

21  
2cy.



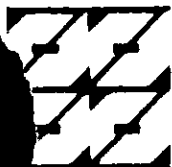
# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

"ESTABILIZACION TERMICA-ALCALINA DE LODOS QUIMICOS Y BIOLÓGICOS PARA LA PRODUCCION DE BIOSOLIDOS"

T E S I S  
PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
YIRLA ELENA HERNANDEZ PEREZ

U N A M  
F E S  
Z A R A G O Z A



LE HONRADO EJE  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO

ASESOR: M. EN B. RAFAEL GERMAN CAMPOS MONTIEL

MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1998  
263494



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
\*ZARAGOZA\*  
JEFATURA DE INGENIERIA QUIMICA  
OFICIO: 082/012/98



*C. Yirla Elena Hernández Pérez*  
Presente

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

*Presidente: I.Q. Miguel José Flores Galaz*  
*Vocal: M. en B. Rafael Germán Campos Montiel*  
*Secretario: M. en C. A. Lourdes Castillo Granada*  
*Suplente: I.Q. Gonzalo Rafael Coello García*  
*Suplente: I.Q. Arturo Enrique Méndez Gutiérrez*

ATENTAMENTE  
"LO HUMANO EJE DE NUESTRA REFLEXION"  
México, D.F., 23 de Marzo de 1998

I.Q. Magín Enrique Juárez Villar  
Jefe de la Carrera

Irm

## **DEDICATORIAS**

**A DIOS PORQUE EN TODAS LAS COSAS FUE ENRIQUECIDA EN EL, EN TODA PALABRA Y TODA CIENCIA.**

**A MIS PADRES QUIENES ME BRINDARON NO SOLO EL SER SINO SU AMOR, TERNURA Y APOYO INCONDICIONAL MI TRIBUTO HACIA ELLOS, ES EL PROPOSITO DE ESFORZARME SIEMPRE PARA SER CADA DIA MEJOR.**

**JOSE LUIS HERNANDEZ SALAZAR.**

**MARIA ELENA PEREZ DE HERNANDEZ.**

**A MIS HERMANOS LUIS ALBERTO, NUBIA GISELA Y NELLY GABRIELA POR SER EN TODO MOMENTO, EL SIGNO DE LA AMISTAD, EL EJE DE LA FRATERNIDAD Y EL ANGULO DE LA SOLIDARIDAD.**

**A LOS SERES MAS ABNEGADOS QUE CON SU ESPIRITU DE LUCHA ME DEJARON UN AMPLIO CAMINO PARA PODER TRIUNFAR**

**A MIS ABUELITOS RAFAEL PEREZ Y CATHY CARRASCO.**

**A MI ASESOR POR EL INMENSO APOYO, LOS CONOCIMIENTOS TRANSMITIDOS Y SU SUPERVISION PARA LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.**

**GRACIAS POR SU AMISTAD INCONDICIONAL Y EL TIEMPO DEDICADO.**

**M. EN B. RAFAEL GERMAN CAMPOS MONTIEL.**

**A MIS AMISTADES DENTRO DE LA FACULTAD, EN MI ACTUAL TRABAJO, Y EN LA VIDA PERSONAL; A TODOS USTEDES MI AGRADECIMIENTO POR SU APOYO.**

### **A LOS AQUÍ MENCIONADOS:**

**POR QUE EL ESTAR ENTRE PERSONAS QUERIDAS ES MAS QUE SUFICIENTE. HABLAR O SOÑAR JUNTOS, NO HABLAR SIQUIERA.**

**TRATAR COSAS INTERESANTES O INDIFERENTES, PENSAR EN ELLAS O EN LAS OTRAS.**

**TODO ES IGUAL, CON TAL DE COMPARTIR LA VIDA SIEMPRE EN UNIDAD, RESPETO Y AMOR.**

**GRACIAS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**A MI SEGUNDA CASA, LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

## INDICE.

	PAG.
OBJETIVOS.	1A
HIPOTESIS.	1A
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.	1-36
CAPITULO 2. LEGISLACIÓN.	37-43
CAPITULO 3. METODOLOGÍA.	44-51
CAPITULO 4. RESULTADOS.	52-59
CAPITULO 5. ANÁLISIS DE COSTOS DE PROCESO.	60-70
CAPITULO 6. CONCLUSIONES.	71
CAPITULO 7. ANEXOS	72
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	83

## CONTENIDO.

OBJETIVOS.

HIPOTESIS.

CAPITULO 1.	INTRODUCCIÓN.	PAG.
1.1. Generalidades.		1
1.1.1. Problemática.		2
1.2. Opciones de tratamiento del agua residual de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco.		3
1.3. ¿Qué es el lodo?		7
1.4. Clasificación del lodo.		8
1.4.1. Lodos industriales, municipales y mixtos.		8
1.4.2. Lodos primarios, biológicos y químicos.		9
1.5. Propiedades del lodo.		12
1.5.1. Estructura física.		12
1.5.2. Propiedades físicas.		12
1.5.3. Propiedades químicas.		18
1.5.4. Propiedades biológicas.		20
1.6. Tipos de eliminación de bacterias patógenas.		22
1.7. Formas de estabilización.		23
1.8. Estabilización alcalina.		27
1.9. Disposición de los lodos.		34

## CAPITULO 2. LEGISLACIÓN.

2.1. Normatividad en México.	37
2.2. Requerimientos para aplicar los biosólidos en el suelo como fertilizantes.	38
2.3. Límites de contaminantes.	40
2.4. Reducción de patógenos.	41
2.5. Normatividad referida a vectores de atracción.	42
2.6. Restricciones de aplicación de los biosólidos.	43

## CAPITULO 3. METODOLOGÍA.

3.1. Descripción del proceso en general para la obtención del lodo.	44
3.1.2. Obtención del lodo.	44
3.2. Caracterización.	45
3.2.1. Descripción de las técnicas.	46
3.2.2. Caracterización física.	46
3.2.3. Caracterización química.	47
3.2.4. Caracterización microbiológica.	49
3.3. Desaguado.	50
3.4. Estabilización.	51

## CAPITULO 4. RESULTADOS.

4.1. Caracterización de los lodos. (Lodos químicos).	52
4.2. Estabilización química.	53
4.3. Caracterización de los lodos. (Lodos biológicos).	56
4.4. Estabilización química.	58



## CAPITULO 5.

## ANALISIS DE COSTOS DE PROCESO.

5.1. Introducción.	60
5.2. Tratamiento Primario Avanzado (TPA).	60
5.2.1. Breve descripción del proceso.	60
5.2.2. Diagrama de bloques por etapas y balance de masa de cada etapa.	62
5.2.3. Diagrama de Flujo de Proceso (D.F.P.).	63
5.2.4. Análisis de costos de proceso para la estabilización de lodo.	64
5.3. Sistema biológico (lodos activados).	65
5.3.1. Breve descripción del proceso.	65
5.3.2. Diagrama de bloques por etapas y balance de masa de cada etapa.	66
5.3.3. Diagrama de Flujo de Proceso (D.F.P.).	67
5.3.4. Análisis de costos de proceso para la estabilización de lodo.	68
5.4. Descripción del dimensionamiento de equipo para el TPA.	69
5.5. Descripción del dimensionamiento de equipo del sistema biológico.	70

## CAPITULO 6.

## CONCLUSIONES.

6.1. Conclusiones.	71
--------------------	----

## CAPITULO 7.

## ANEXOS

7.1. Anexo 1. Caracterización del lodo químico.	72
7.2. Anexo 2. Media y desviación estándar del lodo químico.	73
7.3. Anexo 3. Caracterización del lodo biológico.	74
7.4. Anexo 4. Media y desviación estándar del lodo biológico.	75
7.5. Anexo 5. Metales pesados del lodo químico y biológico.	76
7.6. Anexo 6. Memorias de calculo del balance de masa del lodo químico.	77-78
7.7. Anexo 7. Memorias de calculo del balance de masa del lodo biológico.	79-80
7.8. Anexo 8. Memorias de calculo del dimensionamiento de equipo para el proceso fisico - químico.	81
7.9. Anexo 9. Memorias de calculo del dimensionamiento de equipo para el sistema biológico.	82

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Referencias bibliográficas.	83
-----------------------------	----

## RESUMEN.

En el tratamiento de las aguas residuales se produce un subproducto denominado lodo, el cual está constituido de partículas sedimentables (compuestos orgánicos, inorgánicos y microorganismos), que si no son tratados causan problemas ambientales, principalmente en la salud. En la actualidad el tren de tratamiento depende del contenido de metales pesados (MP) y/o sustancias tóxicas (ST). Si contienen MP y/o ST se recomienda la incineración, en el caso contrario la mejor opción es el reuso como aditivos de suelos. En esta tesis se caracterizaron los lodos biológicos (LB) y los lodos químicos (LQ) obtenidos del tratamiento del agua residual de la Ciudad de Guadalajara, para determinar su posible reuso como mejorador de suelos, además; se trataron los lodos crudos (LB y LQ) con una ESTABILIZACIÓN TÉRMICA - ALCALINA para obtener biosólidos tipo "B" según el apartado 503 de la EPA.

Con los datos experimentales obtenidos se estimaron los costos de proceso así como el costo por m<sup>3</sup> de lodo tratado. Los resultados en la caracterización mostraron que los LB y LQ contenían niveles bajos de metales pesados, por lo que son, materia prima para la producción de biosólidos; pero, ambos presentaron un alto contenido de microorganismos patógenos. La estabilización térmica - alcalina redujo el contenido de microorganismos patógenos a niveles menores de  $2 \times 10^6$  (UFC/g de lodo seco) con la menor dosis de CaO (20% Peso seco de CaO/Peso seco de lodo). Los costos de proceso para una tonelada de lodo seco es aproximadamente de \$ 758,540.25 para el LB y de \$742,821.75 para el LQ al año, el costo del m<sup>3</sup> de lodo tratado es aproximadamente de \$ 11.11 al año.

