

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**FORMULACIÓN Y DISEÑO DEL PROYECTO DE  
SANEAMIENTO UNIPAMPA - ZONA 1  
TRATAMIENTO DE LODOS DE AGUAS RESIDUALES**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Raúl Juniors Encarnación Melo**

**Lima- Perú**

2007

## INDICE

<b>Resumen</b> .....	4
<b>Introducción</b> .....	6
<b>Capítulo 1: Planeamiento Metodológico</b>	
1.1. El problema de la zona .....	7
1.2. Objetivos de estudio .....	7
1.3. Aspectos metodológicos .....	8
1.3.1. De los objetivos .....	8
1.3.2. Del conocimiento previo de parámetros .....	8
1.3.3. Del análisis de resultados .....	9
1.4. Estudios preliminares .....	9
1.4.1. Ubicación Geográfica .....	9
1.4.2. Características de la zona .....	11
1.4.3. Estudios de batimetría .....	12
1.4.4. Estudio Geotécnico .....	14
<b>Capítulo 2 Marco Teórico y Conceptual</b>	
2.1. Tipo de lodos .....	15
2.1.1. Lodo crudo .....	16
2.1.2. Lodo primario .....	16
2.1.3. Lodo activo .....	16
2.1.4. Lodo activos de retorno .....	17
2.1.5. Lodo secundario .....	17
2.1.6. Lodo terciario .....	17
2.1.7. Lodo digerido .....	17
2.2. Componentes y parámetros de los lodos .....	18
2.2.1. Componentes de los lodos .....	18
2.2.2. Parámetros de los lodos .....	18
2.3. Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma OS.090 .....	19
2.3.1. Generalidades .....	19
2.3.2. Digestión Anaerobia .....	21
2.3.3. Laguna de Lodos .....	22
2.3.4. Aplicación de lodos sobre el terreno .....	23
2.3.5. Remoción de lodos de las Lagunas de Estabilización .....	23
2.3.6. Lechos de Secado .....	24

## INDICE

<b>Introducción</b> .....	4
<b>Resumen Ejecutivo</b> .....	5
<b>Capítulo 1: Planeamiento Metodológico</b>	
1.1. El problema de la zona .....	7
1.2. Objetivos de estudio .....	7
1.3. Aspectos metodológicos .....	8
1.3.1. De los objetivos .....	8
1.3.2. Del conocimiento previo de parámetros .....	8
1.3.3. Del análisis de resultados.....	9
1.4. Estudios preliminares .....	9
1.4.1. Ubicación Geográfica .....	9
1.4.2. Características de la zona .....	11
1.4.3. Estudios de batimetría .....	12
1.4.4. Estudio Geotécnico .....	14
<b>Capítulo 2 Marco Teórico y Conceptual</b>	
2.1. Tipo de lodos.....	15
2.1.1. Lodo crudo .....	16
2.1.2. Lodo primario .....	16
2.1.3. Lodo activo .....	16
2.1.4. Lodo activos de retorno .....	17
2.1.5. Lodo secundario .....	17
2.1.6. Lodo terciario .....	17
2.1.7. Lodo digerido .....	17
2.2. Componentes y parámetros de los lodos .....	18
2.2.1. Componentes de los lodos .....	18
2.2.2. Parámetros de los lodos .....	18
2.3. Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma OS.090 .....	19
2.3.1. Generalidades .....	19
2.3.2. Digestión Anaerobia .....	21
2.3.3. Laguna de Lodos .....	22
2.3.4. Aplicación de lodos sobre el terreno .....	23
2.3.5. Remoción de lodos de las Lagunas de Estabilización .....	23
2.3.6. Lechos de Secado .....	24

### **Capítulo 3. Proceso de Tratamiento de Lodos**

3.1. Espesamiento del Lodo .....	28
3.1.1. Espesado por gravedad o sedimentación .....	29
3.1.2. Espesado por centrifugación .....	30
3.1.3. Espesado por flotación .....	31
3.2. Estabilización del Lodo .....	32
3.2.1. Digestión Aerobia .....	33
3.2.2. Digestión Anaerobia .....	35
3.2.3. Desinfección .....	39
3.3. Deshidratación del Lodo .....	40
3.3.1. Lechos de secado .....	41
3.3.2. Secado mecánico .....	44

### **Capítulo 4. Análisis y Aplicación de Lodos**

4.1. Descripción del Tipo de Tratamiento .....	45
4.1.1. Etapas en la remoción de lodos de lagunas facultativas .....	45
4.2. Características de los Lodos .....	46
4.2.1. Estimación del volumen de lodos por caudales, concentraciones y años de operación .....	46
4.2.2. Medición del volumen de lodos a través de estudios de batimetría ...	50
4.2.3. Características física - química y microbiológica de lodos .....	51
4.3. Disposición Final de los Lodos .....	53
4.3.1. Estimación del tiempo de secado de lodos .....	54
4.3.2. Plan de trabajo usando el método de secado y remoción con equipo .....	61

<b>Conclusiones</b> .....	67
---------------------------	----

<b>Recomendaciones</b> .....	68
------------------------------	----

<b>Bibliografía</b> .....	69
---------------------------	----

#### **Anexos**

Anexo 01: Resultados de programa de monitoreo de lagunas de estabilización en Honduras .....	71
Anexo 02: Técnica para la determinación y cuantificación de huevos de helmintos .....	80
Anexo 03 : Presupuesto de Operación y Mantenimiento .....	86
Anexo 04 : Planos .....	86

### **Capítulo 3. Proceso de Tratamiento de Lodos**

3.1. Espesamiento del Lodo .....	28
3.1.1. Espesado por gravedad o sedimentación .....	29
3.1.2. Espesado por centrifugación .....	30
3.1.3. Espesado por flotación .....	31
3.2. Estabilización del Lodo.....	32
3.2.1. Digestión Aerobia .....	33
3.2.2. Digestión Anaerobia .....	35
3.2.3. Desinfección .....	39
3.3. Deshidratación del Lodo .....	40
3.3.1. Lechos de secado .....	41
3.3.2. Secado mecánico .....	44

### **Capítulo 4. Análisis y Aplicación de Lodos**

4.1. Descripción del Tipo de Tratamiento .....	45
4.1.1. Etapas en la remoción de lodos de lagunas facultativas .....	45
4.2. Características de los Lodos .....	46
4.2.1. Estimación del volumen de lodos por caudales, concentraciones y años de operación .....	46
4.2.2. Medición del volumen de lodos a través de estudios de batimetría ...	50
4.2.3. Características física - química y microbiológica de lodos .....	51
4.3. Disposición Final de los Lodos .....	53
4.3.1. Estimación del tiempo de secado de lodos .....	54
4.3.2. Plan de trabajo usando el método de secado y remoción con equipo .....	61

<b>Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	67
---	----

<b>Bibliografía</b> .....	69
---------------------------	----

#### **Anexos**

Anexo 01: Resultados de programa de monitoreo de lagunas de estabilización en Honduras .....	71
Anexo 02: Técnica para la determinación y cuantificación de huevos de helmintos .....	80
Anexo 03 : Presupuesto de Operación y Mantenimiento .....	86
Anexo 04 : Planos .....	86

## RESUMEN

UNIPAMPA es un área de 1 Km<sup>2</sup>, completamente eriaza y descampada que no cuenta con ningún tipo de habilitación urbana. La actividad de la población que proyectaremos en esta área generará residuos sólidos y líquidos que serán colectados mediante una red de alcantarillado. Es por eso que se desarrolla un sistema de evacuación de aguas servidas del poblado UNIPAMPA, que consiste en una red de alcantarillado con la tecnología condominial, reduciendo así el costo de inversión del proyecto, de las tarifas de conexión a la red y de las tarifas por el servicio de evacuación de las aguas residuales, haciéndolo accesible al usuario final.

Las aguas residuales si no son tratadas adecuadamente produce la contaminación de las aguas naturales, así el tratamiento de aguas residuales se hace indispensable. En este caso la selección del sistema para la recolección y tratamiento respectivo deberá considerar, alternativas que incluyan el reuso del agua debido a que gran parte de la población en la zona de estudio esta dedicada a labores agrícolas. Para ello se desarrolló el siguiente plan de trabajo: describir las principales características que presentan las aguas residuales domesticas, conocer las tecnologías mas comunes para el tratamiento de aguas residuales domesticas y sus procesos en función de los contaminantes presentes, analizar los métodos mas económicos para el tratamiento de aguas residuales en América Latina y decidir cual de ellos es el mas adecuado para la población de UNIPAMPA, finalmente definir el dimensionamiento de la planta de tratamiento con el fin de obtener el costo de construcción y de operación de la misma.

Reutilización de las aguas tratadas y residuos, la cual está comprendida en un marco de conservación ambiental, busca aprovechar recursos potenciales.

Uno de estos recursos es el lodo que se genera en la planta. Entonces como primera medida de reutilización es aprovechar los residuos y sólidos que resultan en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales proyectada en UNIPAMPA, para el cual se debe tener conocimiento de las características físicas - químicas y microbiológicas de los lodos, con el propósito de reutilizarlas en la agricultura.

## INTRODUCCION

Los principales constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamiento incluyen basuras, arena, espumas y lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales generalmente suelen ser un líquido o líquido - semisólido con gran contenido en sólidos entre el 0.25 y el 12 % en peso. El lodo es, por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. Su tratamiento y evacuaciones probablemente es el problema más complejo al que se enfrentan los Ingenieros Civiles. El lodo está formado principalmente por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas. La fracción de lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente de materia orgánica, y solo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida.

Los lodos separados en el sedimentador primario y aquellos producidos en el tratamiento biológico deben ser estabilizados, espesados y desinfectados antes de ser retirados del sitio de tratamiento. A continuación se analizarán procesos que se utilizan para reducir el contenido de agua y materia orgánica del lodo, y se utilizan además para acondicionar el lodo para su reutilización o evacuación final.

El principal parámetro que determina su reuso son los análisis de huevos de helmintos. Es por ello que se llega a un conocimiento de los diversos procesos de tratamiento de lodo, el cual es por mucho el constituyente de mayor volumen eliminado en la planta de tratamiento.

Luego de un proceso de evaluación en la zona en estudio, se ejecuta un plan de trabajo para su disposición final.

Otro recurso potencial es, el agua tratada, además de poder ser vertida al mar, es que sea apta para el riego, empleando así sistemas de riego tecnificado que mejoran la eficiencia de la aplicación del agua y maximizan el área cultivable para un caudal tan reducido como es el de UNIPAMPA.

Es así que el agua que dispone la planta de tratamiento deberá cumplir con los requerimientos de calidad medioambiental que figuran en el reglamento general de aguas que norma el uso de aguas residuales para riego. Este reglamento busca evitar la contaminación de los cultivos, suelos, y acuíferos por su posterior efecto en la salud humana y el ambiente.

Mediante el cálculo agronómico y teniendo en cuenta los factores de clima desértico, mínimas precipitaciones, grandes evaporaciones potenciales y las características del suelo, se hizo un cálculo para determinar el caudal en (1/s/ha) de los cultivos más importantes de la zona, este valor permitirá relacionar la cantidad de hectáreas factibles de ser regadas en función de la cantidad de gente que vierte sus aguas residuales a la planta de tratamiento.

El cálculo hidráulico de redes abiertas sumado al cálculo agronómico permite diseñar el sistema de riego que se adapte a las distintas necesidades del cultivo y a las características del terreno. Las ventajas y desventajas de su aplicación, los elementos de diseño, instalación y mantenimiento de los sistemas de riego tecnificado aptos para esta agua, son también materia de estudio.

Finalmente el estudio de impacto ambiental busca reducir las afectaciones producidas en el medio ambiente, de los actuales sistemas de tratamiento y disposición final de los efluentes.

Para luego realizar el diagnóstico ambiental del ámbito del área de influencia del proyecto.

## RESUMEN EJECUTIVO

UNIPAMPA es un área de 1 km<sup>2</sup>, completamente eriaza y descampada que no cuenta con ningún tipo de habilitación urbana. La actividad de la población que proyectaremos en esta área generará residuos sólidos y líquidos que serán colectados mediante una red de alcantarillado. Es por eso que se desarrolla un sistema de evacuación de aguas servidas del poblado UNIPAMPA, que consiste en una red de alcantarillado con la tecnología condominial, reduciendo así el costo de inversión del proyecto, las tarifas de conexión a la red y las tarifas por el servicio de evacuación de las aguas residuales, siendo accesible de pago para el usuario final.

Las aguas residuales si no son tratadas adecuadamente produce la contaminación de las aguas naturales, así el tratamiento de aguas residuales se hace indispensable. En este caso la selección del sistema para la recolección y tratamiento respectivo deberá considerar, alternativas que incluyan el reuso del agua debido a que gran parte de la población en la zona de estudio esta dedicada a labores agrícolas. Para ello se desarrolló el siguiente plan de trabajo: describir las principales características que presentan las aguas residuales domesticas, conocimiento de las tecnologías mas comunes para el tratamiento de aguas residuales domesticas y sus procesos en función de los contaminantes presentes, análisis de los métodos mas económicos para el tratamiento de aguas residuales en América Latina y decidir cual de ellos es el mas adecuado para la población de **UNIPAMPA**, finalmente , el dimensionamiento de la planta de tratamiento con el fin de obtener el costo de construcción y de operación de la misma.

La reutilización de las aguas tratadas y residuos, el cual está comprendida en un marco de conservación ambiental, busca aprovechar recursos potenciales.

Uno de estos recursos es el lodo que se genera en la planta. Entonces como primera medida de reutilización es aprovechar los residuos y sólidos que resultan en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales proyectada en **UNIPAMPA**, para el cual se debe tener conocimiento de las características físicas - químicas y microbiológicas de los lodos, con el propósito de reutilizarlas en la agricultura.

## **INTRODUCCION**

Los principales constituyentes del agua residual, eliminados en las plantas de tratamiento son basuras, arena, espumas y lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales generalmente suelen ser un líquido o líquido - semisólido con gran contenido en sólidos entre el 0.25 y el 12 % en peso. El lodo es, por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. Su tratamiento y evacuación, es probablemente el problema más complejo al que se enfrentan los Ingenieros Civiles. El lodo está formado principalmente por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas. La fracción de lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente de materia orgánica, y solo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida.

Los lodos separados en el sedimentador primario y aquellos producidos en el tratamiento biológico deben ser estabilizados, espesados y desinfectados antes de ser retirados del sitio de tratamiento. En el presente documento se fomenta el análisis de los procesos que se utilizan para reducir el contenido de agua y materia orgánica del lodo, y para acondicionarlo para su reutilización o evacuación final.

El principal parámetro que determina su reuso son los análisis de huevos de helmintos. Es por ello que se llega a un conocimiento de los diversos procesos de tratamiento de lodos, el cual es por mucho el constituyente de mayor volumen eliminado en la planta de tratamiento.

Luego de un proceso de evaluación que se debe tomar en cuenta para la zona en estudio, se ejecuta un plan de trabajo para su disposición final.

Otro recurso potencial es el agua tratada, además de poder ser vertidas al mar, es que sean aptas para el riego, empleando así sistemas de riego tecnificado que mejoran la eficiencia de la aplicación del agua y maximizan el área cultivable para un caudal tan reducido como es el de **UNIPAMPA**.

Es así que el agua que dispone la planta de tratamiento deberá cumplir con los requerimientos de calidad medioambiental que figuran en el reglamento general de aguas que norma el uso de aguas residuales para riego. Este reglamento busca de evitar la contaminación de los cultivos, suelos, y acuíferos con su posterior efecto en la salud humana y el ambiente.

Mediante el cálculo agronómico y teniendo en cuenta los factores de clima desértico, mínimas precipitaciones, grandes evaporaciones potenciales y las características del suelo, se hizo un cálculo para determinar el caudal en (l/s/ha) de los cultivos más importantes de la zona, este valor permitirá relacionar la cantidad de hectáreas factibles de ser regadas en función de la cantidad de gente que vierte sus aguas residuales a la planta de tratamiento.

El cálculo hidráulico de redes abiertas sumado al cálculo agronómico permite diseñar el sistema de riego que se adapte a las distintas necesidades del cultivo y a las características del terreno. Las ventajas y desventajas de su aplicación, los elementos de diseño, instalación y mantenimiento de los sistemas de riego tecnificado aptos para esta agua, son también materia de estudio.

Finalmente el estudio de impacto ambiental busca reducir las afectaciones producidas en el medio ambiente, de los actuales sistemas de tratamiento y disposición final de los efluentes.

Para luego realizar el diagnóstico ambiental del ámbito del área de influencia del proyecto.

# Capítulo

# 1

## PLANEAMIENTO METODOLÓGICO

### 1.1. EL PROBLEMA DE LA ZONA

El tratamiento de aguas residuales es indispensable para evitar la contaminación de las aguas naturales producto de las aguas de los sistemas de alcantarillado, y además dar un uso productivo al agua y sólidos obtenidos del tratamiento. Uno de esos usos productivos se logra mediante el Tratamiento de lodos de las aguas. Actualmente es el método estándar de tratamiento de aguas residuales en los países de mayor desarrollo, cuyo fin es aprovechar a un 100 % el tratamiento de aguas residuales y no descargarlo sin ningún tipo de tratamiento.

En el Perú, se alcanzó el nivel de cobertura en agua potable de 58.4% y en alcantarillado de 47%. Esto generó alrededor de 30 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales domésticas, de las cuales el 14% fueron tratadas, resultando así que solo el 86% es descargado sin ningún tratamiento a los ríos, lagos, mar o quebradas. El lodo, es por mucho el constituyente de mayor volumen eliminado en la planta de tratamiento.

En la zona de UNIPAMPA se ha proyectado realizar un tratamiento de aguas residuales con reactor USAB y lagunas facultativas.

Por ello consideramos que existe todo un proceso de evaluación que se debe realizar para la zona en estudio.

### 1.2. OBJETIVOS DE ESTUDIO

El objetivo general consiste en dotar a la población proyectada de UNIPAMPA de un sistema para la colección, tratamiento y reutilización de los residuos domésticos dentro de un marco de conservación ambiental, con el fin de aprovechar estos recursos potenciales. Uno de estos recursos es el lodo que se genera en el tratamiento de aguas residuales. Actualmente no se realiza una

# Capítulo

# 1

## PLANEAMIENTO METODOLÓGICO

### 1.1. EL PROBLEMA DE LA ZONA

El tratamiento de aguas residuales es indispensable para evitar la contaminación de las aguas naturales producto de las aguas de los sistemas de alcantarillado, y además dar un uso productivo al agua y sólidos obtenida del tratamiento. Uno de esos usos productivos se realiza mediante el Tratamiento de lodos de las aguas. Actualmente es el método estándar de tratamiento de aguas residuales en los países de mayor desarrollo, cuyo fin es aprovechar a un 100 % el tratado de aguas residuales y no descargarlo sin ningún tipo de tratamiento.

En el Perú, se alcanzó el nivel de cobertura en agua potable de 58.4% y en alcantarillado de 47%, generándose así alrededor de 30 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales domésticas y de las cuales se tratan 4.3 m<sup>3</sup>/s que representa al 14%, resultando que el 86% es descargado sin ningún tratamiento a los ríos, lagos, mar o quebradas. El lodo, es por mucho el constituyente de mayor volumen eliminado en la planta de tratamiento.

En la zona de UNIPAMPA se ha proyectado realizar un tratamiento de aguas residuales con reactor USAS y lagunas facultativas.

