINUCIÓN DEL VOLUMEN DE LOS FANGOS:ESPEMAMIENTO /FLOTACIÓN, Disponible en línea: <http://www.miliarium.com/Proyectos/Depuradoras/Fangos/Tratamientos.asp#Espesamiento>
- [21] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, A Plain English Guide To The Environmental Protection Agency, Part. 503 Rule , Washington, EPA, 1994.
- [22] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Environmental Regulations And Technology, Control Of Pathogens And Vector Attraction In Sewage Sludge, Washington, EPA, 1992.
- [23] EVALUACIÓN DE LODOS RESIDUALES COMO ABONO ORGÁNICO EN SUELOS VOLCÁNICOS DE USO AGRÍCOLA Y FORESTAL EN JALISCO, MÉXICO Eduardo Salcedo-Pérez, Antonio Vázquez-Alarcón, Laksmi Krishnamurthy, Francisco Zamora-Natera, Efrén Hernández-Álvarez y Ramón Rodríguez Macias FEB 2007, VOL. 32 N° 2 disponible en línea : [http://www.interciencia.org/v32\\_02/115.pdf](http://www.interciencia.org/v32_02/115.pdf)
- [24] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). The User Guidelines for Waste and Byproduct Material in Pavement Construction. <http://www.tfhr.gov/hnr20/rotate/waste/begin.htm>

- [25] FEENESTRA, L.; TEN WOLDE, J.G.; EENSTROOM, C.M.: "Reusing water treatment plant sludge as secondary raw material in Brick Manufacturing". Waste materials in construction: Putting Theory into Practice. Proceedings of the International Conference on the Environmental and Technical Implications of Construction with Alternative Materials, WASCOM 97, Houthem St. Gerlach, The Netherlands, 4-6 June 1997, Edited by Goumans, .J.J.M.; Senden, G.J.; Slott H.A.; Published ESEVIER
- [26] FELIPÓ OMT, Reutilización de residuos urbanos y posible contaminación. En Gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura. AEDOS. Barcelona, España.1995, pp.27-37
- [27] FILTROS DE PRENSA PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS. Disponible en línea: <http://www.lenntech.es/filtro-de-prensa-para-lodos.htm#ixzz0ZWVHyqXH>
- [28] FUCHS, L., SCHWINNING, H, Digestión Termófila Aeróbica. Un Proceso Económico para el Tratamiento de Lodos, Tecnología del Agua. 109, 1993, 47-50 p.
- [29] GERVIN, S. Lo que usted necesita saber sobre biosólidos [online]. Washington : Washington Suburban Sanitary Comisión, s.f. [Citado en Diciembre de 2005] Disponible en <http://www.wsscwater.com>
- [30] HAMMEKEN ARANA, A. M., ROMERO GARCÍA, E. Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula. Tesis Licenciatura. Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Mayo 2005.
- [31] HAUBRY, A., BONNIN, C. Y PRÉVOT, C. (1992). Aerobic and Anaerobic Sludge Treatment Disinfection Techniques. Sludge 2000 Conference, Paper 8, Cambridge.
- [32] HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. Depuración de Aguas Residuales. 3a Edición. Colección Señor. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 1994.
- [33] HIDALGO, R.E.; GIRÁLDEZ L.V.; AYUSO, J.: "Uso de las cenizas procedentes del desecado de lodos de EDAR de Córdoba". Ingeniería Civil, nº114, p. 111-117. 1999.  
<http://www.lenntech.es/centrifugacion.htm#ixzz0ZPNf9Eer>
- [34] ICON Pollutants in urban waste water and sewage sludge. Chapter 2: Potentially toxic element, sources, pathways, and fate through urban waste water treatment systems .Final report for Directorate-General Environment (2001) Disponible en version online : [http://europa.eu.int/comm/environment/waste/sludge/sludge\\_pollutants.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/waste/sludge/sludge_pollutants.htm)
- [35] INCINERACIÓN ,DISEÑO, PREPARACIÓN DEL RESIDUO Y PROCESOS DE COMBUSTIÓN Disponible en línea