Es importante mencionar que los lodos obtenidos de las aguas residuales de la Ciudad de Guadalajara se pueden tratar con una estabilización térmica - alcalina para la producción de biosólidos tipo "B".

## **OBJETIVOS.**

### **Objetivo General.**

En esta tesis se pretende caracterizar los lodos químicos y biológicos procedentes del tratamiento del agua residual de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco para determinar su posible reuso agrícola como biosólidos al estabilizarlos con diferentes dosis de óxido de calcio (CaO).

### **Objetivos Específicos.**

1. Caracterizar los lodos químicos y biológicos generados del tratamiento del agua residual de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco.
2. Determinar la tratabilidad de los lodos químicos y biológicos mediante la estabilización con óxido de calcio (CaO) por medio del método térmico - alcalino.

### **Hipótesis.**

Los posibles lodos producidos en el tratamiento del agua residual de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco se pueden considerar lodos municipales aunque su origen sea de aguas mixtas (municipal, industrial y pluvial).

Es necesario llevar a cabo una caracterización para posteriormente con una estabilización térmica - alcalina se puedan producir biosólidos a partir de los lodos obtenidos del tratamiento de las aguas residuales de la Cd. de Guadalajara, Jalisco.



# CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.



## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. Generalidades.

La zona metropolitana de Guadalajara, integrada por los municipios de Guadalajara, Tonalá y Zapopan, constituye el segundo núcleo urbano en población y extensión de México. Su pujante crecimiento se sustenta en una amplia infraestructura social, económica e industrial.

En las últimas décadas la población de la ciudad se ha multiplicado no solo por su dinámica interna sino también por el albergamiento a más de la mitad del Estado en los tres municipios; por lo que ha aumentado la demanda de servicios y satisfactores, el agua representa uno de los componentes primordiales.

Durante la segunda mitad del siglo, la región central de Jalisco ha experimentado la realización de grandes esfuerzos institucionales y de ingeniería para el manejo del agua.

La Ciudad de Guadalajara, Jalisco cuenta con 3,640,890 habitantes en la zona metropolitana la cual genera ( 10.8 m<sup>3</sup>/s ) de aguas residuales. En la actualidad es necesario que se lleve a cabo el saneamiento de las aguas residuales ya que México cuenta con escasos recursos acuíferos por lo que el reuso del agua residual es una prioridad nacional ( Comisión Nacional del Agua CNA, 1997 ).

Mediante pruebas de tratabilidad se determinaron dos opciones viables para tratar las aguas residuales de la Ciudad de Guadalajara, Jal. La primera es el tratamiento primario avanzado ( TPA ) que es un método fisicoquímico y la segunda el sistema biológico.

En el tratamiento de las aguas residuales se produce un subproducto llamado lodo; que son los sedimentos obtenidos del tratamiento de las aguas residuales; el cual por sus características químicas puede ser utilizado como mejorador de suelos cuando es transformado a biosólido.

En cuanto al tratamiento de los lodos una opción es la estabilización térmica - alcalina la cual conlleva un espesamiento, una deshidratación y una estabilización con CaO. Para la disposición de los lodos se considerará como una de las opciones más viables, Tempizque localizado a 500 m al norte de la planta con una superficie de 50 ha.

#### **1.1.1. Problemática.**

Las aguas de la ciudad han sido concesionadas a la Comisión Federal de Electricidad para la generación de electricidad en la planta hidroeléctrica Valentín Gómez Farias (Agua Prieta), la cual tiene una extensión de 73 ha y un flujo de 9 m<sup>3</sup>/s. La concesión comprende a la mayor parte del volumen de aguas residuales de la ciudad. Si se tratará toda el agua de esta planta se generaría una gran cantidad de lodos por lo que es necesario tratarlos para una posible disposición. Se estima que se generarán alrededor de 327 ton/día de lodo crudo mediante el tratamiento primario avanzado y 301 ton/día de lodo crudo producido mediante el sistema biológico ( Comisión Nacional del Agua CNA, 1997 ).

Los lodos sin tratar pueden causar problemas ambientales debido a su alto contenido de microorganismos patógenos y a los olores producidos por la descomposición de la materia orgánica.



Por otro lado los lodos tratados pueden producir biosólidos que al ser aplicados en el suelo mejoran sus características por su contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Las características de los lodos generados dependerán principalmente de las características del agua residual y del tipo de proceso utilizado para tratar el agua.

## **1.2. Opciones de tratamiento del agua residual de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco.**

Cualquier análisis para selección de un proceso de tratamiento debe recurrir al empleo de pruebas de tratabilidad.

En éstas se somete el efluente en cuestión a las operaciones y procesos unitarios propuestos con el objeto de medir la eficiencia alcanzada y evaluar la calidad del agua tratada. Los procesos más viables son el tratamiento primario avanzado y los lodos activados conocido como sistema biológico.

### **Tratamiento Primario Avanzado ( TPA ).**

El TPA es utilizado en varias plantas de gran capacidad. Los fundamentos teóricos del proceso primario avanzado tienen que ver con tres aspectos: a) La desestabilización de los sólidos suspendidos, b) La formación de flóculos y c) La eliminación de éstos de la suspensión. Los dos primeros aspectos están relacionados con la teoría de la coagulación - floculación y el tercero con el de la sedimentación.

Es necesario someter el agua a un tratamiento de coagulación - floculación para evaluar la calidad del agua obtenida en estos dos parámetros.

Las pruebas de jarras, es un proceso que simula la coagulación, ha sido la herramienta más común en el laboratorio para la selección de la dosis óptima de coagulante.

Estas pruebas también sirven como un modelo del proceso para evaluar varios parámetros de coagulación que hacerlos en planta no sería factible.

Los resultados de las pruebas de jarras sirven para determinar las condiciones óptimas de coagulación, el tiempo requerido para aplicar la primera dosis, la calidad del floculo y su velocidad de sedimentación, la calidad del sobrenadante en cuanto a claridad o color, la distribución del tamaño de partícula, las mediciones electrocinéticas, la filtrabilidad y la cantidad de lodos producidos.

El Tratamiento Primario Avanzado como ya se mencionó es la aplicación de la coagulación - floculación al tratamiento del agua residual. Es decir, es un proceso en el cual se añaden reactivos químicos al agua para eliminar sólidos suspendidos y materia orgánica evaluada como DBO total.

Este proceso es similar al proceso físico - químico que tiene más de 100 años de aplicación pero emplea e integra nuevos avances científicos y tecnológicos. Actualmente su aplicación ha retornado con dos fines: la eliminación del fósforo y la obtención de efluentes de calidad media a costos inferiores a los convencionales.

La Coagulación - Floculación es un proceso similar al proceso de sedimentación primaria, la diferencia principal es, que se añaden sustancias químicas: un coagulante ( cal, sulfato de aluminio, sales de hierro ) y un floculante ( diversos polímeros ). La adición de sales produce la coagulación de los sólidos en estado coloidal y la de polímeros acelera la sedimentación.

Mediante este sistema aumenta la cantidad de lodos con la adición de químicos que es necesario manejar, tratar y disponer. El nuevo auge del proceso se debe también al reconocimiento de que el costo del tratamiento debe ser acorde con la eficiencia deseada y aunque los avances en la síntesis de polímeros floculadores con altas eficiencias, ha logrado reducir su costo.

La diferencia entre el proceso físico - químico convencional y el primario avanzado es que en el primer caso se tienen remociones de SST entre 80 - 90%, DBO del orden del 50 - 80% y Coliformes Fecales hasta del 80%, como consecuencia de agregar dosis altas de coagulante. En el segundo caso se tienen remociones de SST entre 95 - 99%, DBO del orden del 70 - 85% y Coliformes Fecales hasta del 92%. Entre otras ventajas, el tratamiento primario avanzado tiene la capacidad de eliminar metales pesados como Pb, Zn, Cu y Cr en eficiencias del orden del 70% ( Comisión Nacional del Agua CNA, 1997 ).

En pruebas piloto se demostró que no es necesario contar con tanques específicos de coagulación y de floculación, y que se puede agregar el coagulante en una instalación con alta mezcla como puede ser un desarenador aerado y el floculante a la entrada del sedimentador.

En los últimos años han aparecido en el mercado diversas tecnologías patentadas que aplican este proceso.

Algunas mediante la adición de arena como lastre o el empleo de mantos de lodos logran hacer significativamente más compactas las unidades de tratamiento al emplear cargas hidráulicas en el sedimentador de hasta  $2880 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$  en el primer caso o  $1920 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$  en el segundo caso.

## **Sistema Biológico.**

El sistema biológico es representado por lodos activados de tasa estándar con sedimentación primaria.

El sistema biológico consiste de:

- Tratamiento preliminar, cuya principal función es la remoción de sólidos muy grandes (cribado) y de arenas y material abrasivo (desarenación). El cribado se realiza mediante rejillas de 2 cm de separación. La desarenación se realiza mediante flujo en canales de velocidad controlada.
- Sedimentación primaria, consiste en la eliminación de sólidos sedimentables en unidades de sección circular; como una parte de los sólidos es materia orgánica existe una remoción de sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno y fósforo.
- Cloración, consiste en la eliminación de organismos patógenos mediante la adición de cloro gas.

Reactor biológico de lodos activados tipo convencional, donde se mantiene una concentración elevada de microorganismos que consumen la materia orgánica soluble y forman flóculos que se adhieren a los sólidos suspendidos que no se retiraron en las etapas previas para sedimentarlos. Para el crecimiento de los organismos se requiere la adición de oxígeno, la cual se realiza mediante aeración con difusores.