Por ello consideramos que existe todo un proceso de evaluación que se debe tomar en cuenta para la zona en estudio.

### 1.2. OBJETIVOS DE ESTUDIO

El objetivo general consiste en dotar a la población proyectada de UNIPAMPA de un sistema para la colección, tratamiento y reutilización de los residuos domésticos dentro de un marco de conservación ambiental, con el fin de aprovechar estos recursos potenciales. Uno de estos recursos es el lodo que se genera en el tratamiento de aguas residuales. Actualmente no se realiza una

buena utilización de los lodos y esto hace que el acumulamiento de lodos gane terreno en este tipo de obras.

El tratamiento de lodo luego de una serie de procesos genera un material que sirve como acondicionador de suelos (fertilizante), el cual es de gran utilidad en la zona estudiada debido a que la agricultura es la principal actividad económica. Para ello los objetivos planteados son:

- Buscar la mayor utilidad de las aguas residuales mediante procesos adecuados de tal manera que este trabajo sea tomado como proyecto piloto para el futuro
- Aplicar el resultado de este tratamiento al suelo con fines de fertilización y reciclaje de nutrientes y de la materia orgánica
- Establecer la opción de tratamiento del lodo en la zona estudiada para el futuro

### **1.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

El planteamiento del tratamiento de lodos en la zona de UNIPAMPA, se puede clasificar como una investigación descriptiva y analítica, debido a que posee características, que se pueden identificar dentro de cada una de ellas, tenemos así que esto se desarrolla considerando los siguientes puntos.

#### **1.3.1. De los objetivos**

Por parte de la investigación descriptiva tenemos que buscar como objetivo establecer relaciones entre los parámetros y la zona en estudio, de tal manera que pueda aprovecharse el reuso de tratamiento de aguas residuales, el cual es materia de estudio.

#### **1.3.2. Del conocimiento previo de parámetros**

Por parte de la investigación descriptiva conoceremos los parámetros en forma descriptiva, debido a que es necesario cierto grado de definición, los parámetros los definimos en función de los objetivos establecidos previamente para la investigación. Además debemos conocer los distintos tipos de procesos que se realizan en el tratamiento de lodos para así elegir el adecuado, ya que

buena utilización de los lodos y esto hace que el acumulamiento de lodos gane terreno a este tipo de obras.

El tratamiento de lodo luego de una serie de procesos genera un material que sirve como acondicionador de suelos (fertilizante), el cual es de gran utilidad en la zona estudiada debido a que la agricultura es la principal actividad económica. Para ello los objetivos planteados son:

- Buscar la mayor utilidad de las aguas residuales mediante procesos adecuados de tal manera que este trabajo sea tomado como proyecto piloto para el futuro
- Aplicar el resultado de este tratamiento al suelo con fines de fertilización y reciclaje de nutrientes y de la materia orgánica
- Establecer la opción de tratamiento del lodo en la zona estudiada para el futuro

### **1.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

El planteamiento del tratamiento de lodos en la zona de UNIPAMPA, se puede clasificar como una investigación descriptiva y analítica, debido a que posee características, que se pueden identificar dentro de cada una de ellas, tenemos así que esto se desarrolla considerando los siguientes puntos.

#### **1.3.1. De los objetivos**

Por parte de la investigación descriptiva tenemos que buscar como objetivo establecer relaciones entre los parámetros y la zona en estudio, de tal manera que pueda aprovecharse el reuso de tratamiento de aguas residuales, el cual es materia de estudio.

#### **1.3.2. Del conocimiento previo de parámetros**

Por parte de la investigación descriptiva conoceremos los parámetros en forma descriptiva, debido a que es necesario cierto grado de definición, los parámetros los definimos en función de los objetivos establecidos previamente para la investigación. Además debemos conocer los distintos tipos de procesos que se realizan en el tratamiento de lodos para así elegir el adecuado, ya que

algunos procesos resultan menos efectivos para nuestros fines, el cual es aprovechar el lodo como acondicionador de suelos (fertilizante).

### 1.3.3. Del análisis de resultados

La zona de Cañete es una zona donde la principal actividad económica es la agricultura. Es así que por parte de la investigación analítica el resultado que se genere luego del tratamiento de lodos en los lechos de secado tendrá el fin de acondicionar el suelo.

Es importante mencionar que de acuerdo a los resultados, con respecto a los macro y micro nutrientes, los lodos extraídos tienen características determinadas, que dependerá del análisis de huevos de helmintos que dependiendo del tiempo de secado en las lagunas podrán ser aprovechados como acondicionador de suelos según cuadros comparativos.

## 1.4. ESTUDIOS PRELIMINARES

### 1.4.1. Ubicación Geográfica

El tratamiento de lodos tiene lugar en la planta de tratamiento de aguas residuales para el poblado de UNIPAMPA cuya población es de 1960 habitantes.

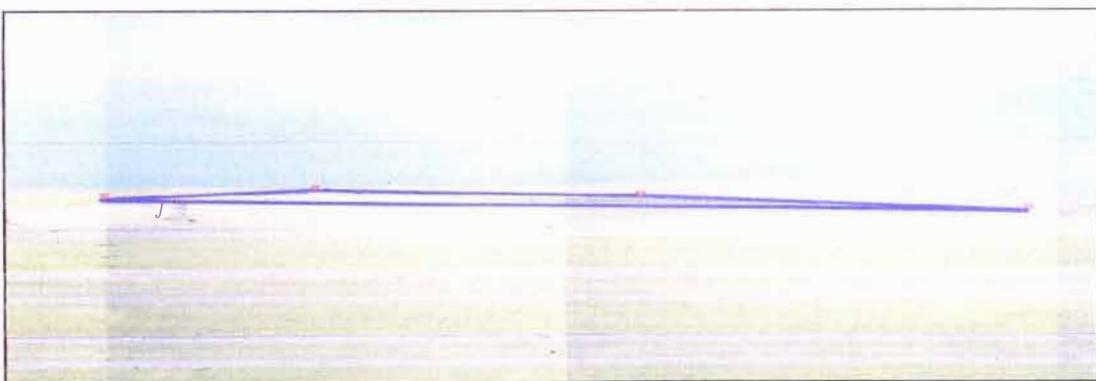


Figura 1.1. Donde se observa el área actual, donde está delimitado el poblado UNIPAMPA, se puede ver un área es totalmente desértica.

algunos procesos resultan menos efectivos para nuestros fines, el cual es aprovechar el lodo como acondicionador de suelos (fertilizante).

### 1.3.3. Del análisis de resultados

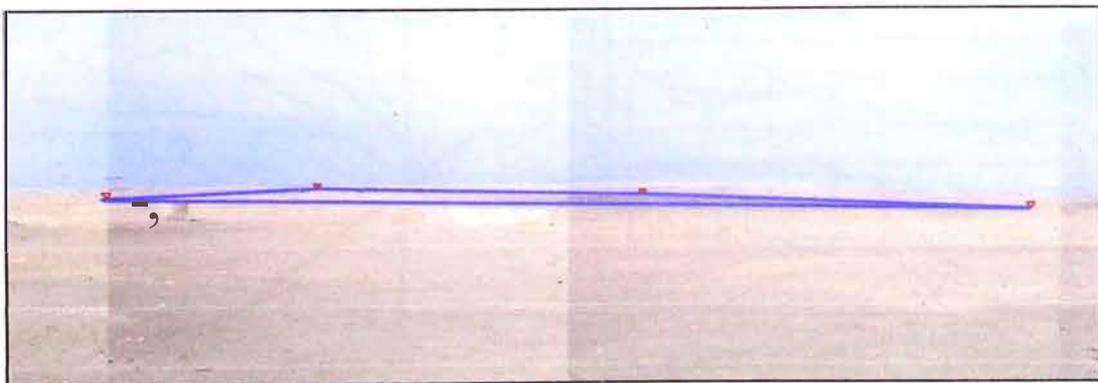
La zona de Cañete es una zona donde la principal actividad económica es la agricultura. Es así que por parte de la investigación analítica el resultado que se genere luego del tratamiento de lodos en los lechos de secado tendrá el fin de acondicionar el suelo.

Es importante mencionar que de acuerdo los resultados, con respecto a los macro y micro nutrientes, los lodos extraídos tiene características determinadas, que dependerá del análisis de huevos de helmintos que dependiendo del tiempo de secado en las lagunas podrán ser aprovechados como acondicionador de suelos según cuadros comparativos.

## 1.4. ESTUDIOS PRELIMINARES

### 1.4.1. Ubicación Geográfica

El tratamiento de lodos tiene lugar en la planta de tratamiento de aguas residuales esta proyectada para el poblado de UNIPAMPA cuya población proyectada es de 1960 habitantes.



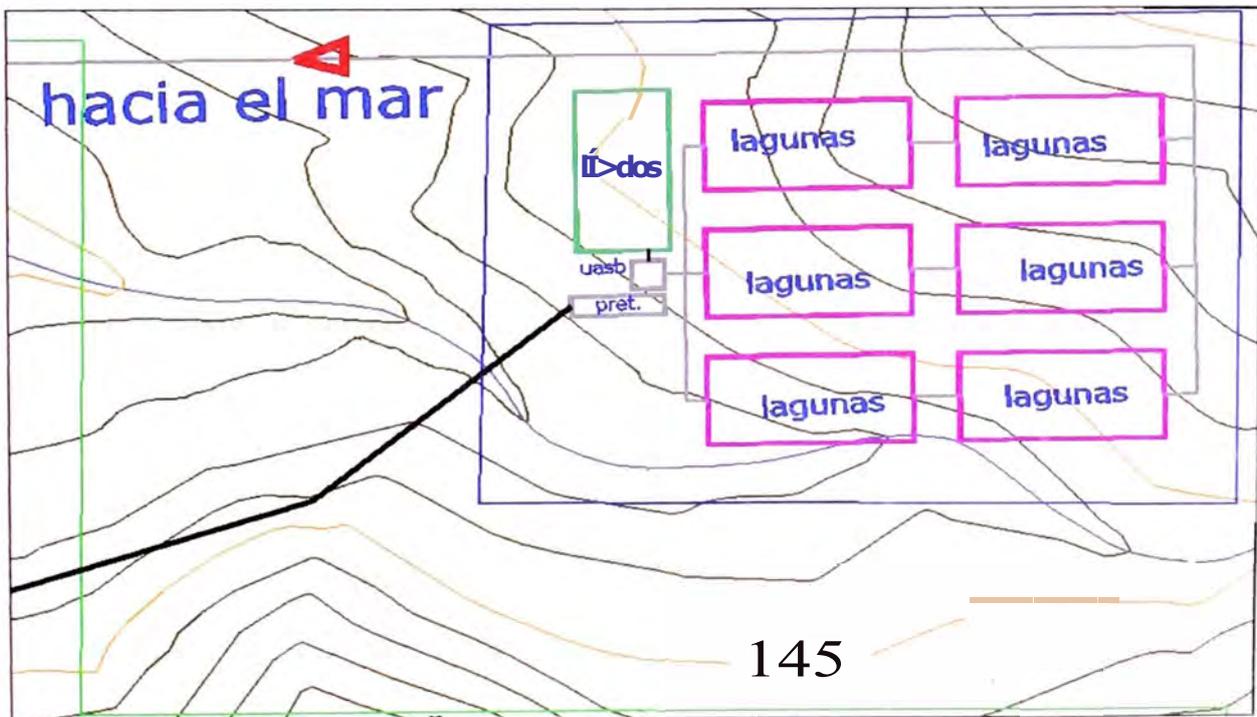
**Figura 1.1.** Donde se observa el área actual, donde está delimitado el poblado UNIPAMPA, se puede ver un área es totalmente desértica.

Ubicado en Pampa Clarita, en el Departamento de Lima, Provincia de Cañete, Distrito de San Vicente de Cañete. En la Zona UTM número 18 y sus coordenadas según el geoide WGS 84 son:

PUNTO	ESTE	NORTE
O (CENTRO) PLAZA DE ARMAS	353,714	8,541,776

UNIPAMPA es un área de 1 km<sup>2</sup>, completamente eriaza y descampada que no cuenta con ningún tipo de habilitación urbana. Se encuentra ubicada aproximadamente a 10 Km. al sur del Valle Cañete. El acceso es por la Carretera Panamericana Sur, a la altura del Km. 158, donde la actividad principal es la agrícola, pero que no cuenta actualmente con ninguna capacidad de expansión.

**Figura 1.2.** Se muestra un esquema de la planta de tratamiento proyectada en la zona de **UNIPAMPA**, donde se observa el área disponible para el secado de lodos.



### 1.4.2. Características de la zona

#### Clima

Se localiza en un clima subtropical de desierto, con muy escasa precipitación (por debajo del límite de sequía), temperatura cálida (promedio anual sobre los 18°C), con una época de verano y ligeras lloviznas en invierno. Debe anotarse que el paisaje fértil observado, corresponde al valle formado por el río Cañete. Para la caracterización del tipo climático se usó información meteorológica de estaciones fuera del área de estudio<sup>1</sup>.

Otra característica importante del tipo climático del área de estudio, es la no presencia (por períodos de muchos años) de lluvias verdaderas, pues prácticamente la totalidad de las reducidas precipitaciones que ocurren son horizontales, producto de la elevada humedad atmosférica del aire que domina buena parte del año, especialmente de mayo a noviembre, y más específicamente durante los meses de invierno, de julio a septiembre. En esta época la precipitación real consiste en microgotas conocidas como "garúa", que humedecen constantemente el suelo.

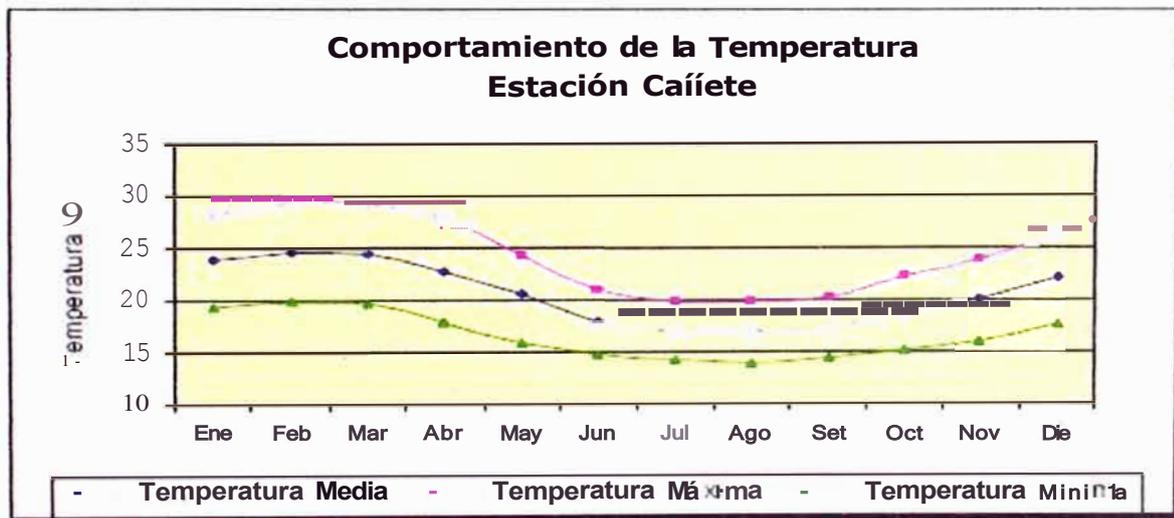


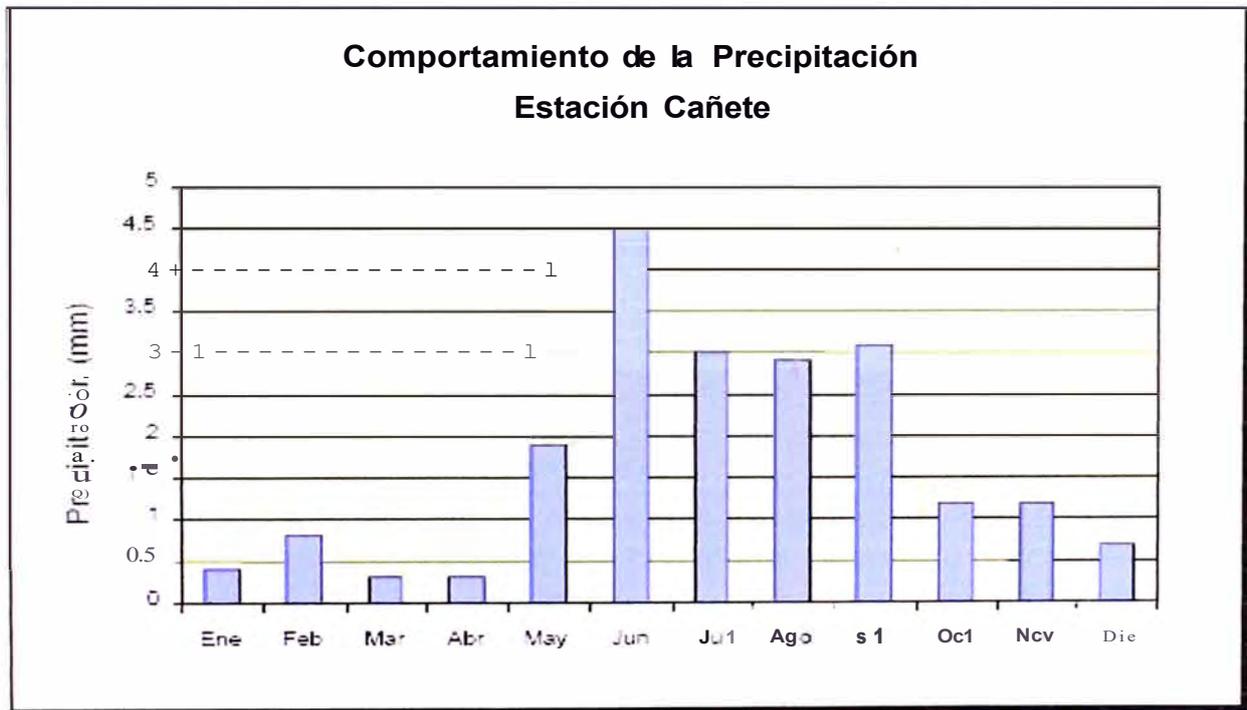
Figura 1.3. La humedad relativa varía en la época de invierno de 60° a 90°. Templado cálido. La temperatura oscila en el invierno entre los 14° a 22° llegando en el verano a temperaturas de hasta 29° y 30° centígrados.

1. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) establece que una estación, en condiciones ideales, tiene un área de influencia demarcado por un área de 100 km.

**Cuadro 1.1. Datos Meteorológicos de la Estación Meteorológica de Cañete**

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura media (°C)	13.5	16.6	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	21.0	19.90	18.6	16.1	12.0	16.3
Temperatura máxima (°C)	25.3	29.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.3	35.3	36.3	37.3	38.3	39.3
Temperatura mínima (°C)	19.3	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9
Humedad relativa (%)	0.1	0.5	0.3	0.3	1.9	3.0	2.70	3.10	3.20	3.30	3.40	3.50	3.60
Velocidad del viento (km/h)	17.6	153.5	111.1	125.5	90.0	7.0	9.0	3.1	96.5	109.0	1.1	111.5	

**Figura 1.4. Comportamiento Pluviométrico de la Estación Cañete**



**1.4.3. Estudios de batimetría**

El propósito principal de estimar el volumen de lodos acumulados es poder proyectar y programar la medición exacta del volumen en el campo con batimetría, lo que significa el inicio del proyecto de limpieza. Para poder dar su oferta exacta y planear su plan de trabajo, no solamente la limpieza sino la disposición final del volumen secado.