- [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/jaimefa/jaimecuevas/clase7.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jaimefa/jaimecuevas/clase7.pdf)
- [36] INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES, LINEA DE FANGOS, ESPESAMIENTO POR FLOTACION, Disponible en línea: [http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_aguas\\_residuales/L%C3%ADnea\\_de\\_fangos](http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/L%C3%ADnea_de_fangos)
- [37] INGENIERÍA DEL AGUA. Vol. 3 Num. 3 (septiembre 1996) p. 47
- [38] KELLY, H.G., MELCER, H. Y MAVINIC, D.S. Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion of Municipal Sludges: A One-Year, Full-Scale Demonstration Project. *Water Environment Research*. 65(7), 1993, 849-861p.
- [39] KEN SUTHERLAND, 'Centrifuge focus: solids removal the option', *Filtration and separation*, July-August 2005
- [40] KHANBILVARDI, R.; AJSHARI, S.: "Sludge ash as fine aggregate for concrete mix". *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 121, n° 9, p. 633-638 Septiembre 1995.
- [41] KUCHENRITHER, R.D. The Objectives of Sludge Treatment. *Sludge 2000 Conference*, Paper 6, Cambridge.1992.
- [42] LAOS, F., MAZZARINO, M.J., SATTI, P., ROSELLI, L., MOYANO, S., RUIVAL, M., MOLLER POULSEN, L. *Planta De Compostaje De Biosolidos: Investigacion Y Desarrollo En Bariloche*, Publicado En *Ingenieria Sanitaria Y Ambiental*, Año 2000, Nr. 50, pp. 86-89.
- [43] LIEBIG MA, TANAKA DL, WIENHOLD BJ ,Tillage and cropping effects on soil quality indicators in northern Great Plains. *Soil Tillage Res.* 2004, 78: 131-141
- [44] Los Residuos Peligrosos y las Políticas Públicas en Colombia Disponible en <http://www.acercar.org.co/industria/biblioteca/eventos/fase6/galvanotecnia/21022006/01.pdf>
- [45] MASON, C.A., HÄNER, A., HAMER, G. Aerobic Thermophilic Waste Sludge Treatment, *Water Science and Technology*. 25[1]. 1992, 113-118 p.
- [46] MATTHEWS, Peter and LINDNER, K. European Union. A Global Atlas of Wastewater Sludge and Biosolids Use and Disposal. P. Scientific and Technical Report n°4. London : International Association on Water Quality, 1996.
- [47] METCALF & EDDY , *Wastewater Engineering. Treatment. Disposal. and Reuse*. 3ª Edición. McGraw-Hill Inc., Nueva York. 1991.
- [48] METZGER L, YARON B. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. *Adv. Soil Sci.*1987, 7:141-163 pp.
- [49] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y

- Saneamiento Básico RAS – 2000 Sección II Títulos C, E, I. Bogota, El Ministerio ,2000.
- [50] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. BOGOTÁ. COLOMBIA. Decreto 1594 de 1984. Bogotá, El Ministerio. 1984.
- [51] MUÑOZ GF, POLO GÓMEZ MJ, GIRADLES JV. Modificación de algunas propiedades físicas de un suelo del valle de Guadalquivir enmendado con lodos de depuradora. Estudios de la zona no saturada. En Muñoz-Capena R, Ritter A, Tascón C (Eds.) Actas de las IV Jornadas sobre Investigación de la Zona no Saturada del Suelo. ICIA. Tenerife, España. 1999 , pp. 115-143
- [52] NBP - Manual of good practice for biosolids National Biosolids Partnership. (2001) National Manual of good practice for biosólids
- [53] NORMA 503 DE LA AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL, Estándares para la Aplicación y Disposición de Lodos de Aguas Residuales
- [54] OTERO JL, ANDRADE ML, MARCET P , Caracterización química y evaluación agronómica de dos tipos de lodos residuales. Inv. Agric. Prod. Veg , 1996, 11: 117-131.
- [55] PENALVA R, Marco A, Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Agua. Editorial ABES 1999.
- [56] PRINCIPI, P.; VILLA, F.; BERNASCONI, M. y ZANARDINI, E. Metal toxicity in municipal wastewater activated sludge investigated by multivariate analysis and in situ hybridization, Water Research 40, 2006, pp 99-106.
- [57] RAMALHO, R.S., “Tratamiento de Aguas Residuales”, Editorial Reverté, Barcelona 1.991.
- [58] RAMÍREZ, M.C., LARRUBIA, M.A., HERRERA, M.C., GUERRERO-PÉREZ, M.O., MALPARTIDA, I., ALEMANY, L.J., PALACIOS, C. Valorización energética de biosólidos: algunos aspectos económicos y ambientales en la EDAR Guadalhorce (Málaga) Residuos: Revista técnica 98, 2007, pp. 60-67
- [59] RESIDUOS HOSPITALARIOS – CAPITULO 4: EMISIONES A LA ATMOSFERA Y CORRECCIONES. TIPOS DE HORNOS Disponible en línea: <http://www.cepis.ops-oms.org/cursoreas/e/fulltext/Ponencias-ID55.pdf>
- [60] REYES J, MARTÍNEZ S, SASTRE A, BIGERIEGO M, PORCEL M Resultados preliminares de la aplicación de lodos de depuradora como fertilizante y su implicación en la migración de nitratos a través de la zona no saturada. Geogaceta , 1996, 20: 1284-1288.
- [61] ROY, A; EATON, H; CARTLEDGE, F; TITTLEBAUM, M. Solidification/stabilization of hazardous waste: Evidence of physical