Sedimentación secundaria. Es la unidad donde se separan los flóculos de la corriente principal de agua produciendo un líquido clarificado y una corriente de lodos. El sistema biológico añadido permite producir efluentes con baja concentración de materia orgánica y sólidos suspendidos ( 20 a 30 mg/L ).

En el sistema biológico se tienen remociones de SST entre el 95 - 97%, DBO del 87% y Coliformes Fecales del 85%.

### 1.3. Qué es el lodo ?

Del tratamiento de las aguas residuales se produce invariablemente desechos secundarios como producto de la separación que deben ser dispuestos de manera adecuada.

El residuo secundario lo constituyen los sólidos en suspensión que son conocidos como " lodos ".

Los lodos son una mezcla de partículas sólidas formados por compuestos inorgánicos y orgánicos, mezclados con agua y microorganismos que se obtienen durante el tratamiento de aguas residuales.

Los lodos están formados por un alto contenido de agua ( 95-99.5% ) y en ellos se concentra la mayor parte de la materia indeseable que es separada del agua residual, ya sea durante los procesos de separación física, biológica o por efecto de la precipitación química.

Se entiende por lodo doméstico aquél residuo sólido, semi-sólido o líquido que se genera en una planta de tratamiento de agua residual doméstica.

Incluye los desechos de los desnatadores, sedimentadores primarios y secundarios y del procesamiento de los lodos.

Los lodos provenientes de aguas municipales al ser tratados se transforman en biosólidos que se utilizan como mejoradores de suelos por su contenido de macronutrientes.

La aplicación de los lodos dependerá principalmente de su contenido de metales pesados y de microorganismos patógenos.

#### **1.4. Clasificación del lodo.**

##### **1.4.1. Los lodos se pueden clasificar principalmente por su procedencia en industriales, municipales y mixtos.**

Los lodos municipales son aquellos que se obtienen del tratamiento de las aguas residuales domésticas o municipales, que son generadas en zonas habitacionales, establecimientos comerciales e instalaciones similares, es decir, no contienen descargas importantes de origen industrial.

Los lodos industriales son aquellos generados de las aguas provenientes de las industrias.

Los lodos mixtos son una mezcla de lodos municipales e industriales.

De los lodos municipales y algunos mixtos se pueden producir biosólidos que son lodos estabilizados con bajo contenido de metales pesados.

**1.4.2. También los lodos pueden ser clasificados dependiendo del tratamiento del que surgieron en: primarios, secundarios y químicos.**

Los lodos primarios son los resultantes de procesos de separación sólido - líquido durante el tratamiento primario ( sedimentación, flotación ). Contienen partículas sólidas sedimentables, principalmente de naturaleza orgánica.

Las características y composición de los lodos primarios varían principalmente de acuerdo con las características del agua residual, también contienen arena que no fue retenida en las cámaras desarenadoras, microorganismos, materia orgánica y nutrientes como nitrógeno y fósforo.

Su tratamiento es normalmente más sencillo que el de los lodos secundarios y químicos, principalmente porque se obtienen mejores resultados cuando se espesan por gravedad y porque cuando se deshidratan por medios mecánicos requieren menos acondicionamiento ; forman una torta más seca y proporcionan una mejor captura de sólidos.

Los lodos secundarios, también conocidos como lodos biológicos, consisten predominantemente de la biomasa producida en exceso durante los procesos de tratamiento biológico y de material orgánico parcialmente descompuesto.

Las características y composición de los lodos secundarios dependen básicamente del sistema para tratamiento biológico empleado ( lodos activados, filtro percolador, biodisco, etc. ) y de la velocidad de crecimiento y metabolismo de los microorganismos.

En general son más difíciles de espesar y deshidratar que los lodos primarios y que la mayoría de los lodos químicos. Su olor es menos desagradable que el de los lodos químicos; sin embargo, si se les deja sin aereación más de un día adquieren color negro, aspecto y olor desagradables.

Los lodos generados durante el proceso de lodos activados contienen concentraciones de sólidos muy bajas. Generalmente son de color café - dorado y de apariencia floculenta.

Contienen mayores cantidades de fósforo, nitrógeno y proteínas que los lodos químicos, pero menos grasas y celulosa. Su olor es menos desagradable y fuerte que el de los lodos químicos.

Las variables más importantes para predecir la producción de este tipo de lodos son la cantidad de materia orgánica eliminada durante el proceso, la masa de microorganismos en el sistema, los sólidos biológicamente inertes en el influente al proceso y los sólidos suspendidos en el efluente ( EPA, 1979 ).

La cantidad de sólidos volátiles en el lodo puede estimarse, considerando que la masa total de microorganismos presentes en sistemas de película fija es proporcional al área superficial disponible para el crecimiento de la biopelícula.

Los lodos químicos se generan de las plantas que utilizan productos químicos como es el TPA, ya sea para precipitar y remover fósforo o simplemente para mejorar la sedimentación.

Los lodos químicos se generan durante el tratamiento de aguas residuales que contienen productos químicos; entre los más comunes se encuentran el hidróxido de calcio ( cal ), sulfato de aluminio, sales de hierro y algunos polímeros.



Estos lodos son los resultantes de procesos de separación sólida - líquido durante el tratamiento primario en su primera etapa (sedimentación, flotación).

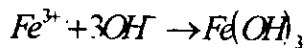
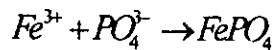
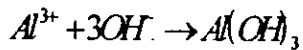
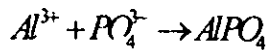
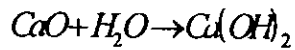
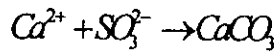
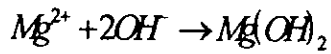
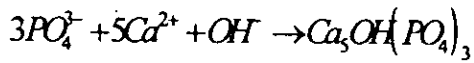
Contienen partículas sólidas sedimentables, principalmente de naturaleza orgánica.

Son generalmente de color grisáceo y despiden olores desagradables.

Las características y composición de los lodos químicos varían principalmente de acuerdo con las características del agua residual; también contienen arena, microorganismos, materia orgánica y nutrientes como nitrógeno y fósforo.

Este tipo de lodos, normalmente se puede tratar con el equipo y los métodos convencionalmente usados para el manejo de lodos primarios y secundarios; sin embargo, la dosis y naturaleza del agente químico empleado puede alterar sus propiedades, básicamente en relación con la deshidratación y el espesamiento (JAWWA, 1981).

La producción de lodos químicos depende del agente químico y del punto de aplicación; puede estimarse con base a la estequiometría de las reacciones químicas involucradas y a partir de resultados experimentales obtenidos mediante pruebas de jarras las ecuaciones básicas para los cálculos pueden simplificarse de la siguiente manera ( Culp et al, 1978 ) :



$$\sum \text{coagulantes entrada} = \sum \text{coagulante salida}$$

## 1.5. Propiedades del lodo.

### 1.5.1. Estructura física.

Para determinar la estructura física del lodo es necesario determinar las propiedades como fluido. Una herramienta fundamental es la caracterización de lodos con base a sus propiedades físicas como fluido. Existen cuatro categorías:

- Lodos líquidos.- cuando el líquido fluye por influencia de la fuerza de gravedad.
- Lodos plásticos.- cuando el lodo está tan concentrado que no fluye libremente y se deforma constantemente al ejercer una presión. Estos lodos pueden ser bombeados.
- Lodos sólidos susceptibles de ser compactados.- es el lodo demasiado espeso y que no se puede bombear. Su volumen aun decrece a medida que se secan.
- Lodos con volumen constante.- el lodo no está saturado con agua y se seca sin mayor reducción de volumen.

### 1.5.2. Propiedades físicas.

\* Concentración de sólidos.

Es la relación entre el contenido de sólidos y el líquido.

$$C_1 = \frac{mg \text{ de sólidos secos}}{L \text{ lodo}} = \frac{mg}{L}$$

Se debe notar que no se trata de la cantidad de sólidos contenidos en un volumen determinado de agua en el cual se encuentran en suspensión.

Cuando las concentraciones son muy elevadas se expresa la concentración como:

$$C_2 = \frac{\text{g de sólidos secos}}{\text{g de lodo}} = \frac{\text{g}}{\text{g}}$$

Este número multiplicado por 100 representa " por ciento de sólidos " que no se refiere a los gramos de sólidos en los gramos de agua. La primera ecuación es una relación masa/volumen mientras que la segunda es una relación masa/masa. Si suponemos que la densidad de sólidos es igual a uno, se relacionan las dos ecuaciones como sigue:

$$C_1 = \frac{mg}{\perp} = 100000\%ST = C_2$$

\* Tamaño de partícula.

El tamaño de la partícula afecta directamente la posibilidad de que un lodo pierda el agua que contiene. En especial la partícula entre 1 y 10 micras de manera que si un lodo tiene una gran concentración de partículas con este tamaño su secado es más difícil.

$$\frac{dN}{dL} = AL^{-b}$$

donde:

$N$  = densidad del número de partícula.

$L$  = tamaño de las partículas.

$A$  y  $b$  son características propias de la distribución de las partículas, si  $b = 1$  las partículas son del mismo tamaño y a medida que se incrementa su valor la variabilidad de tamaño aumenta ( Jiménez y Campos, 1990 ).

\* Distribución del agua.

Es muy importante saber como se encuentra el agua en los lodos, ya que nos da información para determinar la forma de liberarla del sólido. La Fig. 1.1. muestra un esquema empleado para su clasificación.