Se tendrá que medir el volumen exacto de lodos que existen.

Se empieza con un estudio topográfico que delimita los predios de las lagunas primarias y efectúa la planialtimetría para lograr las áreas y niveles, especialmente el nivel de agua y la profundidad original (sin lodos) de las lagunas.

Se termina con la batimetría para lograr las profundidades de agua y lodos y, entonces, los volúmenes de agua y lodos acumulados.

Se obtiene la batimetría de lagunas por medio del siguiente procedimiento:

1. Utilizando una lancha y una reglilla graduada (o estadía graduada), se la sumerge hasta sentir contacto con el fondo considerando no forzar la reglilla hacia el fondo ya que se podría alterar el dato de la altura de los lodos.
2. Se registra el dato y la ubicación del punto en la laguna. En lugar de una reglilla o estadía se puede utilizar un tubo claro graduado de plástico, y después de medir la altura se puede meterlo hasta al fondo para medir la profundidad del lodo exactamente y sacar un corazón de lodo para análisis.



**Figura 1.5.** Operadores movilizándose en una laguna para medir la altura de los lodos

#### 1.4.4. Estudio Geotécnico

Este estudio es de importancia para la disposición final de los lodos. La zona en estudio presenta un suelo compresible y de baja capacidad de soporte, estos son los resultados de laboratorio que se realizó en las calicatas

##### Características del suelo

- 0-20** Pardo a pardo oscuro en húmedo.  
Arena franca, grano simple, muy friable.  
El pH es 8.1 y 0.7% el contenido de materia orgánica.  
CE: 1.16 dS/m a 25°C, y PSI: 5.2%
- 20-180** Pardo amarillento oscuro en húmedo.  
Arenoso, grano simple, suelto.  
El pH es 8.0 y 0.3% el contenido de materia orgánica.  
CE: 0.34 dS/m a 25°C, y PSI: 3.4%.



**Figura 1.6. Calicata C-1 con el cual se realizarán los estudios de suelos de la zona**

# Capítulo

# 2

## MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Los lodos son compuestos de subproductos recogidos en las diferentes etapas de descontaminación de las aguas residuales. Su producción resulta de un proceso de acumulación consecutivo de tres fenómenos combinados:

- La producción de microorganismos
- La acumulación de materias en suspensión de minerales
- La acumulación de materias orgánicas no biodegradables en las condiciones de trabajo

Una característica muy importante de los lodos es la fuerza con la que el agua está ligada a la materia seca que contienen. Una parte del agua se presenta como agua libre, pero la mayor cantidad del agua adicional requiere de fuerzas externas para ser eliminada. Sus principales características son:

- Sequedad: 20 - 30 %
- Materia orgánica: 60 - 80 %
- Materia inerte: 40 - 20 %
- Nitrógeno: 3 - 5 %
- Escaso contenido en macroelementos (P y K)
- Posible presencia de metales pesados
- Microorganismos patógenos: bacterias, parásitos intestinales y virus

### 2.1. TIPOS DE LODOS <sup>1</sup>

El Tratamiento biológico de aguas residuales produce distinto tipo de lodos dentro de cada uno de los procesos individuales.

<sup>1</sup> <http://www.lennetech.com/espanol/tipo-de-lodos.htm>, (Lennetch Sludge Sorts) donde indican los tipos de lodos que existen en una planta de tratamiento

### **2.1.1. Lodo Crudo**

El 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.

### **2.1.2. 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 %.

### **2.1.3. Lodo activo**

La eliminación de materia orgánica disuelta **y** los nut'íentes 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 flóculos que contienen biomasa viva y muerta además de partes minerales **y** orgánicas adsorbida **y** almacenada.

El comportamiento de sedimentación de los flóculos de los lodos activos es de gran importancia para el funcionamiento de la planta de tratamiento biológico. Los flóculos 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.



Fig. 2.1. Tanque de aireación biológica

#### **2.1.4. Lodo activo de retorno**

El lodo activo de retorno que proviene del tanque de aireación biológica al clarificador final. Los flóculos 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.

#### **2.1.5. 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.

#### **2.1.6. Lodo terciario**

Lodo terciario se produce a través de procesos de tratamiento posterior, ex adición de agentes flocculantes.

#### **2.1.7. Lodo digerido**

Fango digerido tienen lugar en los procesos de digestión aeróbica. Tiene color negro y olor a tierra. Tiene una proporción de materia orgánica del orden de 45 a 60 %

## 2.2. COMPONENTES Y PARÁMETROS DE LOS LODOS

### 2.2.1. Componentes de los Lodos

Los lodos extraídos tras el proceso de tratamiento de aguas residuales contienen condiciones para la estabilización:

- Carbono (50 - 70 %)
- Hidrogeno (6.5 - 7.3%)
- Oxigeno (21 - **24** %)
- Nitrógeno (15 - 18 %)
- Fósforo (1 - 1.5 %)
- Sulfuro (0 - **2.4** %)

El agua es el componente principal de los lodos. El contenido de agua depende del tipo de lodo (primario, secundario o terciario) y del tipo de estabilización (aeróbica o aeróbica). El lodo crudo tiene un contenido generalmente de 93 % a 99 %. De manera que en la deshidratación (a un contenido de materia orgánica de 35%) o secado (a un contenido de materia orgánica del 85%) es necesario para su uso posterior.

El segundo componente principal es la materia seca, que esta formada de materia orgánica e inorgánica.

Además en la mayoría de las partes, los lodos tienen un gran contenido de elementos traza que han sido extraídos de las aguas residuales. Elementos traza tanto orgánicos como inorgánicos se encuentran en grandes concentraciones en los lodos

### 2.2.2. Parámetros de los Lodos

Los parámetros de los lodos de aguas residuales son la base necesaria para la construcción e instalación de plantas de tratamiento de lodos. Estos parámetros proporcionan indicaciones necesarias para el diseño sobre las proporciones orgánicas existentes en el lodo, el comportamiento de sedimentación, capacidad de deshidratación y valor del calor producido en el lodo.

### - **Sólidos Totales en Suspensión (TSS)**

El líquido mezcla del reactor, el agua tratada y el agua de alimentación, se trata mediante filtración en un horno a  $105^{\circ}\text{C}$ . Durante este proceso, debido a las bajas temperaturas, solo se evapora el agua y no se quema nada. Luego se pesa el restante para determinar la cantidad de sólidos en el agua de alimentación, el agua tratada y el reactor.

### - **Sólidos Volátiles en suspensión (VSS)**

El filtrado se extrae del horno a  $105^{\circ}\text{C}$  y se lleva a un horno de  $600^{\circ}\text{C}$  donde la material orgánica se quema dejando solo la fracción inorgánica que se pesa a continuación.

### - **Índice de volumen de lodo (SVI)**

El líquido mezclado se extrae del reactor y se lleva a un sedimentador de mezcla lento. Es el volumen en ml ocupados por 1g de una suspensión después de 30 minutos de sedimentación (ml/g).

## **2.3. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES - NORMA OS.090<sup>1</sup>**

### **2.3.1. Generalidades**

1) Para proceder al diseño de instalaciones de tratamiento de lodos, se realizará el cálculo de la producción de lodos en los procesos de tratamiento de la planta, debiéndose tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El cálculo se realizará para caudales y concentraciones medias y temperaturas correspondientes al mes más frío
- Para lodos primarios se determinará el volumen de masa de sólidos en suspensión totales y volátiles teniendo en consideración los porcentajes de remoción, contenido de sólidos y densidades.
- Para procesos de tratamiento biológicos como los de lodos activados y filtros biológicos se determinará la masa de lodos biológicos producto de síntesis de la materia orgánica menos la cantidad destruida por respiración endógena.

<sup>1</sup> Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento ( Junio 2006 ) Reglamento Nacional de Edificaciones - Habilitaciones Urbanas.

- En los procesos de lodos activados con descarga de lodos directamente desde el tanque de aeración, se determinará el volumen del lodo. En este caso la concentración del lodo en exceso es la misma que la del tanque de aeración
- En los procesos de lodos activados con descarga del lodo en exceso antes del tanque de aeración, se determinará el volumen de lodo producido a partir de la concentración de lodo recirculado del fondo del sedimentador secundario.

2) Se tendrá en consideración además las cantidades de lodos de fuentes exteriores, como tanques sépticos

3) Los lodos de zanjas de oxidación y aeración prolongada no requieren otro proceso de tratamiento que el de deshidratación, generalmente en lechos de secado

4) Los lodos de otros sistemas de tratamiento de lodos activados y filtros biológicos necesitan ser estabilizados. Para el efecto se escogerán procesos que sean de bajo costo y de operación y mantenimiento sencillo

5) Para la digestión anaerobia se considerará las siguientes alternativas:

Digestión anaerobia en dos etapas con recuperación de gas

Sistemas de digestión anaerobia abiertos (sin recuperación de gas) como digestores convencionales abiertos y laguna de lodos.

6) Para la disposición de lodos estabilizados se considerarán las siguientes opciones:

- Lechos de secado
- Laguna de secado de lodos
- Disposición del terreno del lodo sin deshidratar

### 2.3.2. Digestión Anaerobia

1) La digestión anaerobia es un proceso de tratamiento de lodos que tiene por objeto la estabilización, reducción del volumen e inactivación de organismos patógenos de los lodos. El lodo ya estabilizado puede ser procesado sin problemas de malos olores. Se evaluará cuidadosamente la aplicación de este proceso cuando la temperatura sea menor de 15° C o cuando exista presencia tóxicas o inhibidores biológicos.

2) Se deberá considerar el proceso de digestión anaerobia para los siguientes casos:

Para lodos de plantas primarias

Para lodo primario y secundario de plantas de tratamiento con filtros biológicos

Para lodo primario y secundario de plantas de lodos activados, exceptuando los casos de plantas de aeración prolongada.

3) Cuando desea recuperar el gas del proceso, se puede diseñar un proceso de digestión de dos etapas, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

El volumen de digestión de la primera etapa se determinará adoptando una carga de 1.6 a 8.0 kg VSS/(m<sup>3</sup> d). las mismas que corresponden a valores de tasas altas. En climas cálidos se usarán cargas más altas y en climas templados se usarán cargas mas bajas.

El contenido de sólidos en el lodo tiene gran influencia en el tiempo de retención de sólidos. Se comprobará el tiempo de retención de sólidos de la primera etapa, de acuerdo con los valores que se indican y si es necesario se procederá a reajustar la carga

### 2.3.2. Digestión Anaerobia

1) La digestión anaerobia es un proceso de tratamiento de lodos que tiene por objeto la estabilización, reducción del volumen e inactivación de organismos patógenos de los lodos. El lodo ya estabilizado puede ser procesado sin problemas de malos olores. Se evaluará cuidadosamente la aplicación de este proceso cuando la temperatura sea menor de 15° C o cuando exista presencia toxicas o inhibidores biológicos.

2) Se deberá considerar el proceso de digestión anaerobia para los siguientes casos:

Para lodos de plantas primarias

Para lodo primario y secundario de plantas de tratamiento con filtros biológicos

Para lodo primario y secundario de plantas de lodos activados, exceptuando los casos de plantas de aeración prolongada.

3) Cuando desea recuperar el gas del proceso, se puede diseñar un proceso de digestión de dos etapas, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

El volumen de digestión de la primera etapa se determinará adoptando una carga de 1.6 a 8.0 kg SSV/(m<sup>3</sup> d). las mismas que corresponden a valores de tasas altas. En climas cálidos se usarán cargas más altas y en climas templados se usarán cargas mas bajas.

El contenido de sólidos en el lodo tiene gran influencia en el tiempo de retención de sólidos. Se comprobará el tiempo de retención de sólidos de la primera etapa, de acuerdo con los valores que se indican y si es necesario se procederá a reajustar la carga

<b>Temperatura, °C</b> <b>Promedio del mes mas frío</b>	<b>Tiempo de retención</b> <b>(días)</b>
18	28
<b>24</b>	20
30	14
35(*)	10
<b>40(*)</b>	10

- Los digestores abiertos serán lagunas de lodos **y** en ningún caso deberá proponerse sistemas de calentamiento
- No es recomendable la aplicación de estos sistemas para temperatura promedio mensuales menores de 15°C .

### **2.3.3. Laguna de Lodos**

1) Las lagunas de lodos pueden emplearse como digestores o para almacenamiento de lodos digeridos. Su profundidad está comprendida entre 3 **y** 5 m y su superficie se determinará con el uso de una carga superficial entre 0.1 y 0.25 kg SSV/(m<sup>3</sup>.d). Para evitar la presencia de malos olores se deben usar cargas hacia el lado bajo.

2) Los parámetros de dimensionamiento de una laguna de digestión de lodo son los de digestores de baja carga.

3) Las lagunas de lodos deben diseñarse teniendo en cuenta lo siguiente:

- Los diques **y** fondos de estas lagunas tendrán preferiblemente recubrimiento impermeabilizante
- Los taludes de los diques pueden ser más inclinados que los de lagunas de estabilización.
- Se deben incluir dispositivos para la remoción del lodo digerido en el fondo **y** del sobrenadante, en por lo menos tres niveles superiores.
- Se deberán incluir dispositivos de limpieza **y** facilidades de circulación de vehículos, rampas de acceso, etc.

### **2.3.4. Aplicación de lodos sobre el terreno**

- 1) Los lodos estabilizados contienen nutrientes que pueden ser aprovechados como acondicionador de suelos
- 2) Los lodos estabilizados pueden ser aplicados en estado líquido directamente sobre el terreno, siempre que se haya removido por lo menos el 55% de los sólidos volátiles suspendidos
- 3) Los terrenos donde se apliquen lodos deberán estar ubicados por lo menos a 500 m de la vivienda mas cercan. El terreno deberá estar protegido contra la escorrentía de aguas de lluvias y no deberá tener acceso a público.
- 4) El terreno deberá tener una pendiente inferior a 6% su suelo deberá tener una tasa de infiltración entre 1 a 6 cm/h con buen drenaje, de composición química alcalina o neutra, debe ser profundo y de textura fina. El nivel freático debe estar picado por lo menos a 10 m de profundidad.
- 5) Deberá tenerse en cuenta los siguientes aspectos :
  - Concentración de metales pesados en los lodos y compatibilidad con los niveles máximos permisibles
  - Cantidad de cationes en los lodos y capacidad de intercambio iónico
  - Tipos de cultivo y formas de riego, etc.

### **2.3.5. Remoción de Lodos de las Lagunas de Estabilización**

- 1) Para la remoción de lodos de las lagunas primarias, se procederá al drenaje mediante el uso de sifones u otro dispositivo. Las lagunas deberán drenarse hasta alcanzar un nivel que permitirá la exposición del lodo al ambiente. La operación de secado deberá efectuarse en la estación seca. Durante esta operación el agua residual debe idealmente tratarse sobrecargando otras unidades en paralelo

- 2) El lodo de fondo debe dejarse secar a la intemperie. El mecanismo de secado es exclusivamente por evaporación y su duración depende de las condiciones ambientales, principalmente de la temperatura
- 3) El lodo seco puede ser removido en forma manual o con la ayuda de equipo mecánico. En el diseño de lagunas deberá considerarse las rampas de acceso de equipo pesado para la remoción de lodos
- 4) El lodo seco debe almacenarse en pilas de hasta 2 m por un tiempo mínimo de 6 meses, previo a su uso como acondicionador de suelos. De no usarse deberá disponerse en un relleno sanitario.
- 5) Alternativamente se podrá remover el lodo de lagunas primarias por dragado o bombeo a una laguna de secado de lodos.

### **2.3.6. Lechos de Secado**

- 1) Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados
- 2) Previo el dimensionamiento de los lechos se calculará la masa y volumen de los lodos estabilizados

En el caso de zanjas de oxidación el contenido de sólidos en el lodo es conocido. En el caso de lodos digeridos anaerobiamente, se determinará la masa de lodos considerando una reducción de 50 a 55% de sólidos volátiles. La gravedad específica de los lodos digeridos varía entre 1.03 y 1.04. Si bien el contenido de sólidos en el lodo digerido depende del tipo de lodo, los siguientes valores se dan como guía:

- Para el lodo primario digerido :de 10 a 15 % de sólidos
- Para el lodo digerido de procesos biológicos, incluido el lodo primario :de 6 a 10% de sólidos

- 3) Los requisitos de área de los lechos de secado se determinan adoptando una profundidad de aplicaciones entre 20 y 40 cm. y calculando el número de

aplicaciones por año. Para el efecto se debe tener en cuenta los siguientes periodos de operación

- Periodo de aplicación : 4 a 6 horas
- Periodo de secado : entre 3 y 4 semanas para climas cálidos y entre 4 y 8 semanas para climas fríos
- Período de remoción del lodo seco : entre 1 y 2 semanas para instalaciones con limpieza manual ( dependiendo de la forma de los lechos) y entre 1 y 2 días para instalaciones pavimentadas en las cuales se pueden remover el lodo seco, con equipo

4) Adicionalmente se comprobarán los requisitos de área teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

<b>Tipo de Lodo Digerido</b>	<b>(Kg sólidos/(m<sup>2</sup> .año)</b>
Primario	120 - 200
Primario y filtros percoladores	100 - 160
Primario y lodos activados	80 - 100
Zanjas de oxidación	110 - 100

5) Para el diseño de lechos de secado se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Puede ser construido de mampostería, de concreto o de tierra (con diques), con profundidad total útil de 50 a 60 cm. El ancho de los lechos es generalmente de 3 a 6 m., pero para instalaciones grandes puede sobre pasar los 10 m.
- El medio de drenaje es generalmente de 0.3 de espesor y debe tener los siguientes componentes :

El medio de soporte recomendado esta constituido por una capa de 15 cm. Formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3 cm. llena de arena. La arena es el medio filtrante y debe tener un tamaño efectivo de 0.3 a 1.3 mm y un coeficiente de

uniformidad entre 2 a 5 debajo de la arena se debe colocar un estrato de grava graduada entre 1.6 y 51 mm (1/6" y 2") de 0.20 de espesor.

Los drenes deben estar constituidos por tubos de 100 mm de diámetro instalados debajo de la grava

Alternativamente, se puede diseñar lechos pavimentados con losa de concreto o losas prefabricadas, con una pendiente de 1.5 %, hacia el canal central de drenaje. Las dimensiones de estos lechos son de 5 a 15 m de ancho por 20 a 45 m de largo.

Para cada lecho se debe proveer una tubería de descarga con su respectiva válvula de compuerta y losa en el fondo, para impedir la destrucción del lecho.

# Capítulo

# 3

## PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS

Los Lodos producidos en el tratamiento primario **y** secundario de la línea de agua de una PTAR presentan las siguientes características:

- Tienen una gran cantidad de agua (95 - 99 %), por lo que ocupan un volumen importante **y** son de difícil manipulación.
- Tienen gran cantidad de materia orgánica, por lo que entran fácilmente en descomposición (putrefacción), produciendo malos olores.
- Poseen una gran cantidad de organismos patógenos, causantes de enfermedades.