- encapsulation. Environmental Science and Technology; 1992, 26(7): 1349-1353 pp.
- [62] SALCEDO-PEREZ, Eduardo, VAZQUEZ-ALARCON, Antonio, KRISHNAMURTHY, Lakshmy et al. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. INCI, feb. 2007, vol.32, no.2, p.115-120. ISSN 0378-1844.
- [63] SASTRE, H., GUTIÉRREZ, A. Y MAHAMUD, M. Evaluación Técnica y Económica de Dos Alternativas de Tratamiento de Lodos de Depuradora. Proyecto técnico, Consejería de Medio Ambiente y Urbanismo del Principado de Asturias, Oviedo. 1994.
- [64] SHEN, Lilly, ZHANG, Dong-ke. Low-temperature pyrolysis of sewage sludge and putrescible garbage for fuel oil production Fuel, 84 (7-8), 2005, pp. 809-815
- [65] SISTEMAS DE ESGOTOS SANITARIOS, Facultad de Salud Pública, Universidad de Sao Paulo/CETESB, 1973.
- [66] SUSANNA VALLS I DEL BARRIO: "Estabilización Física Y Química De Los Lodos De Depuradora De Aguas Residuales Y De Material De Demolición Para Su Utilización En Ingeniería Civil". Julio 1999. Tesis doctoral, UPC.
- [67] TAY, J.H.: "Bricks manufactured from sludge". Journal of Environmental Engineering, Vol. 113, nº 2, p. 278-284. Abril 1987.
- [68] TAY, L.H.; YIP, W.K.: "Sludge ash as lightweight concrete material". Journal of Environmental Engineering, Vol. 115, nº 1, p. 56-64. Febrero 1989.
- [69] TRATAMIENTO DE FANGOS, ESTABILIZACIÓN Disponible en línea:  
<http://www.miliarium.com/Proyectos/Depuradoras/Fangos/TratamientoTr.asp>
- [70] TRATAMIENTO DE LODOS : CENTRIFUGACIÓN Y CENTRIFUGADORES Disponible en línea :  
<http://www.lenntech.es/centrifugacion.htm#ixzz0ZPNf9Eer>
- [71] UNGER, S.L.; LUBOWITZ, H.R. 1990. EPP process for stabilization/solidification of contaminants. En: Freeman, Harry M. Physical/chemical processes. Lancaster: Technomic; 1990:77-86.
- [72] VILLASEÑOR GÁNDARA, GUADALUPE Tratamiento y disposición de lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales / Guadalupe Villaseñor Gándara.-- Hermosillo, Sonora: Editorial Universidad de Sonora. División de Ingeniería, 1995 127 h. : Il.; 27 cm.
- [73] WALTER I, BIGERIEGO M, CALVO R, Efecto fertilizante y contaminante de lodos residuales en la producción de trigo en secano. Inv. Agric. Prod. Veg, 1994, 9: 501-507.

- [74] WATER ENVIRONMENT FEDERATION Septage Handling Task Force. Septage Handling. Manual of Practice No. 24. Alexandria, Virginia, WEF, 1997.
- [75] WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. WEF Manual of Practice No. 8. ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 76.WEF, Alexandria. 1992.
- [76] ZUCCONI, F., de Bertoldi, M. Compost specifications for the production and characterization of compost from MSW. En: de Bertoldi, M., Ferranti, M.P., L'Hermite, P., Zucconi, F. (Eds.) Compost: Production, Quality and Use. Comm. of the European Communities. Elsevier Applied Science, London. 1990, p. 30-50.