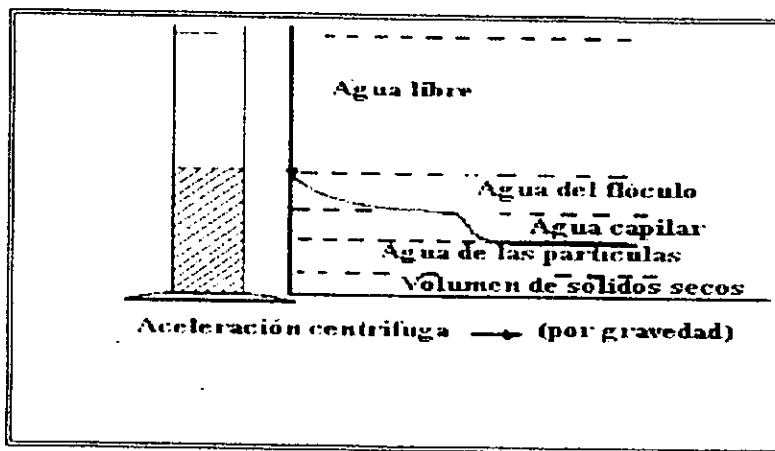


Fig. 1.1. Descripción del agua de los lodos como extracto por aceleración centrífuga.

Agua libre: es el agua que se libera al sedimentar las partículas por acción de su propio peso. Esta agua se encuentra ligada a las partículas y es la que durante el tratamiento se libera por sedimentación y espesamiento de los lodos.

Agua de flóculo: es el agua atrapada en los flóculos formados y cuya liberación se logra al comprimirlos. En tratamientos de agua corresponde al agua que se elimina por compresión mecánica.

Agua capilar: es el agua contenida en los flóculos y que está unida a ellos por fuerzas capilares; no se remueve por medios mecánicos a menos que se apliquen presiones muy elevadas.

Agua de las partículas: agua que forma parte de la composición química de las partículas y su eliminación se logra solo por modificación de la estructura de las mismas.

\* Propiedades de sedimentación.

Los lodos normalmente tienen una concentración de sólidos elevada tal que presentan las características de decantación por zona; es decir, las partículas del lodo no se decantan con su velocidad individual libre de sedimentación, sino que la velocidad de sedimentación se reduce considerablemente debido a la presencia de las partículas colindantes.

Además de la resistencia del fluido a la sedimentación, las fuerzas interpartículas también pueden disminuir la velocidad de sedimentación del lodo.

Tradicionalmente, el principio de la resistencia significativa interpartículas a la sedimentación ha sido considerado como un desarrollo brusco que se produce en el " punto de compresión".

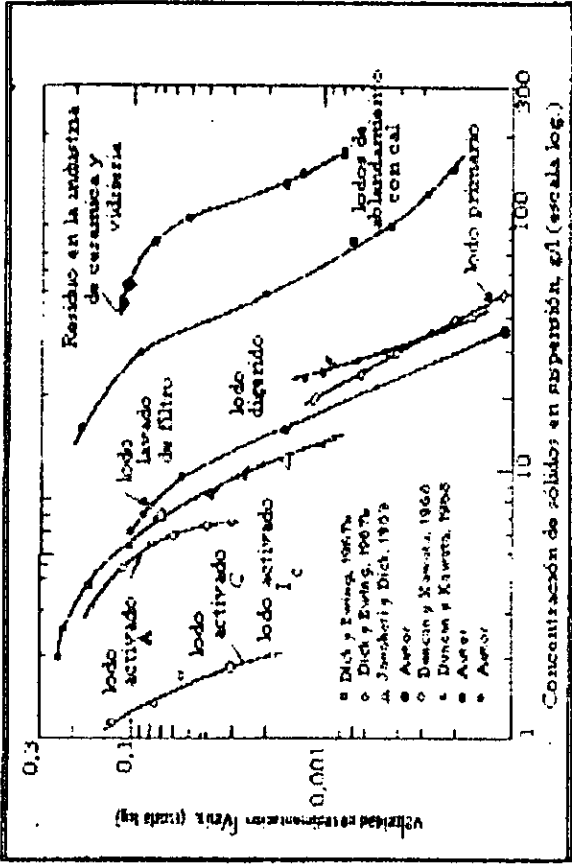


Fig. 1.2. Velocidades de sedimentación para un rango de concentraciones y una variedad de lodos.

\* Propiedades reológicas.

El lodo es descrito como un fluido no - Newtoniano y pseudo plástico. (Dick y Ewing, 1989).

Los cambios de gradiente de velocidad a los que se someten los fangos producen variaciones en el tamaño y velocidad de las partículas que lo componen y alteran la naturaleza de las interacciones entre las partículas y entre éstas y el agua en suspensión. Por consiguiente, los lodos no se comportan normalmente de forma similar a los fluidos Newtonianos.

La concentración volumétrica de la fase sólida de los fangos, es a menudo lo suficiente alta para formar una estructura continua. Bajo estas condiciones el lodo se comporta como un sólido elástico hasta que se aplique un esfuerzo mayor que la resistencia a punto cedente de la estructura continua. A esfuerzos mayores la estructura elástica se destruye y el material fluye viscosamente.

$$t = t_0 + k\dot{\Gamma}$$

donde:

$t$  = esfuerzo cortante ( dinas/cm<sup>2</sup> ).

$t_0$  = esfuerzo ejercido ( dinas/cm<sup>2</sup> ).

$k$  = viscosidad aparente.

$\dot{\Gamma}$  = tasa de esfuerzo ( s<sup>-1</sup> ).

En Canadá encontraron que una representación mejor de los reogramas (Fig. 1.3) se obtiene con la ecuación (Campbell y Crescuolo) :

$$\log \gamma = a + n \log \mu$$



donde:

$\dot{\gamma}$  = tasa de esfuerzo.

$\mu$  = viscosidad al esfuerzo ejercido.

a y n = constantes que dependen del contenido de sólidos y del porcentaje volátil de los mismos.

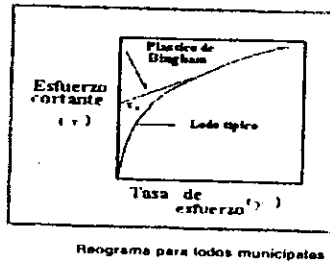


Fig. 1.3. Reograma para lodos municipales.

\* Drenabilidad.

La drenabilidad es muy importante ya que el contenido de agua de un lodo se relaciona directamente con la necesidad de transporte, de secado o la posibilidad de incineración. Actualmente, para eliminar el agua de los lodos se emplean tres mecanismos: filtración, centrifugación y evaporación.

### 1.5.3. Propiedades químicas.

Las características químicas son importantes para evaluar el efecto de los métodos de vertido final de lodos a la tierra y agua, para considerar su posible utilidad y para evaluar la aplicabilidad de los procesos de tratamiento del lodo. En general, la naturaleza química de los lodos no ha sido bien caracterizada, esto es debido a la diversidad de tipos de lodos y a que la mayoría de los análisis publicados se han referido a la fracción sólida de los lodos.

El mayor interés sobre las propiedades químicas de los lodos está en relación con su valor fertilizante ( materia orgánica, nitrógeno y fósforo ), toxicidad y olor.

Los compuestos tóxicos se encuentran formados por dos grupos: los inorgánicos compuestos por los metales pesados y los orgánicos donde las más comunes son los policarbonados (PCB), y los hidrocarburos policlorados.

El olor es un parámetro subjetivo es empleado ~~un cuando~~ se tienen grandes dificultades para su medición. El método más adaptado es el ~~estático~~ dinámico que permite efectuar mediciones en campo al definir al olor como:

$$NEOP = \frac{\log_{10} CS}{C_1}$$

donde: NEOP = número específico de olor personalizado.  
C = concentración del olor contenido en los gases.  
C<sub>1</sub> = umbral de detección para el gas en determinación.  
S = sensibilidad individual.

Si el caudal del aire sin olor que suministra el olfatómetro es Q<sub>1</sub> y el gas que tiene el olor es Q<sub>2</sub> se puede demostrar que:

$$NEOP = \log_{10} \frac{(Q_1 + Q_2)^3}{Q_2}$$

donde, S se define como:

$$S = \frac{C_m}{C_1}$$

C<sub>m</sub> = umbral medido para una persona empleando un gas de propiedades conocidas, C<sub>1</sub> = umbral establecido en la literatura, y con frecuencia S tiene un valor de 5.

### 1.5.4. Propiedades biológicas.

El contenido en organismos patógenos constituyen una de las características más importantes. Los lodos sin tratar pueden provocar problemas sanitarios debido a su alto contenido de microorganismos patógenos. Los organismos patógenos son aquellos que provocan enfermedades tanto a humanos como a animales y por lo general los podemos agrupar en bacterias, virus, protozoarios y helmintos (Tabla 1.1). El tipo y cantidad de microorganismos patógenos en un lodo depende del estado epidemiológico de la comunidad de donde proviene.

Tabla 1.1. Principales microorganismos patógenos del los lodos.

<b>Bacterias</b> <i>Salmonella sp</i> <i>Shigella sp</i> <i>Yersinia sp</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Escherichia coli</i> (cepas patógenas)	Salmonelosis y fiebre tifoidea Disentería bacilar Gastroenteritis aguda Cólera Gastroenteritis Gastroenteritis
<b>Virus Esbéricos</b> Hepatitis A virus Norwalk y tipo Norwalk Rotavirus	Hepatitis infecciosa Gastroenteritis epidémica con diarrea Gastroenteritis aguda con diarrea severa
<b>Enterovirus</b> <b>Poliovirus</b> <b>Coxsackievirus</b> <b>Echovirus</b> <b>Rovirus</b> <b>Calicivirus</b>	Poliomielitis Meningitis, neuronemia, hepatitis, fiebre Meningitis, parálisis, exantema, diarrea Infecciones respiratorias, gastroenteritis Gastroenteritis epidémica
<b>Protozoarios</b> <i>Cryptosporidium</i> <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Balantidium coli</i> <i>Toxoplasma gondii</i>	Gastroenteritis Enteritis aguda Giardiasis Diarrea y disentería Toxoplasmosis
<b>Helmintos</b> <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Ascaris suum</i> <i>Trichuris trichiura</i> <i>Toxocara canis</i> <i>Necator americanus</i> <i>Hymenolepis nana</i>	Alteraciones digestivas y nutritivas Tos probable, dolor de pecho y fiebre Dolor abdominal, diarrea, anemia Fiebre, indisposición abdominal Nerviosismo, insomnio, anorexia Anquilostomiasis Teniasis

- Supervivencia.