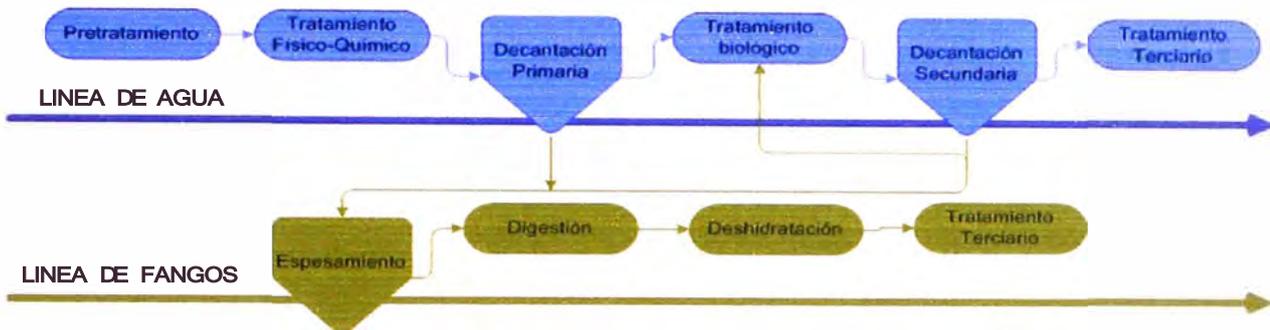
Todo ello hace que deban tratarse con sumo cuidado **y** en su tratamiento deben darse tres fases, encaminadas a reducir al máximo los problemas anteriormente citados:

- Reducción del agua presente en los fangos para evitar el manejo de grandes volúmenes.
- Estabilización de la materia orgánica para evitar problemas de fermentación **y** putrefacción.
- Conseguir una textura adecuada para que resulten manejables **y** transportables<sup>1</sup>.

Todo esto se realiza en la llamada línea de Fango o Lodo de una P.T.A.R.

1. Hammeken Arana,(2005) Capítulo 8, correspondiente a Tratamiento de Lodos de la Tesis "Análisis y diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales", Universidad de las Américas, Puebla

Fig. 3.1. Esquema que se sigue en una. P.T.A.R



### 3.1. ESPESAMIENTO DEL LODO

Debido a que los lodos producidos en el tratamiento del agua poseen más del 95% de agua, ocupando así volúmenes importantes, hace necesario un tratamiento para modificar sus características y permitir unas condiciones tales que su evacuación y disposición final sean óptimas desde el punto de vista sanitario, medioambiental y de su manejo

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.

Mediante el espesamiento de los lodos se consigue una reducción del volumen de aproximadamente un 30 - 80 % antes de cualquier otro tratamiento.

La reducción del volumen del 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.

En plantas de tratamiento de menor tamaño, con alimentación regular de lodo, el espesamiento tiene lugar generalmente directamente en el tanque de almacenamiento de los lodos. El lodo es comprimido en la base del tanque mediante gravedad, mientras en la parte superior se produce una capa de agua que se extrae y recircula nuevamente.

En las plantas de tratamiento de mayor tamaño, existen tanques especiales de espesamiento de lodos. Estos tanques están equipados con rodillos de rotación vertical, que crea micro canales en el lodo para un mejor escurrido. La importancia de las maquinas de espesamiento tiene lugar en aquellos lodos no estabilizados, que pueden pudrirse durante el almacenamiento.

El espesado se suele llevar a cabo mediante procesos físicos y los mas utilizados son:

### **3.1.1. Espesado por gravedad o sedimentación**

El espesamiento por gravedad se utiliza para los lodos primarios y los mixtos, así como para los procedentes de una precipitación química, localizándose antes del proceso de la digestión anaerobia. En el caso de que la línea de tratamiento de los lodos incluya una estabilización aerobia de los mismos, el espesador se sitúa, generalmente, posterior a la misma ya que este proceso requiere para su buen funcionamiento concentraciones no muy elevadas, no superiores al 2 -2.5 %.

Su diseño es similar a un decantador. Se lleva a cabo en un tanque de diseño similar al de un tanque de sedimentación convencional. Generalmente se utilizan tanques circulares. El lodo diluido se conduce a una cámara de alimentación central que sirve como reparto y de zona tranquilizadora, con una altura tal que no influya en la zona inferior de compactación. El fondo debe tener una pendiente mínima del 10%.

El lodo alimentado sedimenta y compacta y el lodo espesado se extrae por la parte inferior del tanque.

La extracción de los lodos desde la pozeta central puede realizarse por gravedad mediante válvulas o bien por aspiración directa mediante bombas. El sistema de extracción debe tener la posibilidad de hacerse de forma temporizada, así como que la toma pueda realizarse a distintos niveles.

El lodo espesado que se recoge del 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.

Para evitar posibles olores a menudo se procede a recubrir el espesador mediante una cubierta. Esta puede ser fija, mediante obra de fábrica o bien desmontable, más aconsejable ya que facilita el mantenimiento.

**Fig.3.2.** Se observa los lodos que se han estado depositando en las lagunas por gravedad



### 3.1.2. Espesado por centrifugación

La centrifugación tiene una aplicación limitada como sistema de espesado en una depuradora.

Se utiliza tanto para espesar lodos como para deshidratarlos. Su aplicación para el espesado se limita al espesado de lodos activados. Este proceso implica la sedimentación de las partículas de lodo bajo la influencia de fuerzas centrifugas. Existen dos principales tipos de espesado por centrifugación: la de camisa maciza y la de cesta

### 3.1.3. Espesado por flotación

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

Sin embargo, sólo la flotación por aire disuelto tiene utilización generalizada para el espesamiento de lodos. En este proceso, se introduce aire en una solución que se mantiene a una presión determinada. Cuando se despresuriza la solución a presión atmosférica, el aire disuelto se libera en forma de burbujas finamente divididas que se adhieren a las partículas sólidas, arrastrando así el lodo hasta la superficie, en donde es recogido con una desnatador.

La presurización puede producirse de dos formas:

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

**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.

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

**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.

**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.

### 3.2. ESTABILIZACIÓN DEL LODO

La estabilización del lodo se lleva a cabo principalmente para :

Reducir la presencia de patógenos

Eliminar los olores desagradables

Reducir o eliminar su potencial de putrefacción <sup>1</sup>

La supervivencia de microorganismo 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 mas "eficaces para eliminar el desarrollo de estas condiciones son: la reducción biológica del material volátil; la oxidación química de la materia volátil; la adicción de agentes químicos para hacer el lodo

1. Hammeken Arana,(2005) Capítulo 8, correspondiente a Tratamiento de Lodos de la Tesis "Análisis y diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales". Universidad de las Américas, Puebla

inadecuado para la supervivencia de microorganismos y la aplicación de calor con le objetivo de desinfectar o esterilizar el lodo.

Las técnicas de estabilización de lodos mas recurridas son; la digestión aerobia; la digestión anaerobia ; la estabilización con cal ; el tratamiento térmico, y el compostaje. A continuación se analizaran las primeras dos ya que son las dos tecnologías más importantes:

### **3.2.1. Digestión Aerobia**

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

En la digestión aeróbica los microorganismos están en fase respiratoria donde los materiales contenidos en las células son oxidados, teniendo como resultado una reducción de la materia orgánica degradada biológicamente. De esta manera, la estabilización aeróbica del exceso de lodo (incluyendo lodos primario) genera un consumo de energía. Adicionalmente, esta fase necesita un volumen extra en el reactor.

La digestión aerobia de los sólidos se produce, sea o no intencionadamente en cualquiera de los casos de tratamiento secundario convencional. En el proceso de aireación prolongada, la digestión aerobia se continúa casi hasta el máximo límite obtenible de reducción de materia orgánica (volátil).

La aireación prolongada es un proceso biológico en el que se digieren por vía aerobia, es decir, en presencia de oxígeno. El lodo en exceso producido se conduce, bien sólo o bien mezclado con los lodos primarios, al proceso de estabilización. El lodo biológico tiene una gran cantidad de materia orgánica en forma de células y microorganismos que han estado oxidando la materia orgánica en el tratamiento secundario y que después de éste se encuentra en pequeña proporción. En la estabilización lo que se pretende es continuar la oxidación de la materia orgánica que, en este caso, es celular.

Dentro del metabolismo de los microorganismos podemos distinguir dos fases:

- La fase de asimilación o síntesis.
- La fase de desasimilación o respiración endógena.

Durante la primera fase los organismos consumen el alimento disponible creando nueva materia celular activa. Es la fase de crecimiento celular. Pero los organismos también necesitan respirar, moverse, y ejercer sus funciones vitales, para lo cual consumen reservas y, por tanto, parte de su propia biomasa. Esto constituye la segunda fase de su metabolismo, en la cual decrece su materia activa.

En el tratamiento secundario se desarrolla principalmente la primera fase y cuando los lodos (que son básicamente células) llegan a la estabilización aerobia se desarrolla fundamentalmente la fase de respiración endógena, para completar así la oxidación total de la materia orgánica que entró en la planta.

### **Descripción del proceso**

Los tanques de digestión aerobia pueden ser circulares o rectangulares, de 5 a 6 metros de profundidad, sin cubierta o con cubierta (en el caso de climas fríos, para ayudar al mantenimiento de la temperatura). Los tanques van provistos de equipos de aireación de tipo turbina o difusores, para mantener las condiciones aerobias. Cada tanque tiene una turbina de alimentación de lodos a media profundidad y tras un tiempo de retención de aproximadamente 20 días, el lodo estabilizado se conduce mediante otra tubería a un espesador. Los lodos espesados pueden o no ser recirculados, siendo lo primero lo más habitual. Esto permite aumentar los rendimientos. El sobrenadante es conducido a cabecera de planta.

### **Aplicación, ventajas e inconvenientes de la digestión aerobia**

La estabilización aerobia se utiliza en procesos biológicos que no tienen tratamiento primario, como es el caso de la aireación prolongada a baja carga. En estos casos, la baja carga y los altos períodos de retención hacen que los lodos biológicos ya estén en parte estabilizados y, por tanto, las necesidades de

oxígeno ( $O_2$ ) son menores. Además, en baja carga la producción de lodos es menor.

También se utiliza para lodos mixtos, pero en este caso se necesita un aporte de  $O_2$  hasta 9 veces mayor que cuando se emplea sólo lodo biológico. Esto hace que muchos países no utilicen la estabilización aerobia cuando existen lodos primarios. En cualquier caso, dado el alto costo económico, en España sólo se utiliza en poblaciones de 40 - 50,000 habitantes, aunque en otros países este límite es aún más bajo (hasta 10,000 habitantes en Inglaterra).

A continuación se resume las desventajas que trae en sí la aplicación de este tipo de digestión:

- Altos costos de funcionamiento.
- Produce un fango con alto contenido en agua, más difícil de secar posteriormente, produciendo así un lodo digerido de pobres características para deshidratación mecánica

No obstante sus ventajas pueden resultar significativas:

- Alta producción de lodos estabilizados.
- Se consiguen menores concentraciones de D80 en el líquido sobrenadante.
- Tiene límite de carga que se puede tratar.
- Bajos costos de inversión en equipos.
- Produce sobrenadantes que suelen ser fáciles de tratar cuando se recirculan en la instalación.
- Reducción de materia orgánica en similares proporciones, pero con menores tiempos de retención.
- La producción de un producto final biológicamente estable, sin olores.
- Las tareas de control y limpieza presentan baja peligrosidad.

### **3.2.2. Digestión Anaerobia**

La digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de lodos. En este proceso se propicia la degradación de la materia orgánica contenida en la ausencia de oxígeno molecular.

El contenido total de materia sólida de un lodo se puede considerar que aproximadamente un 70% en peso está formado de materia orgánica y un 30% de materia inorgánica o mineral. Sólo la primera puede descomponerse en un proceso de digestión o estabilización.

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 periodos de tiempo considerables. El lodo estabilizado que se extrae del proceso tiene un bajo contenido de materia orgánica de microorganismos patógenos vivos

En un proceso de digestión anaerobia se consigue:

- La reducción del volumen ocupado por los lodos.
- La eliminación o destrucción de gran parte de la materia orgánica que contienen los lodos, disminuyendo así el riesgo de putrefacción y la producción de malos olores.
- La destrucción casi total de gérmenes patógenos.
- La obtención de metano, de gran poder calorífico, que puede ser utilizado como fuente de energía dentro de la planta.

Todo ello hace que el lodo resultante sea fácilmente secable y capaz de ser evacuado sin grandes problemas

### **Tipos de digestores anaerobios:**

Los dos tipos de digestores mas empleados son los de alta y baja carga. En el proceso de digestión de baja carga, 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 alta carga 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

caliente para optimizar la velocidad de digestión. El tiempo de retención generalmente es menor a 15 días.

La combinación de estos dos procesos se conoce como proceso de doble etapa. 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 clasificado.

### **Funcionamiento**

En un tanque de digestión anaerobia los sólidos orgánicos procedentes de las aguas residuales se descomponen (el volumen de sólidos totales se reduce, por tanto) en ausencia de oxígeno. Esto es llevado a cabo por la acción de al menos dos grupos diferentes de bacterias que viven juntas en el mismo medio. Estos grupos bacterianos son:

- Las bacterias formadoras de ácidos, que convierten los sólidos complejos en sólidos más simples (llamados ácidos orgánicos), anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) **y** agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), fundamentalmente. El pH óptimo de crecimiento es bajo.
- Las bacterias formadoras de metano, que convierten los ácidos en metano ( $\text{CH}_4$ ), ( $\text{CO}_2$ ) y ( $\text{H}_2\text{O}$ ) principalmente. El pH óptimo de crecimiento es próximo a la neutralidad.

En general, se considera que un digestor funciona adecuadamente cuando la reducción de sólidos orgánicos (volátiles) en el fango de salida está entre un **40 y un 60 %** del existente en el fango de entrada. Para conseguir esto el mantenedor debe de controlar de tal manera el digestor que las reacciones de formación de ácidos y las reacciones de formación de metano estén en equilibrio. Esto se puede conseguir mediante el control de parámetros tales como:

- El suministro de alimento (sólidos orgánicos) al digestor.
- El mezclado dentro del digestor.
- La temperatura dentro del digestor.
- La relación de ácidos volátiles/alcalinidad dentro del digestor.

La causa más frecuente de desequilibrio es que las bacterias formadoras de metano son organismos anaerobios muy sensibles y de crecimiento más lento, por lo que a veces no siguen el ritmo de las formadoras de ácidos y el digestor se acidifica porque la velocidad de transformación de los ácidos es demasiado baja

### **Forma de los tanques:**

Los tanques de digestión anaerobia pueden ser cilíndricos, rectangulares o con forma de huevo

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.

### **Gas producido:**

La composición volumétrica del gas generado en la digestión anaerobia del lodo de las 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.

Un metro cúbico de metano, tiene un poder calorífico de aprox. 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 aprox. 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 <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Hammeken Arana,(2005) Capítulo 8 correspondiente a Tratamiento de Lodos de la Tesis "Análisis y diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales", Universidad de las Américas, Puebla

**Fig. 3.3** Uno de los diferentes métodos de la digestión de los lodos de manera anaeróbica tiene lugar en los digestores que se observan en la foto.



### **Ventajas e Inconvenientes**

Con respecto a la digestión anaerobia de lodos:

- Menores costes de explotación al no utilizar la aireación como parte del proceso.
- Concentra mejor el lodo y mejora su secado posterior.
- Produce gas metano que proporciona energía para otras operaciones.
- Pequeña producción de lodos estabilizados.
- Tiene capacidad para tratar altas cargas hidráulicas y orgánicas.
- Mayores costes de inversión en su construcción.
- Produce líquidos (sobrenadantes) que pueden ser difíciles de tratar cuando se recirculan en la instalación.
- Los lodos necesitan una nueva estabilización antes de su evacuación final.
- Arranque lento y delicado.

### **3.2.3 Desinfección**

La desinfección del lodo ha adquirido mucha importancia como proceso adicional debido a las restrictivas normas aplicables a la reutilización del fodo y a su aplicación al suelo. En la aplicación del suelo, la protección de la salud pública obliga a controlar el posible contacto con organismos patógenos.

Existen muchos medios para conseguir la eliminación de los patógenos presentes en los lodos líquidos y deshidratados. Algunos procesos de estabilización, como la digestión anaerobia y digestión aerobia, no desinfectan el lodo, pero permiten reducir considerablemente la presencia de organismo patógeno. Los métodos mas adecuados para la desinfección de líquidos procedente, tato de la digestión aerobia como de la anaerobia, son la pasteurización y el almacenamiento a largo plazo.

### **Pasteurización**

La pasterización se hémela principalmente en Europa, en países como Alemania y suiza, en donde es un proceso obligatoric para la desinfección de los lodos que se esparcen sobre los pastos durante la temporada de crecimiento de primavera y verano. Los métodos mas usados son la inyección directa de vapor, y el intercambio indirecto de calor. Los equipos que se emplean actualmente para la pasteurización del lodo pueden resultar poco rentables, debido a sus altos costos de inversión

### **Almacenamiento a largo plazo:**

El lodo líquido digerido se suele almacenar en lagunas excavadas en el suelo, lo cual requiere disponer de un terreno suficiente. En los sistemas de aplicación al suelo, el almacenamiento suele ser necesario para retener el lodo durante los periodos en los que no se puede aplicar al terreno debido a las condiciones climáticas o a las características de los cultivos. El lodo almacenado en lagunas aumentan su concentración y sufre un poco de estabilización adicional debido a la continua actividad de las bacterias anaerobias. Los tiempos de retención típicos varían entre 60 días a 20°C y 120 días a 4°C .

## **3.3. DESHIDRATACIÓN DEL LODO**

Después que el lodo a pasado por el proceso de digestión, debe secarse y evacuarse.

El problema que nos planteamos es el de eliminar los lodos digeridos de la manera más práctica y menos costosa posible, aumentando el porcentaje de materia seca lo más posible para reducir su volumen al máximo. Con los métodos que se emplean se consiguen lodos deshidratados con un 20 -40% en peso de materia seca.

El líquido de los lodos tiene que drenarse consiguiendo un lodo seco y poroso. La deshidratación puede producirse de manera natural (mediante camas secas, secado solar), durante un largo periodo de tiempo.

Más rápidamente, aunque en más pequeñas cantidades (y también más costoso) son las máquinas de proceso como las prensas (filtros de prensa) y centrifugación.

Para una buena deshidratación, el tamaño y firmeza de los aglomerados del lodo son un factor importante, de manera que el lodo permanezca poroso durante la compresión. Se suele utilizar floculantes para alcanzar mayores niveles de materia seca en las máquinas de deshidratación y deben ser especialmente coordinado con el lodo.

Para elegir el método más adecuado hay que tener en cuenta las siguientes condiciones:

Adherencia segura

Compatibilidad medio ambiental

Flexibilidad del método de secado en relación con las cantidades variables de lodo

Las estaciones depuradoras pequeñas suelen tener lechos o eras de secado, mientras que las mayores utilizan sistemas mecánicos de secado.

### **3.3.1. Lechos de Secado**

Los lechos o eras de secado están constituidos por una capa de material drenante, dividida en compartimentos. La capa de material drenante debe estar constituida por una capa de arena de unos 10 cm. de espesor, dispuesta sobre una capa soporte de grava de 20 cm.

El lodo a secar puede ser llevado a las eras a través de canales abiertos o a través de tuberías. En el primer caso, se emplean compuertas de tajadera a la entrada a cada lecho de secado, y en el segundo, el aislamiento deberá hacerse con válvulas.

El sistema de drenaje subterráneo bajo la capa de soporte debe cuidarse al máximo. El número de tuberías y la pendiente de las mismas deben permitir un drenaje homogéneo de toda la masa de lodo, y conducir toda el agua drenada a una arqueta de drenaje general, donde se bombeará a cabecera de instalación.

El secado de los lodos en las eras se logra mediante drenaje (filtración) y evaporación:

- En una primera fase, el agua abandona el lodo por filtración a través de la arena, favoreciendo el desprendimiento de los gases ocluidos y disueltos, que tienden a hacer flotar los sólidos. Esta fase puede durar las 12-18 primeras horas, en el caso de lodos urbanos. En ella se obtiene una suspensión del lodo de hasta el **20%** de sequedad.
- La segunda fase de evaporación es más lenta, y produce una disminución de la capa de lodos, agrietando la superficie y favoreciendo la evaporación de las capas inferiores, al ser las grietas cada vez más profundas. Al final de esta fase el lodo tendrá una consistencia tal que le permitirá ser paleable. La sequedad obtenida podrá llegar a ser de hasta un **40%**.

La extracción del lodo es normalmente manual, vertiendo el lodo en carretillas o cintas transportadoras, que lo conducen fuera de las eras para ser almacenados o cargados sobre camión. Con la retirada del lodo también se elimina algo de arena de la capa drenante al quedar adherida a la torta lo que obligará, cada cierto tiempo, a reponer la arena.

### **Funcionamiento**

Antes de extender el lodo, hay que aflojar la capa de arena apelmazada con una horquilla de lodos con púas de **20** a **30** cm de longitud, que se

introducen en la arena y se remueven hacia delante y hacia atrás varias veces, teniendo cuidado de no mezclar las capas de arena y grava. Después de haber realizado esta operación por toda la superficie de la era, hay que rastrillarla con rastrillo de jardín para deshacer los terrones de arena. Después se iguala la arena de la era con el mismo rastrillo arrastrando una tabla con cuerdas para alisar la superficie.

A continuación, ya se puede vertir el lodo extraído del fondo del digester primario o secundario (digestión anaerobia de lodos) o del espesador (estabilización aerobia de lodos). En el primer caso, el lodo ha de extraerse lentamente para no crear vacío dentro del digester. Esto requiere comprobaciones frecuentes, para asegurarse de que el lodo no se espesa y deja de fluir por completo.

La profundidad de la capa de lodo extendida sobre la era es, normalmente, de unos 30 cm., pero puede llegarse a los 45 cm. durante las épocas muy calurosas.

En las proximidades de la extracción de lodos para secado debe prohibirse fumar o encender fuego. El lodo aún contiene algo de gas metano, como lo ponen de manifiesto las burbujas que aparecen en la superficie del lodo en una era fresca.

Después de haber llenado una era de secado, debe limpiarse con agua a chorro la tubería de extracción de lodos, para desprender los sólidos que hayan podido adherirse a las paredes de la misma, y también conviene que un extremo quede abierto, para que se escape el gas que se forma.

Cuando las grietas llegan a la arena, ya puede retirarse el lodo manualmente por medio de horcas.

El único gran inconveniente de las eras de arena es que no se pueden usar equipos pesados, porque el peso podría estropear el sistema de drenaje subterráneo. Otros inconvenientes son que la acción de rastrillado puede mezclar la arena con la grava y que en la retirada de fango seco se recoge parte de la arena, lo que obliga a reponerla cada cierto tiempo. Pueden colocarse pequeñas tablas sobre la arena para carretillas, y depositar la torta de lodos en

ellas para trasladarla al lugar de evacuación. La torta de lodo seco tiene normalmente un espesor de 7 a 15 cm. y no es pesada a no ser que vaya con el lodo una gran cantidad de material inorgánico sedimentable.

Si una era se llena accidentalmente con lodo "verde" (parcialmente digerido), requerirá una especial atención. El agua no drenará con rapidez, se producirán malos olores y la retención del agua proporcionará un excelente terreno de cría para insectos molestos (moscas, mosquitos, gusanos, etc.). Será beneficioso entonces, la adición de cal seca extendida sobre la era con una pala, y la pulverización con algún pesticida. En este caso, no deberá utilizarse el lodo como fertilizante.

### **3.3.2. Secado mecánico**

En las depuradoras en las que se producen grandes volúmenes de Lodo y no se pueden utilizar eras de secado, se puede llevar a cabo el secado mecánico mediante:

- Filtros de vacío.
- Centrífugas.
- Filtros banda.
- Filtros prensa.

En general, en el caso de la deshidratación mecánica, los lodos deben ser previamente acondicionados, bien química o bien térmicamente.

# Capítulo

# 4

## ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LODOS

Dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales, los sólidos suspendidos que sedimentan en las lagunas facultativas se acumulan en el fondo como lodos donde, poco a poco por los años, se pueden afectar el funcionamiento del sistema a través de una reducción en el volumen útil, y, por lo tanto, el tiempo de retención hidráulica. Generalmente, los lodos tendrán que ser removidos con una frecuencia de 5 a 10 años en lagunas facultativas, y de 2 a 5 años en lagunas anaeróbicas. La remoción de lodos entonces es una tarea significativa y obligatoria, y su realización debe ser bien planeada con estudios de ingeniería y con los costos de limpieza amortizados por las tarifas cobradas. El costo por laguna sin embargo sería un costo muy significativo para cualquier zona del Perú, por lo que se debe realizar un planeamiento para la limpieza con anticipación.

### 4.1. DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO

Para que los sistemas de lagunas sean sostenibles, es necesario planear para la remoción de lodos desde el principio del diseño de sistema y continuamente durante su operación. Como objetivos la remoción de lodos debe minimizar costos, proteger la salud pública y el medio ambiente, permitir el funcionamiento adecuado del sistema durante el período de limpieza, y dar una solución adecuada para la disposición final de los lodos.

#### 4.1.1. Etapas en la Remoción de Lodos de Lagunas Facultativas

Se realizará una lista de las etapas esenciales en la planeación y remoción de lodos.

Se presenta una adaptación de sus etapas esenciales orientada a la situación existente de la zona de UNIPAMPA :

# Capítulo

# 4

## ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LODOS

Dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales, los sólidos suspendidos que sedimentan en las lagunas facultativas se acumulan en el fondo como lodos donde, poco a poco por los años, se pueden afectar el funcionamiento del sistema a través de una reducción en el volumen útil, y, por lo tanto, el tiempo de retención hidráulica. Generalmente, los lodos tendrán que ser removidos con una frecuencia de 5 a 10 años en lagunas facultativas, y de 2 a 5 años en lagunas anaeróbicas. La remoción de lodos entonces es una tarea significativa y obligatoria, y su realización debe ser bien planeada con estudios de ingeniería y con los costos de limpieza amortizados por las tarifas cobradas. El costo por laguna sin embargo sería un costo muy significativo para cualquier zona del Perú, por lo que se debe realizar un planeamiento para la limpieza con anticipación.

### 4.1. DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO

Para que los sistemas de lagunas sean sostenibles, es necesario planear para la remoción de lodos desde el principio del diseño de sistema y continuamente durante su operación. Como objetivos la remoción de lodos debe minimizar costos, proteger la salud pública y el medio ambiente, permitir el funcionamiento adecuado del sistema durante el período de limpieza, y dar una solución adecuada para la disposición final de los lodos.

#### 4.1.1. Etapas en la Remoción de Lodos de Lagunas Facultativas

Se realizará una lista de las etapas esenciales en la planeación y remoción de lodos.

Se presenta una adaptación de sus etapas esenciales más orientada a la situación existente de la zona de UNIPAMPA:

1. Estimación del volumen de lodos por los caudales, concentraciones de sólidos suspendidos, y los años de operación del sistema de lagunas.
2. Medición del volumen de lodos a través de estudios de batimetría.
3. Caracterización físico-química y microbiológica de lodo.
4. Estimación, a través de datos meteorológicos, el tiempo requerido de secar los lodos antes de sacarlos de la laguna.
5. Plan de trabajo:
  - Desvío del afluente y su impacto en el funcionamiento del sistema
  - Drenaje de lagunas facultativas
  - Secado de lodos.
  - Método de sacar los lodos secados.
  - Limpieza de Lodos
  - Rellenado de la laguna limpiada.
  - Disposición final de los lodos.
  - Impactos ambientales del proyecto

## 4.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS

Como se vio anteriormente en las etapas del tratamiento seleccionado, lo que se busca en una primera parte es hallar las características física - química y microbiológica de los lodos. Por eso es necesario entrar en detalle en las tres primeras etapas:

### 4.2.1 Estimación del Volumen de Lodos por Caudales, Concentraciones, y Años de Operación

Se debe contar con un registro de caudales y datos de monitoreo durante sus años de operación, de esta manera se puede estimar el volumen de lodos acumulados con las siguientes ecuaciones <sup>1</sup>:

$$V_L = \frac{M_s}{PHP \times C_{EL} \times ST} \quad (4.1)$$

Donde  $V_L$  = volumen de lodos m<sup>3</sup>  
 $M_s$  = masa de sólidos secos, kg

1. Metcalf y Eddy (1991) Wastewater Engineering

- $\rho_{H_2O}$  = densidad de agua  $1000 \text{ kg/m}^3$   
 $GEL$  = Gravedad específica de lodos  
 $ST$  = fracción de sólidos totales en los lodos expresada como decimal

La masa de sólidos acumulados diarios se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_{S-d} = 0.001 Q_{med} \times SS \quad (4.2)$$

- Donde  $M_{S-d}$  = carga de sólidos del afluente  $\text{kg/día}$   
 $Q_{medio}$  = caudal promedio del afluente,  $\text{m}^3/\text{día}$   
 $SS$  = concentración promedio de sólidos suspendidos,  $\text{mg/L}$   
 $0.001$  = factor de conversión de  $\text{mg/L}$  a  $\text{kg/m}^3$

Normalmente se asume que 65% de los sólidos totales son volátiles y 35% son fijos, y que a largo plazo aproximadamente 50% de los sólidos volátiles serán digeridos. La masa de sólidos producidos por año sería entonces:

$$M_{S-o} = 365(0.35M_{S-d} + 0.65(0.5)M_{S-d}) = 246M_{S-d} \quad (4.3)$$

- Donde  $M_{S-a}$  = masa de sólidos producidos por año,  $\text{kg/año}$

Combinando las Ecuaciones 4.2 y 4.3 se obtiene la masa por año en términos de caudal y concentración de SS:

$$M_{S-a} = 0.246 Q_{med} \times SS \quad (4.4)$$

Se estiman que la gravedad específica de lodos digeridos en lagunas primarias es aproximadamente 1.04, y la concentración de sólidos totales de 10 a 15%<sup>1</sup>. Usando estos valores con la Ecuación 4.1 y combinando con la Ecuación 4.4 da la siguiente relación para estimar el volumen de lodos producidos por año:

1. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento ( Junio 2006 ) Reglamento Nacional de Edificaciones - Habilitaciones Urbanas.

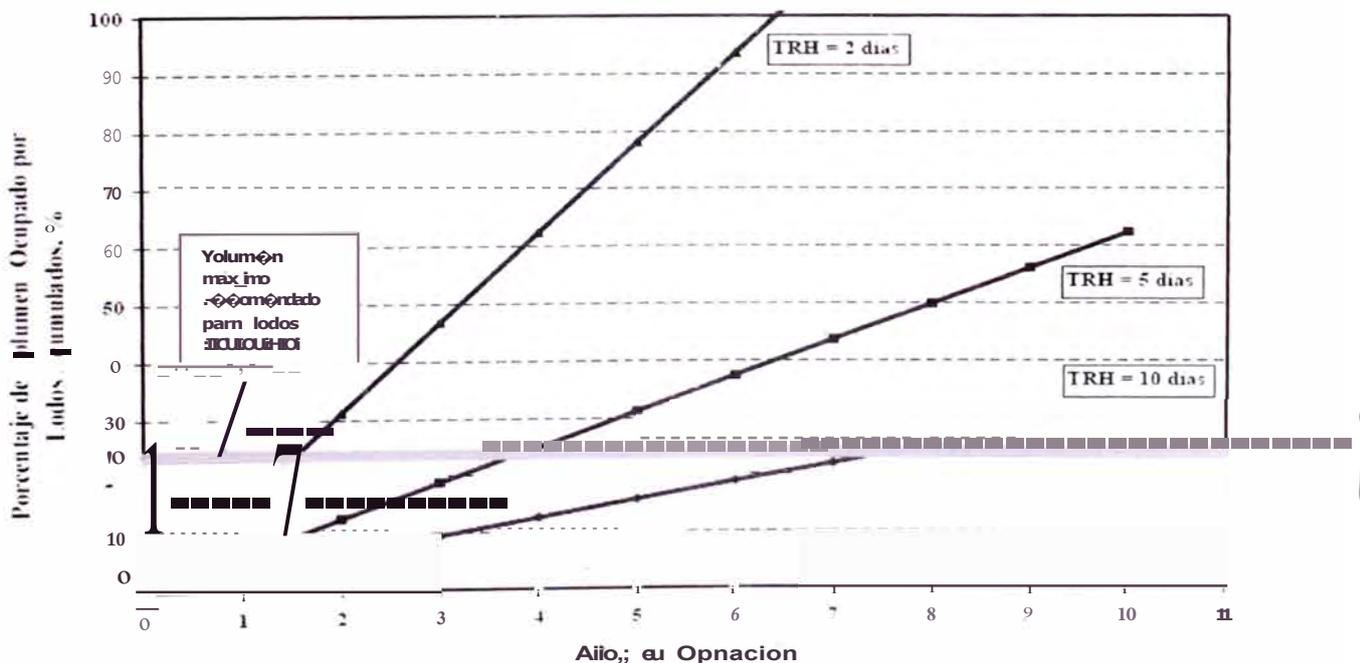
$$V_{L-a} = \frac{M_{s,a}}{\beta_{L-20} \times GE_{s,ST}} = \frac{0.246 Q_{med} \times SS}{1000(1.04)(0.15)} = 0.00156 Q_{med} \times SS \quad (4.5)$$

La Ecuación 4.5 asume que 100% de los sólidos suspendidos sedimentan en la laguna primaria y por lo tanto tiene un factor de seguridad porque se estima la eficiencia de remoción de SS es de alrededor 80% <sup>1</sup>. Porque el tiempo de retención hidráulica es relacionado al volumen de la laguna por la ecuación  $V_{Laguna} = TRH \cdot Q_{med}$ , se puede utilizar la Ecuación 4.5 para estimar el porcentaje de una laguna que estaría llenado con lodos acumulados como función del TRH nominal de la laguna. La Figura 4.1 muestra el porcentaje de la laguna que está ocupado por lodos acumulados versus tiempo como función del tiempo de retención hidráulica.

**Fig 4.1.** Acumulación de Lodos en Lagunas Primarias como función del tiempo de Retención Hidráulica

Suposiciones:  $GE_L = 1.04$ ;  $ST = 15 \%$ ;  $SS = 200 \text{ mg/L}$

SV Original= 65%; 50% de SV Digeridos



1\_ Yañez F, (1992) Lagunas de Estabilización: Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento, Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias.

La Figura 4.1 muestra claramente que las lagunas facultativas con tiempos de retención de 10 días o más pueden operar por hasta 10 años sin llenar más de 25% del volumen de la laguna con lodos acumulados. (Como se estudia adelante, se recomienda limpiar la laguna antes que la acumulación de lodos llegue a 25% por volumen de la laguna y 0.5m de profundidad.) Además, un punto importante que se nota en la figura es que cualquiera laguna que tiene un tiempo de retención hidráulica mucho menor a 10 días puede tener problemas con acumulación de lodos en pocos años.

Para la planta de tratamiento, tenemos que hallar el contenido de lodos acumulados en un año para cada serie de lagunas :

**1ra Serie:**

$$V_{L-a} = 0.00156Q_{med} \times S_{s'}'$$

$$V_{L-a} = 0.00156 \times 509.87 \text{ m}^3 \text{ / día} \times 70.46 \text{ mg / L}$$

$$V_{L-a} = 135.58 \text{ m}^3 \text{ / año}$$

El volumen de las lagunas es: 4,624 m<sup>3</sup>,

$$f_L = 0.25 \frac{V_F}{V_{L-a}}$$

$$t_L = 0.25 \times \frac{4,624}{135.58}$$

$$I_L = 8.50 \text{ años}$$

**2ra Serie:**

$$V_{L-a} = 0.00156Q_{med} \times SS$$

$$V_{L-a} = 0.00156 \times 254.93 \text{ m}^3 \text{ / día} \times 70.46 \text{ mg / L}$$

$$V_{L-a} = 67.80 \text{ m}^3 \text{ / año}$$

El volumen de las lagunas es : 2,704 m<sup>3</sup>,

$$f_L = 0.25 \frac{V_F}{V_{L-a}}$$

$$t_L = 0.25 \times \frac{2,704}{67.80}$$

$$I_L = 9.97 \text{ años} \approx 10 \text{ años}$$

#### 4.2.2. Medición del volumen de lodos a través de estudios de batimetría.

El propósito principal de estimar el volumen de lodos acumulados en un inicio es poder proyectar y programar la medición exacta del volumen en el campo con batimetría, lo que significa el inicio del proyecto de limpieza. Para poder dar su oferta exacta y planear su plan de trabajo, no solamente la limpieza sino la disposición final del volumen secado, el contratista tendrá que medir el volumen exacto de lodos que existen.

Se empieza con un estudio topográfico que delimita los predios de las lagunas primarias y efectúa la planialtimetría para lograr las áreas y niveles, especialmente el nivel de agua y la profundidad original (sin lodos) de las lagunas. Se termina con la batimetría para lograr las profundidades de agua y lodos y, entonces, los volúmenes de agua y lodos 2 acumulados

Se obtiene la batimetría de lagunas por medio del siguiente procedimiento <sup>1</sup>:

1. Utilizando una lancha y una reglilla graduada (o estadía graduada), se la sumerge hasta sentir contacto con el fondo considerando no forzar la reglilla hacia el fondo ya que se podría alterar el dato de la altura de los lodos.
2. Se registra el dato y la ubicación del punto en la laguna en la bitácora.

En lugar de una reglilla o estadía se puede utilizar un tubo claro graduado de plástico, y después de medir la altura se puede meterlo hasta al fondo para medir la profundidad del lodo exactamente y sacar un corazón de lodo para análisis <sup>2</sup>

1. ECOMAC (2004) Informes de Monitoreo: lagunas de Estabilización en Honduras

2. Arceivala (1970) Waste Stabilization Ponds · Design, Construction and Operation in India

El cuadro siguiente es un modelo de los datos que se deben de tener para los estudios de batimetría:

Parámetro	Batería	
	Facultativa 1	Facultativa 11
Largo, m	68	52
Ancho, m	34	26
Área, m <sup>2</sup>	2312	1352
Profundidad sin lodos, m	2.0	3.0
Volumen sin lodos, m <sup>3</sup>	4624	4056
Volumen medido de lodos, m <sup>3</sup>	0.4	0.6
Porcentaje del volumen de laguna llenado con lodos acumulados, %	20%	20%

#### 4.2.3. Caracterización Física-Química y Microbiológica de Lodos

El Cuadro 4.1. muestran los parámetros físicos-químicos-microbiológicos necesarios para caracterizar los lodos para un proyecto de remoción.