Los patógenos expuestos al medio ambiente parecen como resultado del calor, luz solar, desecación, etc. en tiempos variables (Tabla 1.2). Los más resistentes son los virus, las bacterias y los huevos de helmintos por lo que el control del riesgo microbiológico se efectúa con base en ellos.

Tabla 1.2. Tiempo de supervivencia de patógenos.

	Máximo absoluto	Máximo común	Máximo absoluto	Máximo común
Bacterias	1 año	2 meses	6 meses	1 mes
Virus	1 año	3 meses	2 meses	1 mes
Quistes de protozoarios	10 días	2 días	5 días	2 días
Huevos de helmintos	7 años	2 años	5 meses	1 mes

- Evaluación de la calidad microbiológica.

La densidad de microorganismos se define como el número de ellos por unidad de masa de los sólidos totales en base seca.

- Formas de exposición.

Las formas de exposición a los patógenos en los lodos se clasifican en : directos e indirectos.

Directos: Contacto no consciente con los lodos, manipulación del suelo o de los lodos durante su aplicación e inhalación de microbios en los aerosoles que se forman durante la aplicación por aspersión o por arrastre de vientos fuertes, justo después de la aplicación.

Indirectos: por consumo de cultivos contaminados, leche u otros productos alimenticios que provienen de animales que pastaron en suelos con lodos, agua contaminada por lixiviación y peces que se desarrollan en agua contaminada.

### **1.6. Tipos de eliminación de bacterias patógenas.**

Existen diferentes formas para eliminar las bacterias patógenas como son: el manejo del pH ( alcalinidad ),temperatura y disponibilidad del agua.

#### **\* Manejo de la temperatura.**

Uno de los medios más conocidos para la destrucción de organismos patógenos es la aplicación de calor, por lo que no es raro que se aplique para la estabilización y desinfección de lodos residuales, ya sea mediante pasteurización u oxidación a baja presión. La eliminación de los microorganismos se debe a que las proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes se inactivan en forma irreversible a altas temperaturas.

La pasteurización consiste en calentar el lodo aproximadamente 70°C durante 30 min. Es un proceso sumamente efectivo contra la mayoría de los parásitos presentes en lodos domésticos, el proceso de oxidación a baja presión se lleva a cabo a temperaturas de 180 y 200°C manteniendo la presión entre 12.5 y 14.7 Kg./cm<sup>2</sup>.

#### **\* Acidez y alcalinidad ( pH ).**

Por lo general los microorganismos se desarrollan a pH neutro (pH = 7), no se desarrollan a pH ácido (pH < 7) o pH alcalino (pH > 12). Esto es debido a que el pH inhibe el transporte de los nutrientes en la membrana celular y de esta forma elimina a los microorganismos patógenos.

#### **\* Disponibilidad del agua.**

Todos los organismos requieren agua para desarrollar la vida. No toda el agua que se contienen en un medio ambiente está disponible para los organismos debido a que pueden estar interactuando con diferentes sustancias ( actividad del agua ). Al eliminar el agua disponible se causa la muerte de los microorganismos en forma muy notoria como es la deshidratación.

### 1.7. Formas de estabilización.

La estabilización de lodos es aquel proceso o serie de procesos que producen un lodo con características tales que su disposición final no dañe al medio ambiente ni cause cualquier tipo de desequilibrio ecológico. Para conseguirlo es indispensable reducir la actividad biológica y el contenido de organismos patógenos, y olores desagradables.

#### \* Digestión aerobia.

Es aquel proceso que utiliza oxígeno para la degradación de residuos biológicos en un tanque abierto o cerrado. Los sólidos volátiles son transformados en bióxido de carbono, óxido de nitrógeno y agua.

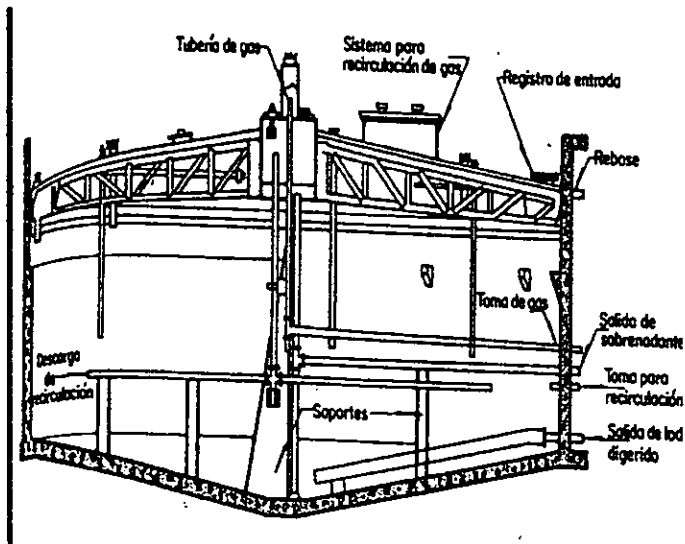


Fig. 1.4. Corte transversal de un digestor cilíndrico.

Aparentemente la digestión aerobia es un proceso parecido al de los lodos activados, ya que en ambos casos la materia orgánica biodegradable sufre una oxidación ocasionada por reacciones bioquímicas. Sin embargo, en la digestión aerobia, cuando el sustrato exógeno se ha agotado, los microorganismos comienzan a consumir sus reservas internas ( sustrato endógeno ) a fin de obtener energía suficiente para mantener las reacciones de supervivencia. La digestión aerobia se emplea para la estabilización de lodos primarios, secundarios o mezclas. Se lleva a cabo en un reactor abierto o cerrado (EPA, 1992).

El suministro de oxígeno se realiza por mezclado o por inyección de aire a presión.

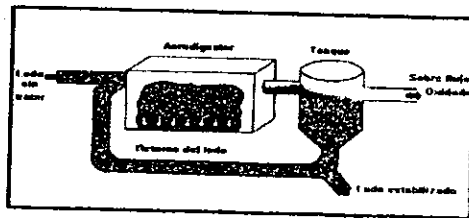


Fig. 1.5. Digestión aerobia para lodos tipo " B ".

#### \* Digestión anaerobia.

Es una tecnología en la cual existe una degradación biológica de sustancias orgánicas complejas en ausencia de oxígeno atmosférico. Durante estas reacciones se libera energía y gran parte de la materia orgánica es convertida a metano, dióxido de carbono y agua. El proceso depende de la acción de microorganismos generalmente clasificados como productores de ácidos ( acidogénicos ) y productores de metano ( metanogénicos ).

Empieza microorganismos que en un medio libre de oxígeno disuelto convierten los sólidos volátiles en  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2$ . Estas reacciones se llevan a cabo en un tanque cerrado. La estabilización se produce debido a que la actividad biológica consume los sólidos volátiles para su crecimiento.

La mayor parte de los sistemas anaerobios se clasifican de alta tasa y tasa estándar. En la tasa estándar no hay mezclado artificial sino sólo el que causa la liberación de gases y el calentamiento es opcional. En los reactores de alta tasa se aplica tanto temperatura como mezclado (EPA, 1992).

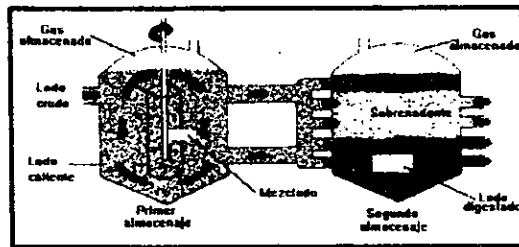


Fig. 1.6. Digestión anaerobia, reactor de alta tasa.

\* Secado con aire.

Consiste en dejar los lodos digeridos a que se sequen en el medio ambiente. Se dejan secar los lodos por evaporación o por drenado. El secado al aire libre reduce los virus y las bacterias en un 90% y remueve los huevos de helmintos con excepción de las especies de alta resistencia. Como pretratamiento al secado usualmente se emplea la digestión aerobia o anaerobia (EPA, 1992).

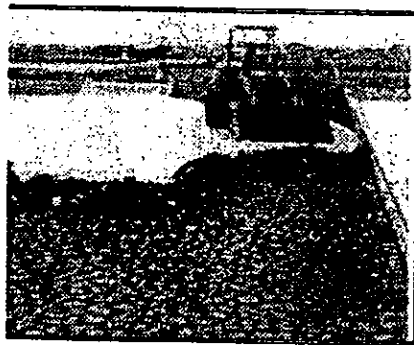


Fig. 1.7. Operación de secado con aire de lodos.



\* Estabilización con cal.

Por más de 2000 años la cal se ha empleado para estabilizar y desodorizar excrementos y estiércol. Actualmente, el proceso cobra día a día mayor popularidad para el control de patógenos. Se emplea hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) o en cenizas en cantidades suficientes para elevar el  $\text{pH} > 12$  por 2h. Se introduce al lodo líquido en un tanque de mezclado al deshidratado con mezcla suficiente para tener un adecuado contacto lodo - cal. La estabilización con cal reduce los patógenos en un 99% y tienen una eficiencia parcial sobre los huevos de helmintos, no reduce el contenido de sólidos volátiles por lo que si el  $\text{pH}$  desciende de 11 los procesos biológicos se pueden reactivar (EPA, 1992).

\* Composteo.

Es la descomposición aerobia de la materia orgánica en condiciones controladas de temperatura, humedad y oxígeno. Da como resultado la composta que es un material altamente estabilizado de tipo húmico. Es un proceso biológico controlado que favorece la descomposición de la materia orgánica.

El producto final o composta en general puede ser manejado sin causar efectos desfavorables en el medio ambiente o puede ser aprovechado como mejorador de suelos en el cultivo de plantas que no están directamente relacionadas con las cadenas tróficas asociadas al hombre.

El calor que se produce durante la descomposición de la materia orgánica puede alcanzar temperaturas letales para muchos de los patógenos contenidos en el lodo.

El composteo comprende generalmente las siguientes etapas:

1. Preparación.
2. Digestión.
3. Estabilización.

El composteo es un proceso sencillo para que funcione adecuadamente es necesario mantener un cuidadoso control de la temperatura, el tiempo de digestión y sobre todo el contenido de humedad (EPA, 1992).

**\* Radiación beta o gamma.**

Destruye los microorganismos por alteración del contenido protoplasmático. Los rayos gamma son fotones de alta energía producidos por algunos elementos radioactivos. La beta son electrones acelerados por un potencial electrónico cercano a  $1 \cdot 10^6$  V (EPA, 1992).

**\* Pasteurización.**

Consiste en calentar los lodos a 70°C por más de 30 min (EPA, 1992).

**1.8. Estabilización alcalina.**

La estabilización del lodo por medio del tratamiento con cal es un proceso relativamente simple. Se aplica cal, normalmente en forma hidratada, en dosis suficiente para elevar el pH hasta un valor entre 11 y 12, manteniéndolo durante algunos días. El medio fuertemente alcalino es capaz de destruir a los organismos patógenos y a otros presentes en el lodo, o cuando menos de inhibir significativamente sus funciones metabólicas (Lue - Hing, 1992).

La aplicación de cal reduce la emisión de sulfuros volátiles y ácidos grasos, disminuyendo considerablemente los malos olores. Las ventajas principales de la estabilización con cal son sus bajos costos y la simplicidad de operación.

Existen dos procesos; el primero aplica la cal antes del desaguado llamado preestabilización, y el segundo después del desaguado llamado posestabilización.

**\* Prestabilización.**

En la preestabilización hay un mayor requerimiento de cal. Si se añade solo cal sin acondicionar ( Al o Fe ) es común que el lodo no deshidrate bien. La dosis en preestabilización es prácticamente la misma para lodos con concentración de 0.5 a 4.5%.

La dosis se incrementa en lodos diluidos por efecto de modificar el pH del agua, para este efecto se requiere 1g/L para pH 12 y 5 g/L para 12.5. La dosis es función de la concentración de sólidos aunque en masa resulta constante, es decir, la cal requerida se debe definir en función de la masa de sólidos y no del volumen, de tal forma que el espesamiento no afecta la dosis.

**\* Posestabilización.**

Para llevar a cabo este proceso es necesario realizar las siguientes etapas: A) acondicionamiento, B) desaguado y C) estabilización.

**A) Acondicionamiento.**

Es una metodología en donde al lodo se le proporciona una estructura para que el agua drene más fácilmente.

Las características sobre las cuales actúa el acondicionamiento son básicamente el tamaño y distribución de partículas en el lodo, carga superficial y grado de hidratación e interacción entre partículas. Esto se lleva a cabo mediante la adición de productos químicos orgánicos e inorgánicos.

El acondicionamiento añadiendo compuestos inorgánicos se emplea generalmente cuando se desea deshidratar lodos crudos o digeridos en filtros prensa o al vacío. Normalmente se utiliza una mezcla de cal y sales de fierro o aluminio, los cuales producen iones cargados positivamente que reaccionan con los iones negativos del lodo, neutralizándolos y permitiendo la formación de agregados más grandes que sedimentan fácil y pueden rápidamente ser deshidratados.

Los compuestos orgánicos se les denominan polieléctrolitos que son compuestos orgánicos de cadenas largas y altos pesos moleculares, tal como son los derivados del almidón, la celulosa, materiales proteicos y muchos otros que se producen en forma sintética. A lo largo de sus cadenas tienen grupos cargados positiva o negativamente (polieléctrolitos catiónicos y aniónicos respectivamente). Estos compuestos se usan en el acondicionamiento de lodos para desorber agua de la superficie de las partículas sólidas, neutralizar cargas y para actuar como un puente entre partículas, facilitando así su aglomeración, Figura 1.8.

#### B) Desaguado.

El objetivo principal es eliminar tanta agua de flóculo como sea posible para producir un material no fluido cuya concentración de sólidos sea significativamente más alta que en un lodo espesado.

El proceso adecuado se selecciona principalmente por los requisitos de las etapas subsiguientes de tratamiento o de la disposición final.

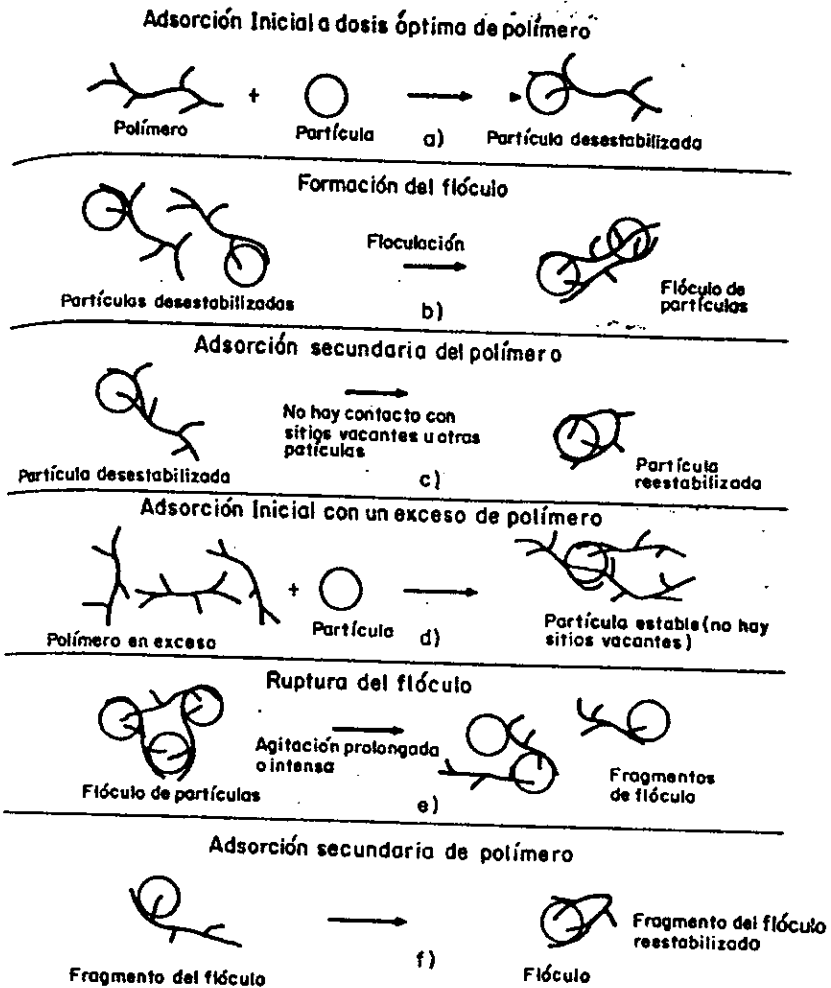


Fig. 1.8. Desestabilización de partículas coloidales por medio de polímeros.

El desaguado de lodos se puede llevar a cabo por medios mecánicos o por métodos en los cuales el movimiento del agua es controlado por fuerzas neutrales. La filtración es una operación unitaria en la que los sólidos se apartan físicamente de una corriente líquida al hacerla pasar a través de un lecho o medio poroso.

En los diferentes sistemas de filtración se aplica una fuerza, ya sea vacío, presión, gravedad o fuerza centrífuga, para hacer pasar solamente el agua a través del medio filtrante. Los procesos mecánicos más utilizados para llevar a cabo el desaguado de los lodos incluyen filtración a vacío, centrifugación, filtros prensa y filtros de bandas horizontales. Estos procesos se recomiendan cuando no se dispone de terreno suficiente o se tienen condiciones ambientales adversas. En este caso nos enfocaremos al filtro prensa.

Existen diferentes tipos de filtros prensa. Uno de los más empleados para el desaguado es el filtro prensa de marcos y placas. Está compuesto por marcos rectangulares prensados entre dos placas cubiertas con tela filtrante. Los marcos, la tela y las placas se encuentran alternados en pilas horizontales formando una serie de cavidades porosas. La unidad tiene un extremo fijo y uno móvil, en el que se aplica presión por medio de un mecanismo hidráulico para mantener las placas y los marcos prensados durante el periodo de filtración.

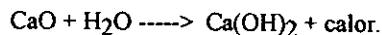
El lodo, previamente acondicionado, se alimenta al espacio formado entre las placas. Se aplica presión entre 4 y 14 Kg/cm<sup>2</sup> durante 1 a 3 horas, forzando el paso del líquido a través de la tela filtrante y de los orificios de salida de las placas. El espesor de la torta de lodo varía entre 2.5 y 3.5 cm y el contenido de humedad entre 55 y 70%.

El tiempo necesario para completar un ciclo de filtración comprende el tiempo requerido para llenar la prensa, el tiempo que el sistema se mantiene a presión, el tiempo requerido para lavar y descargar la torta y el tiempo requerido para cerrar la prensa.

### C) Estabilización.

La cal se añade a la pasta obtenida después del proceso de desaguado. Se adiciona óxido de calcio para aprovechar el calor generado por la reacción de hidratación y con el incremento de la temperatura aumentar la eliminación de organismos patógenos (Cristy, 1990).

Este procedimiento además se tiene la ventaja de evitar la corrosión, la abrasión de los equipos de desagüe y utiliza menos dosis de cal.