Cuadro 4.1. Caracterización Física - Química - Microbiológica de Lodos

Parámetro	Unidad	Objetivo
Sólidos volátiles	%	Determinación de gravedad específica de sólidos
Sólidos Fijos	%	Determinación de gravedad específica de sólidos
Sólidos Totales	%	Determinación de gravedad específica de lodos, volumen de agua para remover por evaporación y volumen final de lodos secados
Huevos de Helminthos (Viabiles si es posible)	<u>Numero</u> Gramo seco	Disposición final y posible reuso de lodos

El procedimiento a seguir para la recolección de lodos es el siguiente:

1. Se seleccionan los lugares de muestreo donde existe la mayor acumulación de lodos. Se debe sacar varias muestras en lugares diferentes para obtener el rango y promedio de valores posibles.
2. Se utiliza una draga especial diseñada para la recolección de sedimentos, o un tubo diseñado especialmente para la recolección de muestras de lodos <sup>1</sup>.
3. De acuerdo con los requisitos de los laboratorios que analizan las muestras, se ponen las muestras para los análisis de sólidos volátiles, fijos y totales en un tipo de recipiente especial, y las muestras para el análisis de huevos de helmintos en otro tipo especial.
4. El mismo día de recolección se mandan todas las muestras en una hielera al laboratorio apropiado para su análisis.

Los análisis de sólidos volátiles (SV) y sólidos fijos (SF) son importantes para determinar la gravedad específica de los sólidos (GEs) a través de la Ecuación 4.6 <sup>2</sup>

$$\frac{1}{GE_s} = \frac{SV}{1.0} + \frac{SF}{2.5} \quad (4.6)$$

Donde  
GEs = gravedad específica de los sólidos  
SV = porcentaje como decimal de sólidos volátiles en los lodos  
SF = porcentaje como decimal de sólidos fijos en los lodos

La Ecuación 4.6 asume que la gravedad específica de material orgánico es de 1.0 y de material inorgánico de 2.5. Después de determinar la gravedad específica de los sólidos se calcula la gravedad específica de los lodos con la Ecuación 4.7:

$$\frac{1}{GE_L} = \frac{ST}{GE_s} + \frac{(1-ST)}{1.0} \quad (4.7)$$

1. ECOMAC (2004) Informes de Monitoreo : lagunas de Estabilización en Honduras
2. Metcalf y Eddy (1991) Wastewater Engineering

Después de calcular  $GE_L$ , y con el volumen de lodos medidos con la batimetría, se puede calcular directamente la masa de lodos secos en reacomodar la Ecuación 4.1:

$$M_S = V_L \times \rho_{H_2O} \times GE_L \times ST \quad (4.8)$$

Se deberá calcular la masa de sólidos secos para cada laguna de cada serie de lagunas facultativas.

En el Cuadro 4.2 se presentan los resultados del proyecto de monitoreo de las lagunas Honduras sobre los parámetros de lodos comparados con otros estudios técnicos reportados. Se nota que los resultados de Honduras son muy parecidos de lo que han encontrado en otros países de América Latina.

**Cuadro 4.2.** Características Físico - Químicas- Microbiológicas típicas de lodos en lagunas primarias

Parámetro	Rango de Valores Reportados			
	Honduras <sup>1</sup>	Brazile <sup>2</sup>	México <sup>3</sup>	India <sup>4</sup>
Sólidos Totales. $ST$ %	11.6-15.5	8.1-22.0	11. -17.1	13-28
Sólidos Volátiles. $SV$ %	23.9-31.1	35.8-41.8		17-31
Sólidos Fijos. $SF$ %	68.0-76.1	58.2-61.2		69-83
$GE_s$	1.708-2.028			
$GE_L$	1.049-1.076			1.11-1.165
Humedad de Helnuntos Kilogramo/2nuno seco	1-5.299	25-300	<100-500	
Acumulación Estimada de Arena $m^3/1.000m^3$	0.010-0.085			
Acumulación Estimada de Lodo, $m^3/1.000m^3$	0.224-0.548			

1 ECOMAC (2000); 2 FrancI (1999); 3 Ndson. ero/ 12003); 4 Alce1\ala (1970).

### 4.3. DISPOSICION FINAL DE LOS LODOS

Una vez que se hallo las características de los lodos, se procede a la segunda parte de todo el tratamiento, el cual comprende a las disposición final de los lodos, y para ello se terminará de explicar las dos últimas etapas del tratamiento :

### 4.3.1. Estimación del Tiempo de Secado de Lodos

El mecanismo de secado de lodos es principalmente por evaporación dentro de la laguna drenada; también, dependiendo sobre la calidad de la impermeabilización del fondo, un porcentaje significativo de agua puede ser removido a través de infiltración<sup>1</sup>.

Para estimar el tiempo de secado y volumen final de lodos, en primer lugar se debe calcular el área de fondo de cada serie de lagunas:

$$A_b = (l - 2iP)(a - 2iP)$$

Donde

- $A_b$  = área del fondo, m<sup>2</sup>
- $l$  = largo de la laguna, m
- $a$  = ancho de la laguna, m
- $P$  = profundidad de la laguna vacía de lodos, m
- $i$  = relación h/v del talud interior (generalmente  $i = 3/1$ )

Además se debe calcular la profundidad de los lodos esparcidos por todo el fondo de las lagunas para el secado:

$$p = \frac{V}{A_b}$$

Como resultado, es fundamental estimar la duración de secado **y** tratar de minimizarla, particularmente porque el sistema estará sobrecargado por el desvío del caudal de la laguna fuera de servicio a las otras lagunas que quedarán en operación. El tiempo de secado es una función:

- Del clima local (especialmente evaporación neta)
- De la profundidad de lodos
- De la fracción de agua en los lodos que drene e infiltre por el fondo
- De la concentración de sólidos totales inicial y final de los lodos
- De la naturaleza de la superficie de los lodos

1. US EPA (1987) Design Manual : Dewatering Municipal Wastewater Sludges.

Se puede expresar esta relación con la Ecuación 4.9<sup>1</sup>:

$$t_s = \frac{P_0 \left( 1 - \frac{ST_0}{ST_t} \right) (1 - D)}{k_e (E_n - P_n)_{min}} \quad (4.9)$$

Donde:

$t_s$  = tiempo de secado de lodos, días

$P_0$  = profundidad inicial de lodos, m

$ST_0$  = concentración de sólidos totales inicial expresada como decimal

$ST_t$  = concentración de sólidos totales final expresada como decimal

$O$  = porcentaje de agua removido por infiltración expresado como decimal

$k_e$  = factor de reducción de evaporación del agua de lodos versus un espejo de agua (varía entre 0.6 y 1.0)

$(E_n - P_n)_{min}$  = evaporación neta mínima de los meses contiguos considerados, n, m/día

La Ecuación 4.9 asume que los lodos están esparcidos por todo el área del fondo de la laguna con una profundidad uniforme. Si no, el tiempo de secado fuera más largo.

El porcentaje de agua removido por infiltración por el fondo,  $O$ , puede variar entre 25% hasta 75% en lechos de secado<sup>1</sup>; en lagunas primarias  $O$  es una función de la permeabilidad realizada en el fondo de la laguna<sup>2</sup>. Normalmente se asume que  $O$  es igual a cero y la remoción de agua es exclusivamente por evaporación<sup>3</sup>.

El término  $(E_n - P_n)_{min}$  en la Ecuación 4.9 es la evaporación neta mínima de los meses de la época seleccionada para el secado (típicamente dos o tres meses), lo que debe ser la época más seca del año.

1. US EPA (1987) Design Manual : Dewatering Municipal Wastewater Sludges.

2. Franci (1999) Gerenciamiento do Lodo de Lagoas de Estabilizacáo

3. Yañez F, (1992) Lagunas de Estabilización: Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento, Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias.

Cuadro 4.3. Datos Meteorológicos de la Estación Meteorológica de Cañete

P-Ú:1:1:TRO	ESE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura media (°C)	18.3	19.3	19.3	20.5	20.9	19.8	19.9	19.90	20.0	19.6	18.0	17.0	19.5
Temperatura máxima media (°C)	23.3	24.3	24.3	25.5	25.9	24.8	24.9	24.90	25.0	24.6	23.0	22.0	24.5
Temperatura mínima media (°C)	13.3	14.3	14.3	15.5	15.9	14.8	14.9	14.90	15.0	14.6	13.0	12.0	14.5
Pluviómetro (mm)	0.1	0.5	0.3	0.1	1.9	7.5	3.0	1.90	1.10	1.0	1.10	0.7	10.10
Humedad relativa media (%)	81.6	80.7	80.7	79.8	83.2	81.1	81.7	81.0	83.7	82.7	81.0	80.7	80.0
Evaporación (mm)	11.6	11.5	11.7	11.5	9.0	5.7	1.7	5.8	4.4	6.5	10.7	13.1	11.1

Según los datos de monitoreo se puede observar que un secado de lodos deberá ser planeado durante los meses de Enero, Febrero y Marzo. Se usará la evaporación neta mínima del mes de febrero en la ecuación 8.9

$$(E_n - P_n)_{\min} = 133.00 \text{ mm} = 0.0048 \text{ m/día}$$

El término  $k_e$  en la Ecuación 4.9 es el factor de reducción de evaporación del agua de los lodos comparada a un espejo de agua. Los lodos forman una capa dura cuando empiezan a secar, lo que impide la evaporación de agua en las capas inferiores como se ve en las Fotos 4.1. Durante este período de secado se estima el valor de  $k_e$  de ser aproximadamente 0.6<sup>1</sup>.

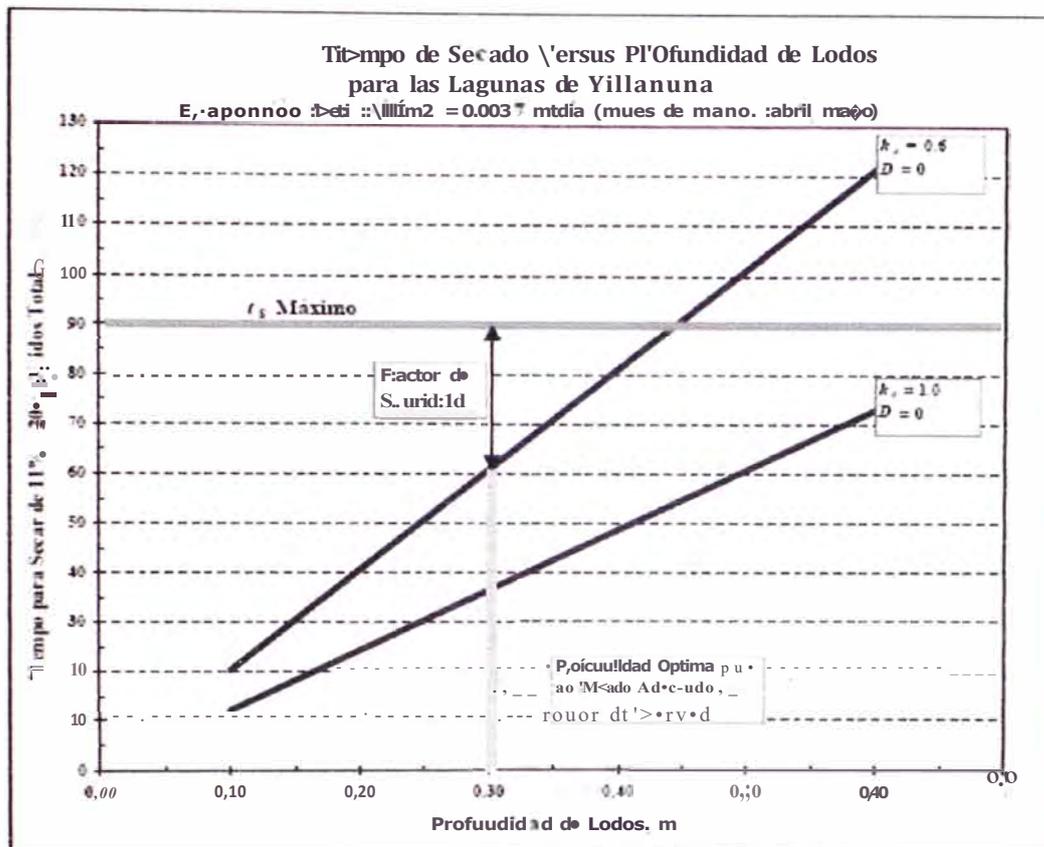
Entonces se calcula el tiempo de secado utilizando la Ecuación 8-9 y asumiendo que los lodos serán secados hasta el valor de los sólidos totales,  $ST$ , llega a 20%, el valor mínimo que permite sacar los lodos con equipo pesado. Se calcula entre las posibilidades de  $k_e = 0.6$  (lodos no volteados) y 1.0 (lodos volteados de rutina). También, porque es posible que el drenaje puede remover fácilmente hasta 25% del agua removida de los lodos en una laguna sellada con arcilla a través de infiltración, se calcula con  $\alpha = 0$  y 0.25.

Luego, cuando los lodos secan más, empiezan formar grietas, los cuales facilitan el secado (Véanse las Fotos 4.2). Con tiempo, después de formar muchas grietas, el valor de  $k_e$  se aproxima el valor 1.0 del espejo de agua<sup>1</sup>.

1. US EPA (1987) Design Manual : Dewatering Municipal Wastewater Sludges



Fig 4.2. Grafica para hallar la profundidad optima de limpieza de lodos



Una manera de mantener el valor de  $k_e$  más cercano a 1.0 es esparcir los lodos por todo el área del fondo de la laguna y voltearlos cada cierto tiempo durante el secado con un tractor agrícola con un arado o una barrena horizontal<sup>1</sup>.

Después de secar los lodos, se calcula su profundidad final, y entonces su volumen final para sacar y almacenar en todas las lagunas, con las Ecuaciones 4.10<sup>1</sup>.

$$P_f = P \frac{STO}{ST_f} \quad (4.10)$$

$$V_f = P_f \times A_b \quad (4.11)$$

Donde  $P_f$  = profundidad final de lodos, m  
 $A_b$  = área del fondo de la laguna  $m^2$

Las ecuaciones 4.10 y 4.11 asumen que los lodos estén esparcidos a una profundidad uniforme por todo el área del fondo.

1 US EPA (1987) Design Manual : Dewatering Municipal Wastewater Sludges.



Foto 4.1. Cuando los lodos empiezan a secar la capa superficial forma una capa dura que previene el secado de las capas inferiores como se ve en las fotos de un lecho de secado. Mientras la capa superficial está seca (foto arriba), las capas inferiores mantienen su humedad como se ve después de meter un palo por adentro (foto abajo) ( Ciudad de Guatemala)

Fuente Laguna de Estabilización en Honduras, ManuaJ de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad.



Foto 4.1. Cuando los lodos empiezan a secar la capa superficial forma una capa dura que previene el secado de las capas inferiores como se ve en las fotos de un lecho de secado. Mientras la capa superficial está seca (foto arriba), las capas inferiores mantienen su humedad como se ve después de meter un palo por adentro (foto abajo)

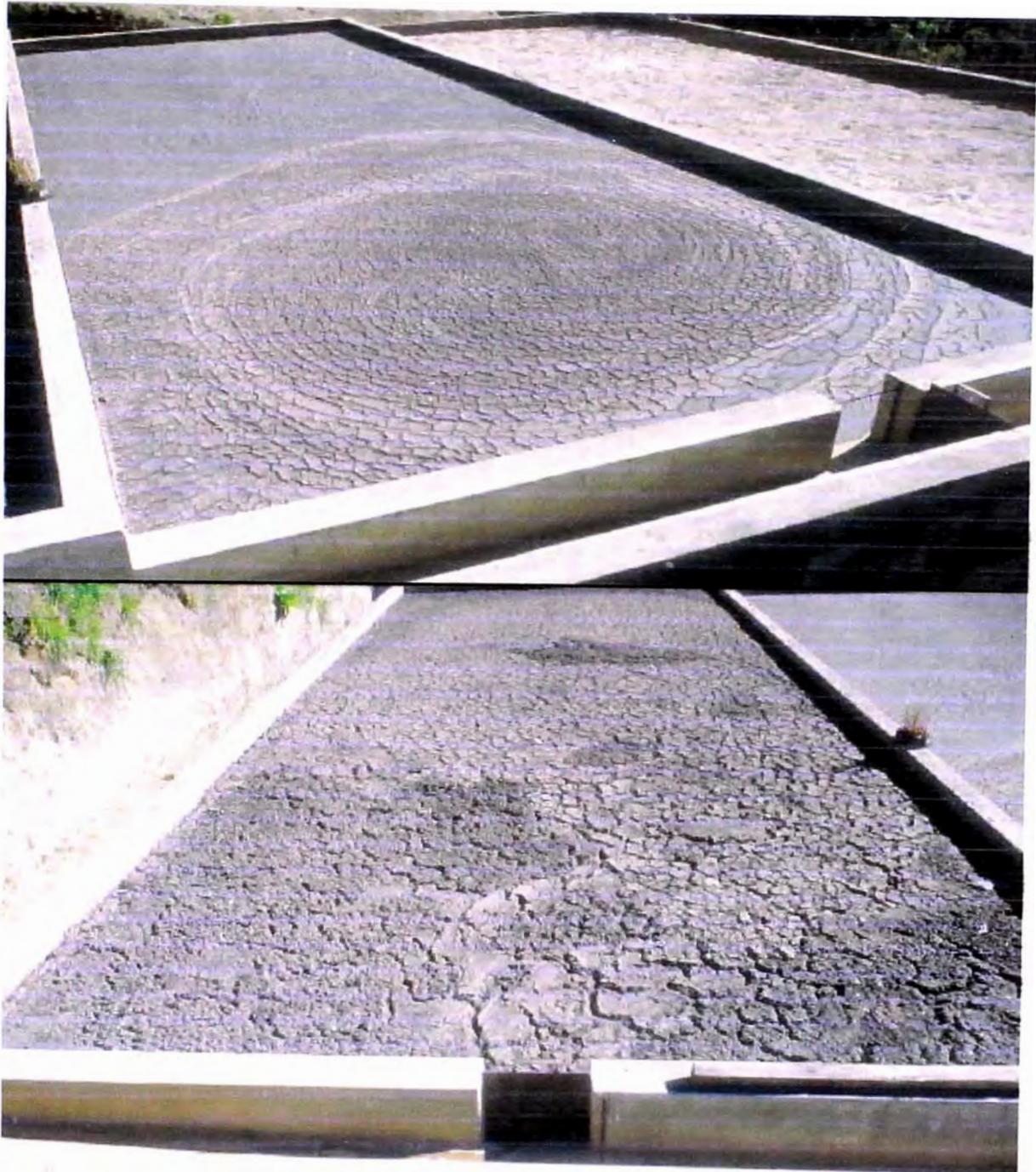


Foto 4.2. En el lecho de secado arriba los lodos están frescos y acaban de empezar secando con una capa superior duro que impide la evaporación de agua en las capas inferiores. Luego, después de secar más, los lodos empiezan a formar grietas, los cuales facilitan el secado de las capas inferiores como se ve en la foto abajo( San Juan Comalapa, Guatemala)

Fuente Laguna de Estabilización en Honduras, Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad.



**Foto 4.2.** En el lecho de secado arriba los lodos están frescos y acaban de empezar secando con una capa superior duro que impide la evaporación de agua en las capas inferiores. Luego, después de secar más, los lodos empiezan a formar grietas, los cuales facilitan el secado de las capas inferiores como se ve en la foto abajo.