En este caso, es esencial proporcionar un mezclado eficiente y continuo para asegurar que la temperatura sea uniforme, por lo cual el consumo de energía para mezclado se eleva considerablemente.

### Variantes de la posestabilización.

Existen diferentes variantes en el proceso de posestabilización como los reportó Tsang y Donovan ( 1993 ). Estos procesos patentados cumplen con los requerimientos para la obtención de lodos tipo "A".

Los procesos descritos fueron los siguientes:

#### N-Viro soil

Conocido como avanzada estabilización alcalina con un subsecuente secado acelerado, este proceso involucra la adición de químicos alcalinos ( cenizas alcalinas de cemento y cenizas alcalinas de cal ) a lodos drenados que al ser mezclados aumentan su pH a 12 alcanzando una temperatura de cuando menos de 52°C cuando menos 12 horas.

La mezcla es secada con aire ( pH debe de permanecer cuando menos en 12 por tres días ), los sólidos se deben mantener cuando menos en 50%.

#### Willotech pasteurización.

En este proceso el lodo drenado es mezclado con materiales alcalinos activos, como cal viva o cenizas alcalinas de cal que produce la reacción exotérmica de la hidratación.

El mezclado es calentado a 70°C por los menos 30 minutos, manteniendo el pH arriba de 12.

#### Biofix

Es un proceso realizado en cuatro pasos:

- I) se adiciona la base para controlar el olor;
- II) se trata el lodo para obtener lodos tipo “ B “;
- III) se trata de lodo para obtener que reducen substancialmente los patógenos,
- IV) se le añaden aditivos que le proporcionan estabilidad estructural o la producción de un producto de calidad.

#### Reomix.

Es un proceso que cubre la pasta del lodo drenado, utilizando una mezcladora de rodillos con paletas, pero para obtener un proceso que reducen substancialmente los patógenos se le tienen que añadir altas dosis de cal.

#### Envessel pasteurización.

Es un proceso que utiliza pasta de lodo drenado y lo mezcla con cal viva da un producto con un pH de 12, suplementando con calor para aumentar la temperatura a 70°C. La mezcla se introduce en un reactor que mantiene la temperatura a 70°C por treinta minutos.



### 1.9. Disposición de los biosólidos.

Una vez que los lodos han sido tratados, están listos para su disposición final. Los métodos comunes para llevarla a cabo son:

- Relleno sanitario.
- Uso como mejorador de suelos.
- Disposición sobre terreno.
- Confinamiento controlado.

Es importante para la disposición de los biosólidos se realice una adecuada selección del sitio. Es primordial hacer estudios de topografía, profundidad de corrientes subterráneas y la proximidad de cuerpos de aguas superficiales para evitar problemas de contaminación (EPA, 1994).

Una de las alternativas más atractivas para la disposición final de lodos domésticos es su utilización como mejorador de suelos agrícolas o forestales, ya que contiene algunos macronutrientes importantes, principalmente nitrógeno y fósforo, en la mayoría de los casos, cantidades importantes de micronutrientes tales como boro, manganeso, cobre, molibdeno y zinc; pero debe llevarse un riguroso control sobre la cantidad de metales pesados.



Fig. 1.9. Camino donde se han aplicado biosólidos.



Fig. 1.10. Flores abonadas con biosólidos.

Aplicación a tierras agrícolas.- a pesar de que los nutrientes no se encuentran en la proporción de cualquier fertilizante balanceado, la mayoría de los cultivos agrícolas responden favorablemente a la aplicación del biosólido.

El biosólido aumenta la porosidad de suelos de textura fina, facilitando el crecimiento de las raíces y la circulación de aire y agua.

Cuando se aplica a suelos arenosos de textura gruesa, incrementa la capacidad del suelo para retener agua y propicia la adsorción e intercambio de nutrientes.

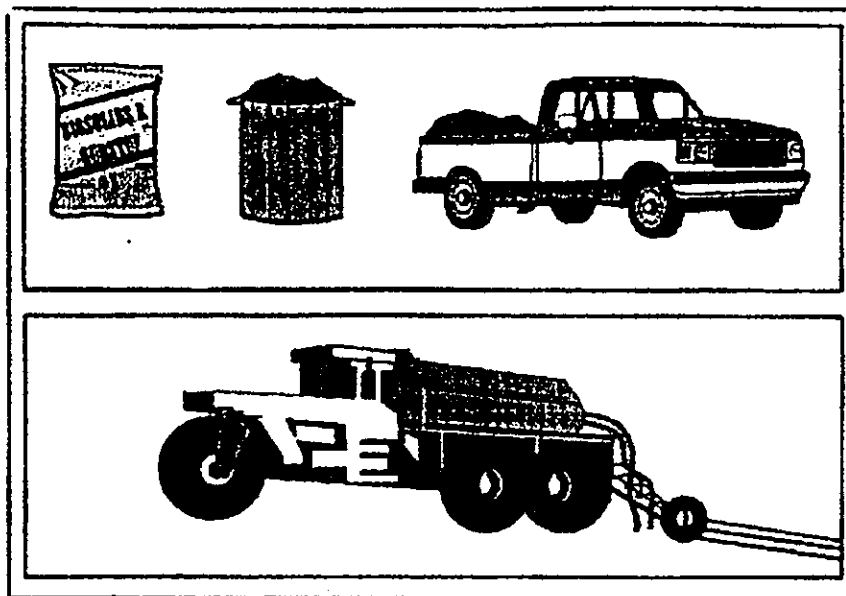
Para prevenir la contaminación por nitratos en corrientes subterráneas y superficiales, su aplicación se limita generalmente a la cantidad de lodos que contengan el nitrógeno requerido por el cultivo.



Fig. 1.11. Campo de avena tratado con biosólidos.

Los biosólidos pueden ser aplicados en grandes masas o vendidos en bolsas o contenedores. Se aplican ya sea por aspersión y repartición superficial en suelo o simplemente por disposición. También pueden ser arados junto con el suelo o inyectados bajo la capa superficial (EPA, 1994).

Los biosólidos líquidos se aplican con ayuda de tractores, tanques - vagón, sistemas de riego o vehículos especiales. Los biosólidos deshidratados se aplican con los mismos equipos que se emplean para aplicar cal, estiércol o fertilizantes comerciales (EPA, 1994).



Fuente: EPA / 832 / R - 003.

Disposición de biosólidos.



# CAPITULO 2. LEGISLACIÓN.



## **CAPITULO 2. LEGISLACIÓN.**

### **2.1. Normatividad en México.**

En México no existe una reglamentación específica para biosólidos por lo que la referencia que se emplea es el apartado 503 de la EPA (EPA, 1994).

La EPA desarrolló el reglamento " Estándares para el uso y disposición de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales ". En este se definen los requisitos para que los biosólidos sean:

- Aplicados al suelo como acondicionadores o fertilizantes.
- Dispuestos en forma superficial en terreno.
- Quemados en un incinerador.
- Dispuestos en un relleno sanitario.

El apartado 503 es de orden federal y puede ser modificado por reglamentos estatales o locales de manera de ser más o menos estricto. Se compone de cinco partes:

- Disposiciones generales.
- Requisitos para la disposición en suelos.
- Requisitos para la disposición superficial.
- Disminución de los vectores de atracción y patógenos.
- Incineración.

Para cada uno se establecen límites de contaminantes permitidos, prácticas de administración y manejo, estándares de operación, tipo y frecuencia de monitoreo.

## **2.2. Requerimientos para aplicar los biosólidos en el suelo como fertilizantes.**

Para que un biosólido pueda ser aplicado en el suelo debe cumplir los requerimientos de las Tablas: 2-1, 2-2, 2-3, 2-4 y 2-5.

La EPA clasificó los biosólidos según su calidad, principalmente en: a) Biosólidos calidad excepcional, b) Biosólidos con concentraciones admisibles y c) Biosólidos de tasa contaminante acumulativa (EPA, 1994).

a) Biosólidos de calidad excepcional (Exceptional Quality Biosolids, EQ).- Son lodos que contienen una baja concentración de contaminantes, una reducción virtual de los patógenos y bajo potencial de atraer vectores.

Los sólidos de calidad excepcional no tienen restricciones de uso. Los biosólidos EQ deben:

- No exceder las concentraciones límites de contaminantes, de la TABLA 2-1.
- Cumplir con los requerimientos de la clase " A ", de la TABLA 2-2.
- Cumplir con los requerimientos de la clase " B ", de la TABLA 2-3.
- Ser procesados mediante una de las primeras ocho opciones de reducción de atracción a vectores, en la TABLA 2-4.
- Sin restricciones de aplicación, de la TABLA 2-5.

b) Biosólidos con concentración de contaminantes admisibles (Pollutant Concentration Biosolids, PC).- Son los biosólidos que tienen concentraciones de contaminantes iguales a los EQ pero que son catalogados como clase "B" por su contenido patógeno.

En este sentido sus opciones de disposición y manejo son limitadas y están reglamentadas.

Los biosólidos PC se caracterizan por:

- No exceder la concentración límite, de la TABLA 2-1.
- Uno de los tres requisitos de patógenos para clase " B ", de la TABLA 2-3.
- Una de las 10 opciones de la reducción de atracción de vectores, de la TABLA 2-4.
- Restricciones de aplicación, de la TABLA 2-5.

La meta en Estados Unidos es que todas las poblaciones produzcan biosólidos PC y EQ ya que a partir de estudios de riesgo en las condiciones más estrictas no tienen efectos acumulativos en 100 a 300 años.

c) Biosólidos con una tasa contaminante acumulativa (Cumulative Pollution Loading Rate Biosolids, CPLR).- Estos biosólidos exceden en al menos uno de los contaminantes la concentración permisible para los EQ pero no rebasan la concentración límite.