Se presenta un ejemplo de los lodos esparcidos y secos en la Foto 4.3.



Foto 4.3. Un buen ejemplo de los lodos secos después de ser esparcidos y volteados periódicamente para facilitar el secado. Nótese la rampa para el acceso de equipo pesado (Or-oville, CaJifomia, EE.UU).

Fuente Laguna de Estabilización en Honduras, Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitor-eo y Sostenibilidad.

#### 4.3.2. Plan de Trabajo Usando el Método de Secado y Remoción con Equipo

El plan de trabajo debe incluir los siguientes factores:

a) Desvío del afluente y su impacto en el funcionamiento del sistema

Cuando cada laguna ha llegado a su límite de acumulación de lodos, se recomienda drenar las lagunas alternadamente y desviar el afluente a la otra laguna que existe para la limpieza de las lagunas facultativas por un periodo máximo de 2 a 3 meses. Se puede justificar el desvío de las lagunas por las siguientes razones:

- 1 El volumen de la laguna de limpieza es igual del volumen de las facultativas y, por lo tanto, el funcionamiento de ellas deben ser parecidos a las lagunas facultativas.

Se presenta un ejemplo de los lodos esparcidos y secos en la Foto 4.3.



**Foto 4.3.** Un buen ejemplo de los lodos secos después de ser esparcidos y volteados periódicamente para facilitar el secado. Nótese la rampa para el acceso de equipo pesado

#### **4.3.2. Plan de Trabajo Usando el Método de Secado y Remoción con Equipo**

El plan de trabajo debe incluir los siguientes factores:

##### **a) Desvío del afluente y su impacto en el funcionamiento del sistema**

Cuando cada laguna ha llegado a su límite de acumulación de lodos, se recomienda drenar las lagunas alternadamente y desviar el afluente a la otra laguna que existe para la limpieza de las lagunas facultativas por un período máximo de 2 a 3 meses. Se puede justificar el desvío de las lagunas por las siguientes razones:

1. El volumen de la laguna de limpieza es igual del volumen de las facultativas y, por lo tanto, el funcionamiento de ellas deben ser parecidos a las lagunas facultativas.

- 2 Los datos de monitoreo de las lagunas facultativas deben mostrar que están funcionando bien en términos de remoción de DBO, sólidos suspendidos, y huevos de helmintos, a pesar que están sobrecargadas. Como resultado, y especialmente porque están sobrecargadas, sería mejor desviar el caudal entre las lagunas.

### **b) Drenaje de Lagunas Facultativas**

Se drena las lagunas utilizando un sifón en una esquina del lado de la descarga del efluente; si no existe suficiente carga para utilizar un sifón, se puede utilizar una bomba. Se drena la laguna desde la esquina para que la descarga no se lleve los lodos, la mayoría los cuales deberían estar depositados lejos de la esquina. El agua drenada debe ser descargada a la laguna de limpieza.

Una vez que la laguna está vacía con la superficie de los lodos expuesta, se puede aprovechar el período de secado para construir un dispositivo de drenaje y una rampa para el acceso de equipo pesado.

### **c) Secado de lodos.**

Se debe utilizar un tractor agrícola con arado o barrena horizontal para esparcir los lodos por todo el área del fondo de la laguna. También, se debe voltear los lodos cada cierto tiempo para maximizar el valor de  $k_d$ .

### **d) Método de sacar los lodos secados.**

El método más apropiado de sacar los lodos es por cargadores frontales con rueda de goma o con orugas; en instalaciones pequeñas es posible también sacar los lodos manualmente con palas y caretillas. En algunos casos, dependiendo sobre el tamaño de la laguna, es posible sacar los lodos con una excavadora o draga. Es fundamental que el equipo no dañe la capa de arcilla al fondo de la laguna. Se calcula el volumen final de los lodos con las Ecuaciones **4.10y4.11.**

### **e) Limpieza de Lodos**

Cuando los lodos están suficiente secos, se mete un cargador con rueda o oruga para la recolección de los lodos. Un cargador debe poder remover y

poner en camiones el volumen final calculado, fácilmente en 2 o 3 días de trabajo si los lodos estén suficiente secos.

El costo es de US \$1.33/m<sup>3</sup>.

#### **f) Rellenado de las Lagunas**

Una vez limpiadas, las lagunas deben estar rellenas inmediatamente con agua limpia y los caudales redirigidos a su diseño original.

#### **g) Disposición final de los lodos.**

Los lodos, por su contaminación con huevos de helmintos, deben estar almacenados por 1 año mínimo en la instalación. Antes de moverlos para cualquier uso o disposición diferente, deben ser analizados para huevos vivos de helmintos.

El Cuadro 4.4 presenta las normas de la OMS para el reuso de lodos en agricultura. Porque inicialmente todos los lodos estarán muy contaminados con huevos de helmintos, la mayoría del tiempo es mejor enterrar los lodos en trincheras o excavaciones con una cobertura mínima de 25 cm, sin exposición de trabajadores, y prohibir la siembra de cultivos de raíces comestibles encima de los lodos enterrados (Categoría C en el Cuadro 4.4). En el caso de reuso en las Categorías B o A, se debe reservar un área en la instalación donde se puede almacenar los lodos en pilas por un tiempo mínimo de un año. Antes de mover los lodos para cualquier reuso se debe verificar que no contienen huevos vivos de helmintos por un análisis microbiológico. La Foto 4.4 muestran ejemplos de lodos almacenados con el objetivo de reusarlos en agricultura.

**Cuadro 4.4. :**  
**Normas Microbiológicas de la OMS de la calidad de Lodos**  
**Provedentes de Agua Residual Tratada para Reuso en Agricultura<sup>1</sup>**

Categoría y Condición de Reuso	Grupo Expuesto	Presencia de Flaca Serie de Muestras de los Lodos Altes de Período de Reuso	
		Helmintos: Intestinales Número Huevos/l, 100g Pe o mojarlo (Teclia Atimética)	Cilindros Fecales NUP/100g Pe o mojarlo (Teclia Geométrica)
<b>Categoría A</b> Reuso No Restringido: Cultivos que se consumen crudos, campos deportivos, parques públicos,	Trabajadores Comunidades Públicas	1	≤ 1,000
<b>Categoría B</b> Reuso Restringido: Cultivos de cañales, pradera, fonajero, y árboles.	Trabajadores	≤ 1	Ninguna Norma Recomendada
<b>Categoría C</b> Reuso Restringido: Antes de sembrar los cultivos, se entierra los lodos en trenches con una cobertura mínima de 25 cm de suelo encima de los trenches se prohíbe la siembra de cultivos de raíces comestibles, todo sin contaminación de nitratos	Ninguno	No se aplican	No se aplican

Fuente : Mara y Cairncross (1989)

El área requerida para el almacenaje de los lodos secados:

- Se asume que los lodos estarán almacenados en pilas de 2 m de profundidad con el ancho de la base de 3 m y el ancho de la capa de 1 m como se ve en la sección transversal. Tendrá un área de almacenaje para los lodos de cada serie de lagunas

El largo L de la pila sería :

$$L = \frac{V_{LTotal}}{\left(\frac{3+1}{2}\right) \times 2} = 0.25V_{LTotal}$$

Cuadro 4.4. :  
Normas Microbiológicas de la OMS de la calidad de Lodos  
Provenientes de Agua Residual Tratada para Reuso en Agricultura<sup>1</sup>

Categoría y Condición de Reuso	Grupo Específico	Prácticidad de la SUE de Actividad de los Lodos Antes del Proceso de Reuso	
		Humedad Humana, 1.000g Peso mojado (Cálculo Artístico)	Coliformos Fecales: NMP/100g Peso mojado (Cálculo Geométrico)
<b>Categoría A</b> Reuso: No restringido: Cultivos que se consumen e-idos en campos deportivos, parques públicos	Tribunales Colegiados Públicos	1	1.000
<b>Categoría B</b> Reuso: Restringido: Cultivos de cereales, praderas, forrajes y árboles	Tribunales	1	Numeros No m Recolección
<b>Categoría C</b> Reuso: Restringido: Antes de sembrar los cultivos, se euten los lodos en tnc-herns con una cobertura de 25 cm de suelo. ene-una de his tnc-herns se prohíbe la siembra de nltivos de rnk, comestibles, todo sm exposición de rmbndores	Ninguno	No se aplican	No se aplican

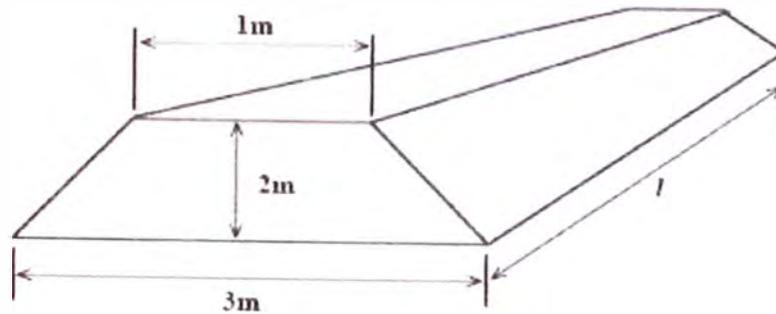
El área requerida para el almacenaje de los lodos secados:

Se asume que los lodos estarán almacenados en pilas de 2 m de profundidad con el ancho de la base de 3 m y el ancho de la capa de 1 m como se ve en la sección transversal. Tendrá un área de almacenaje para los lodos de cada serie de lagunas

El largo L de la pila sería :

$$L = \left( \frac{V_{total}}{3 \times 1} \right)^{1/2} = 25 \sqrt{V_{total}}$$

<sup>1</sup> Mara y Caimcross ( 1989 ) Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture



$$V_{L1serie} = 135.58 \text{ m}^3/\text{año} \times 8.50 \text{ años} \times 2 = 2304.86 \text{ m}^3$$

$$V_{L2serie} = 67.80 \text{ m}^3/\text{año} \times 10.00 \text{ años} \times 2 = 1356.00 \text{ m}^3$$

$$L_{1serie} = 0.25 \times 2304.86 = 576 \text{ m}$$

Se podría utilizar 8 pilas, de cada una con 2 m de largo. Con 0.5 m de espacio entre las pilas, el área requerida sería solamente 1,980 m<sup>2</sup> (72m x 27.50m).

$$L_{2serie} = 0.25 \times 1356.00 = 339 \text{ m}$$

Se podría utilizar 6 pilas, de cada una con 56.5 m de largo. Con 0.5 m de espacio entre las pilas, el área requerida sería solamente 1,158.25 m<sup>2</sup> (56.50m x 20.50m).

Este estudio de caso muestra claramente la importancia de anticipar la acumulación de lodos y planear bien para su remoción antes de que llegue al límite de poder secarlos adecuadamente durante la época evaporación neta máxima. Si tuviera que removerlos mojados (por ser demasiado profundos para secar) con otros métodos discutidos adelante, el costo de remoción subiría significativamente. Todos los diseños de lagunas y los manuales de operación deben incluir planes detallados para la remoción de lodos, tomando en cuenta las condiciones meteorológicas locales.

#### **h) Impactos Ambientales del proyecto**

El contratista debe desarrollar un programa de higiene ocupacional que incluye el lavado higiénico de equipo pesado, herramientas, botas y ropa de trabajadores para proteger la salud pública y evitar la transmisión de enfermedades relacionadas a excrementos, especialmente las de helmintos intestinales.

**Foto 4.4. Ejemplo de lodos secos que se están almacenando en zonas especiales reservados para ellos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Por el riesgo de los huevos de helmintos, los lodos deben ser almacenados por lo menos un año y, antes de cualquier uso o disposición final, analizados por huevos viables de helmintos. (Planta de Tratamiento de San Juan Comalapa, Guatemala)**



**Fuente Laguna de Estabilización en Honduras, Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo Y Sostenibilidad.**

### **h) Impactos Ambientales del proyecto**

El contratista debe desarrollar un programa de higiene ocupacional que incluye el lavado higiénico de equipo pesado, herramientas, botas y ropa de trabajadores para proteger la salud pública y evitar la transmisión de enfermedades relacionadas a excrementos, especialmente las de helmintos intestinales.

**Foto 4.4.** Ejemplo de lodos secos que se están almacenando en zonas especiales reservados para ellos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Por el riesgo de los huevos de helmintos, los lodos deben ser almacenados por lo menos un año y, antes de cualquier uso o disposición final, analizados por huevos viables de helmintos.



## CONCLUSIONES

- Los estudios preliminares, como las condiciones climáticas y estudios de batimetría nos permite realizar un mejor planeamiento del tratamiento a seguir y estimar el tiempo requerido para el secado de los lodos.
- Los parámetros de los lodos de aguas residuales son la base necesaria para la instalación de plantas de tratamiento de lodos, nos proporciona indicaciones necesarias para el diseño sobre las proporciones orgánicas existentes en el lodo, el comportamiento de sedimentación, capacidad de deshidratación y valor del calor producido en el lodo.
- Para que el tratamiento sea sostenible, es necesario planear desde el principio del diseño de sistema y continuamente durante su operación. Como objetivos la remoción de lodos debe minimizar costos, proteger la salud pública y el medio ambiente, permitir el funcionamiento adecuado del sistema durante el período de limpieza, y dar una solución adecuada para la disposición final de los lodos
- El retiro con maquinaria de los lodos ya desecados puede traer como resultados el deterioro de la impermeabilización del fondo.
- En caso que el retiro de los lodos desecados sea a mano se deben tomar medidas para proteger al personal.
- El retiro a mano evita el posible deterioro de la impermeabilización. Previo al retiro a mano de los lodos se debe realizar ensayos de huevos de helmintos.

## CONCLUSIONES

- La forma de retiro de los lodos y las consecuencias que esto conlleva es una labor que se debe tener muy presente en el momento de elaborar el diseño del PTAR.
- Las condiciones climáticas deben analizarse con detenimiento para estimar el tiempo requerido para el secado de los lodos.
- El retiro con maquinaria de los lodos ya desecados puede traer como resultados el deterioro de la impermeabilización del fondo.
- En caso que el retiro de los lodos desecados sea a mano se deben tomar medidas para proteger al personal.
- El retiro a mano evita el posible deterioro de la impermeabilización.
- Previo al retiro a mano de los lodos se debe realiz3r ensayos de huevos de helmintos.

## RECOMENDACIONES

- Cuando cada laguna ha llegado a su límite de acumulación de lodos, se recomienda drenar las lagunas y desviar el afluente a las lagunas de limpieza por un período máximo de 2 a 3 meses. Esto se justifica, debido a que el volumen de las lagunas de limpieza es igual del volumen de las facultativas y, por lo tanto, el funcionamiento de ellas deben ser parecidos a las lagunas facultativas.
- El Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma OS.090, nos ayuda a complementar información para planificar el tipo de tratamiento de lodo, y conocer cual puede ser la aplicación final de los lodos en el terreno.
- Las lagunas pueden ser drenadas utilizando un sifón en una esquina del lado de la descarga del efluente; si no existe suficiente carga para utilizar un sifón, se puede utilizar una bomba.
- Se debe utilizar un tractor agrícola con arado o barrena horizontal para esparcir los lodos por todo el área del fondo de la laguna. También, se debe voltear los lodos cada cierto tiempo para maximizar el valor de  $k_d$ .
- Por los huevos de helmintos, los lodos deben ser almacenados por lo menos un año, y antes de cualquier uso o disposición final, analizados por huevos viables de helmintos según las Normas Microbiológicas de la OMS de la calidad de Lodos.

## RECOMENDACIONES

- Cuando cada laguna ha llegado a su límite de acumulación de lodos, se recomienda drenar las lagunas **y** desviar el afluente a las lagunas de limpieza por un período máximo de 2 a 3 meses. Esto se justifica, debido a que el volumen de las lagunas de limpieza es igual del volumen de las facultativas **y**, por lo tanto, el funcionamiento de ellas deben ser parecidos a las lagunas facultativas.
- Las lagunas pueden ser drenadas utilizando un sifón en una esquina del lado de la descarga del efluente; si no existe suficiente carga para utilizar un sifón, se puede utilizar una bomba.
- Se debe utilizar un tractor agrícola con arado o barrena horizontal para esparcir los lodos por todo el área del fondo de la laguna. También, se debe voltear los lodos cada cierto tiempo para maximizar el valor de  $k_e$ .
- Por los huevos de helmintos los huevos deben ser almacenados por lo menos un año, **y** antes de cualquier uso o disposición final, analizados por huevos viables de helmintos

## BIBLIOGRAFIA

1. Arceivala, S. J., et al. Waste Stabilization Ponds: Design, Construction & Operation in India, Central Public Health Engineering Research Institute, Nagpur, India, 1970.
2. Carranza, G., Selección Apropriadada de Tecnologías de Tratamiento para Aguas Residuales Domésticas, Tesis presentada a la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, Guatemala, 1997.
3. CEPIS/OPS (Centro Panamericano para Ingeniería Sanitaria/Organización Panamericana de la Salud), Regional Project, Integrated Systems for the Treatment and Recycling of Waste Water in Latin America: Reality and Potential, Lima, 2000.
4. Cubillos, A., Lagunas de Estabilización, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Mérida, Venezuela, 1994.
5. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Manual de Tratamiento de Aguas Negras, Editorial LUMUSA, México, 1993.
6. ECOMAC, Informes de Monitoreo: Lagunas de Estabilización en Honduras, (11 Volúmenes) Proyecto Monitoreo de Sistemas de Estabilización de Tratamiento de Aguas Negras, Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos), Mobile District, Tegucigalpa, 2004.
7. Egocheaga, L y Moscoso, J. Una Estrategia para la Gestión de las Aguas Residuales Domésticas, CEPIS/OPS, Lima, 2004.
8. Franci, R (Coordenação), Gerenciamento do Lodo de Lagoas de Estabilização Não Mecanizadas, Rede Cooperativa de Pesquisas, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
9. Hammeken Arana, A. M., Romero García, E. 2005. 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
10. León, G y Moscoso, J., Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales, CEPIS, OPS/OMS, PUB96.20, Lima, Perú, 1996.

11. Mara, D. and Cairncross, S., Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture, World Health Organization, Geneva, 1989.
12. Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, Fourth Edition, McGraw-Hill, New York, 2003.
13. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma de Saneamiento OS.090, Lima, Perú, 2006
14. MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transportes), Depuración por Lagunaje de Aguas Residuales: Manual de Operadores, Monografías de la Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, España, 1991.
15. Oakley, S. M., Manual de Diseño, Operación y Mantenimiento para Lagunas de Estabilización en Centroamérica, AIDIS/AGISA, ERIS/USAC, INFOM, UNICEF, OPS/OMS, CARE, Guatemala, 1998.
16. Oakley, S. M. Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras: Las Experiencias de Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala, Red Regional de Agua y Saneamiento de Centro América (RRAS-CA), Tegucigalpa, Honduras, Agosto, 1998.
17. Rolim, S., Sistemas de Lagunas de Estabilización, McGraw-Hill, Bogotá, 2000.
18. Salazar, D., Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales, Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCNSIGMA), Guatemala, 2003.
19. U.S. EPA, Design Manual: Dewatering Municipal Wastewater Sludges, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-625/1-87/014, Cincinnati, Ohio, 1987.
20. Yáñez, F., Lagunas de Estabilización: Teoría, Diseño, Evaluación, y Mantenimiento, Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, Ministerio de Salud Pública, Quito, Ecuador, 1992.

## **ANEXO 01**

# **RESULTADOS DE PROGRAMA DE MONITOREO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN HONDURAS**

### **CAPITULO 1: SELECCIÓN DE PROCESOS, DISEÑO FISICO, y ESPECIFICACIONES TECNICAS**

#### **A. Selección de Procesos**

Tomar las previsiones necesarias para las futuras ampliaciones de las plantas y para el secado de los lodos, aprovechando la ley de ordenamiento territorial, para evitar que existan futuras urbanizaciones en las zonas adyacentes.

Que se realicen los estudios geológicos y se hagan las pruebas de infiltración para cada diseño, pruebas de suelo, bancos de oréstamo y distancias de acarreo.

Considerar las posibilidades para que las aguas del efluente sean utilizadas para el re-uso, especialmente en el riego, considerando el cumplimiento con las normas de calidad de agua para riego (OPS). Esto debe observarse como alternativa desde la fase de diseño.

Contemplar que las estructuras de salida de las lagunas tengan un diseño que permitan el vaciado completo de la laguna, como una alternativa de secado de lodos.

A partir de los lodos extraídos, desarrollar condiciones de espacio para la producción de compost.

Cuando se hagan los diseños se debe considerar la construcción de un vertedor de exceso de caudal para evitar la sobrecarga de las lagunas en épocas de altas precipitaciones pluviales.

Normar los procesos de diseño, a fin que se proceda a realizar revisiones de los mismos (Implementar una oficina especializada de tratamiento de aguas

dentro de SANAA o ente regulador la responsabilidad de sistematizar los diseños.)

Reglamentar el pago de las inversiones fuera de sitio al momento de análisis de tarifas o cálculos de recuperación de la inversión, con esto se protege además la sostenibilidad de las acciones de operación y mantenimiento.

Investigación e identificación de los efluentes de las industrias, de forma que estas establezcan un pretratamiento respetando las normas de calidad de descargas en alcantarillado sanitario; con esto se garantiza que estos efluentes no inhiban el tratamiento biológico en las lagunas.

## **B. Diseño Físico**

Reglamentar las conexiones ilícitas, la investigación de aguas lluvias y la caracterización de industrias.

Considerar la construcción de obra de medición de caudal, rejilla y desarenador, garantizando la operación diaria de la laguna con personal entrenado.

Mantener en el cargo al personal de operación, sin que sean afectados por aspectos políticos.

Se debe considerar la medición de caudales a la entrada y salida, para el concluir sobre el balance hídrico en la laguna.

Investigación de las condiciones climatológicas, considerando la precipitación, radiación solar, temperatura, velocidad y dirección del viento.

El periodo de retención en las lagunas facultativas sea de 10 días como mínimo, teniendo como referencia la remoción de patógenos especialmente helmintos.

Cuando no se disponga de terreno para expansión de tratamiento, se debe optar por lagunas aireadas, a manera de una transición tecnológica, considerando el aspecto de decantación de sólidos posterior a la aeración.

Antes del diseño, practicar una evaluación ambiental para cada proyecto implicando las condiciones socioeconómicas del lugar.

Poner especial atención en la construcción de taludes, corona y rampas de acceso para remoción de lodos.

Construir la caseta de vigilancia con todos los servicios y equipo necesario para el desarrollo del trabajo; esta debe estar estratégicamente ubicada dependiendo del tipo de lagunas operadas.

En cuanto al manejo de natas, es muy importante se considere la distancia del punto de deposición final y un equipo de traslado que reduzca el esfuerzo físico del operador.

Considerar el crecimiento de la población y el desarrollo de la comunidad, para optimizar la selección de procesos de tratamiento.

Para futuros diseños se recomienda que los procesos mínimos sea de dos módulos paralelos con entradas múltiples y cada uno con dos unidades en serie ideal tres.

El tiempo de retención mínimo será de tres días para lagunas anaeróbicas.

Considerar aspectos paisajísticos en los alrededores de las obras.

### **C. Especificaciones Técnicas**

Que se revisen las normas y que se agregue el indicador de eficiencia de remoción de helmintos

Revisar el límite de coliforme fecal.

Que se certifiquen los laboratorios de análisis de calidad de agua

Que se definan los parámetros de control de procesos y se establezca la frecuencia y metodología de análisis del laboratorio.

Integrar un grupo interdisciplinario para la creación de las normas.

Estandarizar los procesos del muestreo y monitoreo

El diseño, y construcción deberán ser realizados con todas las especificaciones y por personal especializado.

## **CAPITULO 11: PATÓGENOS INDICADORES Y NORMAS**

### **A. Propuesta para Patógenos Indicadores**

La propuesta del grupo esta encaminada a que se realicen los análisis de los patógenos *Streptococos fecalis* y *Cryptosporidium* spp. por las siguientes razones:

1. Ambos grupos están normalizados por organizaciones de carácter internacional como la Organización Mundial de la Salud (OMS)
2. Los análisis son fáciles de realizar y los costos son bajos.

Adicionalmente, se propone que se realice un Estudio Epidemiológico detallado de los Patógenos existentes en un sistema de tratamiento (lagunas de estabilización) en el ámbito nacional y determinar cual de ellos es el que presenta mayor incidencia y realizar las respectivas caracterizaciones de los cuerpos receptores

Tomando en cuenta que una de las limitantes existentes en el país es la falta de equipo de laboratorio especializado, el grupo somete a consideración de los organizadores del evento la inquietud de solicitar a un organismo internacional, en este caso AID, la donación de un equipo para la investigación de protozoarios patógenos, tanto para la zona norte como para la zona central mediante un convenio de asistencia del laboratorio receptor (personal capacitado, realización de análisis y monitoreo, resultados, etc) y ente donador (equipo, insumos, etc) por tiempo determinado.

### **B. Normas**

Revisión de la Norma Actual para definir los parámetros y sus valores máximos permisibles según el tipo de descarga (industrial y doméstico).

Caracterizar el cuerpo receptor

Agilizar la aprobación propuesta de la Norma Técnica para el re-uso de las aguas.

Estandarizar los métodos de muestreo y análisis  
Incluir dentro de la Norma Técnica la estandarización anterior  
Revisión periódica de la Norma Técnica, por lo menos cada 5 años

## **CAPITULO 111: SUSTENTABILIDAD**

### **A. Aspectos Financieros**

#### **Prefactibilidad**

En esta etapa se deben considerar:

- 1) Cálculo de la relación costo beneficio.
- 2) Gestión financiera.
- 3) Estudios de línea de base (determinar impactos sociales y calidad de vida).

Fortalecer la capacidad de las municipalidades en el aspecto del manejo administrativo y técnica de las direcciones que manejan los sistemas de servicios públicos. Esto permitirá crear las plataformas de información, planificación y gestión por parte de los técnicos involucrados además de conciencia y responsabilidad.

Los diseños de las plantas de tratamiento deberán ser de acuerdo a las capacidades instaladas en el gobierno local y la capacidad de los que serán responsables de la operación y mantenimiento de los sistemas. Esto prevendrá improvisaciones y futuras consecuencias negativas e inversiones muertas.

Descentralización de la prestación de los servicios es una alternativa que asegura el mantenimiento de los sistemas.

### **B. Acciones Operativas**

Diseñar, preparar y validar manuales de operación de operación y mantenimiento para cada proyecto y las propiedades de cada medio ambiente y gobierno local en el que se inserta el proyecto.

Manual de operación

Manual de mantenimiento

Manual de seguridad e higiene

Manual de contingencias

## **Características de los manuales, del operador y registros:**

### **Manuales:**

Deben ser altamente descriptivos, ilustrados, con lenguaje sencillo, gráficos, atractivos y que puedan ser utilizados en el campo.

### **Perfil del operador directo:**

El operador de los sistemas debe tener mínimo una formación de educación primaria (preferiblemente secundaria) y que posea un agudo sentido común y agilidad de acción en la resolución de problemas y contingencias.

### **Libro de registro:**

Debe existir un libro de registro de todas las actividades administrativas y técnicas, problemas y contingencias diarias que permitan registrar los eventos para poder modificar la planificación de corto plazo y conocer los sucesos de monitoreo y operación que dan paso al buen funcionamiento de la planta de tratamiento. En caso de tener problemas, estos se registrarán permitiendo la implementación de acciones correctivas en tiempo real. También favorece el análisis estadístico por parte del ingeniero responsable del sistema, para determinar parámetros de seguimiento y monitoreo.

## **C. Consideraciones Ambientales**

Hecho : Las plantas de tratamiento en sí mismas ya son una medida de mitigación de las ciudades en procura de tener un mejor ambiente.

Supuestos : La sustentabilidad ambiental es un efecto secundario del desarrollo de actividades financieras y operativas; por ende, este componente de sustentabilidad estará sujeto a las acciones de planificación y regulación oportunas.

#### **D. Factibilidad Ambiental:**

La municipalidad deberá desarrollar estudios previos a la construcción de la obra para viabilizar el sistema de acuerdo al marco jurídico regulatorio de la SERNA y otros entes normadores institucionales. Esta actividad podrá ser financiada y coordinada por el organismo ejecutor o la municipalidad con financiamiento externo.

La factibilidad ambiental depende de las características físicas, biológicas y susceptibilidad a desastres naturales. El estudio previo determinará el sitio ideal para poder ejecutar una obra de bajo impacto, que sea sustentable y evitando problemas legales.

#### **E. Construcción**

La supervisión encargada de la obra debe ser estricta en el cumplimiento de las medidas de mitigación por parte de la municipalidad.

La municipalidad deberá supervisar la implementación del plan de seguridad e higiene en el sitio de la construcción, particularmente en lo que respecta a la seguridad de los trabajadores del contratista.

La construcción deberá llevar a cabo las especificaciones técnicas de construcción a fin tener obras seguras y estandarizadas.

#### **F. Evaluación y Monitoreo**

Monitorear el proceso de mantenimiento y operación a través del cumplimiento de manual de operación y mantenimiento (reglamento y/o ordenanzas).

Medición de parámetros de calidad integral ambiental mediante protocolos validados y certificados de los afluentes y efluentes, controlando y regulando su calidad sobre la base de normas ya establecidas para la nación.

Monitoreo de la biodiversidad que coloniza el sistema y sus impactos adversos. Este diagnostico será la base de las decisiones de manejo de aquellas poblaciones que son adversas para la sustentabilidad del sistema de tratamiento.

Establecer convenios de cooperación interinstitucional para llevar a cabo el monitoreo de calidad integral.

Planificar y ejecutar reuniones periódicas entre las municipalidades que manejan plantas de tratamiento para transferencias de información y generar economías de escala.

Tomar muy en consideración que la capacitación es un eje transversal en todas las modalidades de sustentabilidad, en su orientación a los diferentes niveles de administración y operatividad, en las instituciones ejecutoras como en el ámbito municipal.

## ANEXO 02

# TÉCNICA PARA LA DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTOS

### 1. Objetivo

Determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

### 2. Campo de aplicación

Es aplicable para la cuantificación de huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes de plantas de tratamiento.

### 3. Definiciones

3.1. Helminto: término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados.

3.2. Plathelminetos: gusano dorsoventralmente aplanado, algunos de interés médico son: taenia solium, hymenolepis nana e 11.diminuta, entre otros.

3.3. Nematelminetos: gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: Ascaris lumbricoides, Toxocara canis, Enterobius vermicularis y Trichuris trichiura, entre otros.

3.4. Método difásico: técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y donde las partículas (huevos, detritus), se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

3.5. Método de flotación: técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de soluciones cuya densidad es mayor. Por ejemplo la densidad de huevos de helminto se encuentra entre 1.05 a 1.18, mientras que los de flotación se sitúan entre 1.1 a 1.4.

#### 4. Fundamento

Utiliza la combinación de los principios del método difásica y del método de flotación, obteniendo un rendimiento de un 90%, a partir de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de áscaris.

#### 5. Equipo

- Centrifuga: con intervalos de operación de 1,000 a 2,500 r.p.m.
- Periodos de operación de 1 a 3 minutos
- Temperatura de operación 20 a 28 °C
- Bomba de vacío: adaptada para control de velocidad de succión 1/3 hp
- Microscopio óptico: con iluminación Koheler
- Aumentos de 10 a 100 ; planta móvil; sistema de microfotografía
- Agitador de tubos: automático, adaptable con control de velocidad
- Parrilla eléctrica: con agitación
- Hidrómetro: con intervalo de medición de 1.1 a 1.4 g/cm<sup>3</sup>
- Temperatura de operación: 0 a 4 °C

#### 6. Reactivos

- Sulfato de zinc heptahidratado
- Ácido sulfúrico
- Éter etílico
- Etanol
- Agua destilada
- Formaldehído

##### 6.1. Sulfato de zinc heptahidratado

- Fórmula
- Sulfato de zinc 800 g
- Agua destilada 1,000 ml

## PREPARACION

Disolver 800 g de sulfato de zinc en 1,000 ml de agua destilada y agitar en la parrilla eléctrica hasta homogeneizar, medir la densidad con hidrómetro. Para lograr la densidad deseada agregar reactivo o agua, según sea el caso.

### 6.2. Solución alcohol-ácido

- Fórmula
- Acido sulfúrico 0.1 N 650 ml
- Etanol 350 ml

## PREPARACION

Homogeneizar 650 ml de ácido sulfúrico al 0.1 N, con 350 ml del etanol para obtener un litro de la solución alcohol-ácida. Almacenarla en recipiente hermético.

## 7. Material

- Garrafrones de 8 litros
- Tamiz N° 100 de (160  $\mu$ ) de poro
- Probetas graduadas (1 litro y 50 ml)
- Gradillas para tubos de centrifuga de 50 ml
- Pipetas de 10ml de plástico
- Aplicadores de madera
- Beaker de dos litros
- Guantes de plástico
- Beaker de un litro
- Propipetas

- Magneto
- Cámara de conteo Doncaster
- Celda Sedgwich-Rafter

## **8. Condiciones de la Muestra**

1. Se transportarán al laboratorio en hieleras con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo.
2. Los tiempos de conservación en refrigeración y transporte deben reducirse al mínimo.
3. Si no es posible refrigerar la muestra líquida, debe fijarse con 10 ml de formaldehído al 4% o procesarse dentro de las 48 horas de su toma.
4. Una muestra sólida debe refrigerarse y procesarse en el menor tiempo posible.

## **9. Interferencias**

La sobreposición de estructuras y/o del detritus no eliminado en el sedimento, puede dificultar su lectura, en especial cuando se trata de muestras de lodo. En tal caso, es importante dividir el volumen en alícuotas que se consideren adecuadas.

## **10. Precauciones**

1. Durante el procesado de la muestra, el analista debe utilizar guantes de plástico para evitar riesgo de infección.
2. Lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista.

## 11. Procedimiento

### 1. Muestreo

- a. Preparar recipientes de 8 litros, desinfectándolos con cloro, enjuagándolos con agua potable a chorro y con agua destilada.
- b. Tomar 5 litros de la muestra (ya sea del afluente o del efluente)
- c. En el caso de que la muestra se trate de lodo, preparar en las mismas condiciones recipientes de plástico de 1 litro con boca ancha.
- d. Tomar X gramos de materia fresca (húmeda) que corresponda a 10 g de materia seca.

### 2. Concentrado y centrifugado de la muestra

- a) La muestra se deja sedimentar durante tres horas o toda la noche
- b) El sobrenadante se aspira por vacío sin agitar el sedimento.
- c) Filtrar el sedimento sobre un tamiz de N° 100 de (160  $\mu$ ), enjuagando también el recipiente donde se encontraba originalmente la muestra y lavar enseguida con 5 litros de agua (potable o destilada).
- d) Recibir el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros.
- e) En caso de tratarse de lodos, la muestra se filtrará y enjuagará en las mismas condiciones iniciando a partir del inciso c.
- f) Dejar sedimentar durante tres horas o toda la noche.
- g) Aspirar el sobrenadante al máximo y depositar el sedimento en una botella de centrífuga de 250 ml, incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente de 8 litros.
- h) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 a 2,000 rpm por 3 minutos, según la centrífuga).
- i) Decantar el sobrenadante por vacío (asegurarse de que exista la pastilla) y resuspender la pastilla en 150 ml de ZnSO<sub>4</sub> con una densidad de 1.3.
- j) Homogeneizar la pastilla con el agitador automático, o aplicador de madera.
- k) Centrifugar a 400 g por tres minutos (1,400 a 2,000 rpm por 3 minutos)

- 1) Recuperar el sobrenadante vertiéndolo en un frasco de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada.
- m) Dejar sedimentar por 3 horas o toda la noche.
- n) Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitado, verter el líquido resultante en 2 tubos de centrífuga de 50 ml y lavar de 2 a 3 veces con agua destilada el recipiente de 2 litros.
- o) Centrifugar a 480 g por 3 minutos (2,000 a 2,500 rpm por 3 minutos según la centrífuga)
- p) Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 40 g por minutos (2,000 a 2,500 rpm por 3 minutos)
- q) Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido ( $H_2SO_4$  0.1 N) +  $C_2H_5OH$  a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.
- r) Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
- s) Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500 a 3,000 rpm por 3 minutos, según la centrífuga)
- t) Aspirar al máximo el sobrenadante para dejar 1 ml de líquido, homogeneizar la pastilla y proceder a cuantificar.

### **3. Identificación y cuantificación de la muestra**

- a. Distribuir todo el sedimento en una celda de Sedgwich - Rafter o bien en una cámara de conteo Doncaster.
- b. Realizar un barrido total al microscopio.

**ANEXO 03****PRESUPUESTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO****Costos de Operación**

El Presupuesto para realizar el tratamiento de lodos comprende :

- Medición mensual de profundidad de lodos ( batimetría)
- Maquinaria para esparcir lodos periódicamente
- Remoción de lodos con maquinaria
- Análisis de laboratorios (3 muestras)
- Análisis de Huevos de Helminos (2 muestras por lagunas en serie)
- Porcentajes de Gastos Generales y Utilidad
- El Impuesto General a las ventas (I.G.V.)

Item	Descripción	Und.	Cant.	P.U (S/.)	Costo total SI.
<b>1.0</b>	<b>Trabajos de Mantenimiento</b>				<b>4,500</b>
1.1	Medición cada 6 meses de la profundidad de lodos (batimetría)	Glb	1	4,500	4,500
<b>2.0</b>	<b>Trabajos de Limpieza</b>				<b>30,752.40</b>
2.1	Maquinaria para esparcir lodos periódicamente	m <sup>3</sup>	3661	4.00	14,644.00
2.2	Remoción de lodos con maquinaria	m <sup>3</sup>	3661	4.40	16,108.40
<b>3.0</b>	<b>Análisis de Laboratorios</b>				<b>541.00</b>
3.1	Sólidos Volátiles	Glb	6	19.50	117.00
3.2	Sólidos Fijos	Glb	6	19.50	117.00
3.3	Sólidos Totales	Glb	6	19.50	117.00
3.4	Huevos de helmintos	Glb	4	47.50	190.00
	<b>Costo Directo</b>				<b>35,793.40</b>
	Gastos Generales y Utilidad (10%)				<b>3,579.34</b>
	I.G.V. (19 %)				<b>6,800.75</b>
<b>TOTALES</b>					<b>46,173.49</b>

Entonces el valor del Lodo tratado como fertilizante sería de S/.12.61 x m<sup>3</sup>

ANEXO 4

PLANOS