Este tipo de sólidos pueden ser aplicados al suelo en forma masiva pero controlando la cantidad y frecuencia de la aplicación de manera que los niveles acumulativos nunca sean excedidos.



Para ser catalogados como CPLRS los biosólidos deben cumplir lo siguiente:

- No se deben pasar las concentraciones límite, de la TABLA 2-1.
- No se deben exceder las tasas de carga contaminante acumulativa, de la TABLA 2-1.
- Se cumpla ya sea los requisitos para clase " A " o " B " de patógenos, de las TABLAS 2-2 y 2-3.
- Se cumpla una de las 10 opciones para la reducción de atracción de vectores, de la TABLA 2-4.
- Restricciones de aplicación, de la TABLA 2-5.

### 2.3. Límites de contaminantes.

TABLA 2-1 LÍMITES CONTAMINANTES.

CONTAMINANTE	CONCENTRACIONES TOPE PARA TODOS LOS BIOSÓLIDOS QUE SE APLIQUEN AL SUELO (mg/kg.) <sup>a</sup>	LÍMITES PARA BIOSÓLIDOS EQ Y PC (mg/kg.) <sup>a</sup>	CARGA ACUMULATIVA PARA BIOSÓLIDOS CPLR (kg./Ha)	CARGA ANUAL DE CONTAMINANTES PARA BIOSÓLIDOS APLR (kg./Ha/Año).
Arsénico	75	41	41	2.0
Cadmio	85	39	39	1.9
Cromo	3000	1200	3000	150
Cobre	4300	1500	1500	75
Plomo	840	300	300	15
Mercurio	57	17	17	0.85
Molibdeno	75	-	-	-
Níquel	420	420	420	21
Selenio	100	36	100	5.0
Zinc	7500	2800	2800	140
Aplica a:	Todos los sólidos que se coloquen sobre terreno.	Biosólidos en grandes masas y empacados	Biosólidos en aplicación masiva	Biosólidos empacados

a: Base seca

b: Enmienda de 1994 al apartado 503.

c: Biosólidos empacados son aquellos que están en bolsas o cualquier otro recipiente.

Fuente: EPA/832/ER-93/003

#### 2.4. Reducción de patógenos.

Tabla 2-2. Requerimientos en organismos patógenos de los lodos Clase "A".

Bacterias patógenas, virus, protozoarios y huevos de helmintos por debajo de límites detectables:
Menos 3 de <i>Salmonella sp</i> ( NMP ) / 1g. de sólidos totales ( base seca ).
Menos de 1 unidad formadora ( PUF ) de virus / 1g. de sólidos totales (base seca).
Menos de 1 huevo viable de helminto / 4g. de sólidos totales ( base seca ).
Menos de 1000 ( NMP ) de Coliformes fecales y Estreptococos / 1g. de sólidos suspendidos volátiles.

Fuente: Lue - Hing y col., ( 1992 ).

Tabla 2-3. Requerimientos de organismos patógenos en lodos tipo "B".

Reducir 100 veces la densidad de las bacterias patógenas en el lodo en comparación con el influente / 1g. de sólidos suspendidos volátiles.
Reducir 100 veces la densidad de los virus en el lodo en comparación con el influente / 1g. de sólidos suspendidos volátiles.
Menos o igual a 10 <sup>6</sup> de Coliformes fecales y Estreptococos / 1g. de sólidos suspendidos volátiles.

Fuente: Lue - Hing y col., ( 1992 ).

## 2.5. Normatividad referida a vectores de atracción.

TABLA 2-4. RESUMEN DE LAS OPCIONES PARA REDUCIR LOS VECTORES (VAR) DE ATRACCIÓN.

Una de las siguientes opciones debe ser	cumplida
Opción 1	Reducción de los sólidos volátiles en un mínimo de 38% en masa.
Opción 2	Demostrar la reducción de atracción de vectores con una digestión anaerobia en escala semi-industrial.
Opción 3	Demostrar la reducción de vectores con una digestión aerobia, en escala semi-industrial.
Opción 4	Cumplir con una tasa de consumo específica para biosólidos tratados en forma aerobia.
Opción 5	Aplicar los procesos aerobios a más de 40°C (en promedio 45°C) al menos por 14 días (ej. composteo).
Opción 6	Añadir álcalis para elevar y mantener el pH durante un cierto periodo.
Opción 7	Eliminar la humedad en biosólidos que no han sido estabilizados más que por métodos primarios hasta un 75% de los sólidos.
Opción 8	Reducir la humedad en biosólidos no estabilizados hasta 90%.
Opción 9	Inyectar los biosólidos bajo la superficie del suelo por un determinado periodo en función del grado de reducción de patógenos.
Opción 10	Incorporar los biosólidos aplicados o colocados en superficie después de un cierto tiempo.

Fuente: EPA/832/ER-93/003

**2.6. Restricciones de aplicación de los biosólidos.**

**TABLA 2-5 TIPO DE TERRENO DONDE SE APLICAN LOS BIOSÓLIDOS.**

BIOSÓLIDO	CLASE	OPCIÓN VARA	TIPO DE TERRENO	OTRAS RESTRICCIONES.
EQ	A	1 a 8	Cualquiera	Ninguna
PC	A	1 a 10	Todo excepto prados y jardines domésticos	De manejo
	B	1 a 10	Todos excepto prados y jardines domésticos	De manejo y restricción de sitios de aplicación
CPLR	A	1 a 10	Todos excepto prados y jardines domésticos	De manejo y de sitios de aplicación
	B	1 a 10	Todos excepto prados y jardines domésticos	De manejo y de sitios de aplicación
APLR	A	1 a 8	Todos en especial prados y jardines domésticos	De etiquetado

EPA / 852 / ER - 93 / 003.

## **DISPOSICION DE LOS LODOS BASADOS EN LA NORMA OFICIAL MEXICANA.**

El destino final de los lodos dependerá si se pueden reusar o no reusar en la agricultura o reforestación de suelos. Cuando los lodos se reciclan en la agricultura se pueden aplicar líquidos, concentrados, sólidos o secos dependiendo del proceso seguido para su disposición.

Se ha comprobado que los lodos tratados con cal, al disponerlos en campos de cultivo funcionan con gran éxito. Cuando los lodos no se pueden reusar debido al alto costo de su transporte o por contener niveles altos de metales o sustancias tóxicas; la otra alternativa es la oxidación térmica. Existen tres procesos de oxidación térmica:

1. Incineración.
2. Co-incineración.
3. Oxidación húmeda.

La incineración se recomienda en plantas grandes y la co-incineración y oxidación húmeda en plantas medianas.

Por otra parte la norma oficial mexicana NOM-CRP-001-ECOL/1993 establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al medio ambiente. Según esta norma, son considerados residuos peligrosos los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales de las fuentes industriales citadas en la misma, así como todos aquellos residuos que presenten una o más de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y/o biológico infecciosas (Diario Oficial, 1993).

De acuerdo con lo anterior, desde el punto de vista biológico, los lodos estabilizados obtenidos del tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad de Guadalajara no son un residuo peligroso, puesto que ya están estabilizados; sin embargo, su pH está cerca del límite superior que esta norma establece para que sea considerado como residuo peligroso por su corrosividad (la norma establece 12.5) y además podrían ser considerados peligrosos por su toxicidad si al someterlos a la prueba de extracción descrita en la norma oficial mexicana NOM-CRP-002-ECOL/1993, el lixiviado obtenido contuviera cualquiera de los constituyentes listados en esta norma en concentraciones mayores a las ahí establecidas. Para metales pesados (constituyentes inorgánicos) los límites son los establecidos en las tablas anteriores.

Los lodos procedentes del tratamiento con coagulación de las aguas residuales generalmente son químicamente inertes y libres de toxinas a nivel de norma por lo que se considera que al aplicarles la prueba de extracción no se producen resultados significativos (AWWA,1992). Debido a esto y considerando que los lodos estarán expuestos a la lluvia, se debe considerar más apropiado aplicarles como un estudio posterior pruebas de solubilización considerando diferentes pH, para saber en que condiciones de pH se da la mayor movilidad de los metales, en lugar de aplicarles la prueba de extracción,



# CAPITULO 3. METODOLOGÍA.





## CAPITULO 3. METODOLOGÍA.

### 3.1. Descripción del proceso en general para la obtención del lodo.

#### 3.1.2. Origen de los lodos.

Los lodos químicos fueron producidos en las pruebas de jarras con el agua residual de la Hidroeléctrica de Agua Prieta, Jalisco. Este proceso es una simulación del tratamiento primario avanzado ( TPA ). El agua fué tratada con 73.5 mg/L de sulfato de aluminio y 1.3 mg/L de un polímero aniónico.

Los lodos secundarios se tomaron de una planta de lodos activados del poblado de Juanacatlan, Jalisco.

Fotografía de los lodos del TPA.



### 3.2. Caracterización.

Se tomaron muestras en un periodo de tres meses. Los parámetros realizados se muestran en la Tabla 1. Estos análisis se realizaron de acuerdo a los métodos estándar (APHA, 1989) a excepción de los análisis bacteriológicos en los cuales se utilizara la técnica de conteo en placa. Se utilizara para coliformes fecales el medio de Mc - Konkey y para *Salmonella sp* el medio de Verde Brillante.

Los metales pesados se analizaron por una sola ocasión y el análisis fue realizado en los Laboratorios Sampling servicios ambientales múltiples e ingeniarías S.A. de C.V.

Los análisis que se realizaran en los dos experimentos se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 1. Parámetros que se evaluaron.		
PARÁMETROS	Caracterización	Estabilización
Sólidos Totales, S.T. ( % )	x	x
Sólidos Volátiles Totales, S.V. ( % )	x	x
Sólidos Fijos Totales, S.F. ( % )	x	x
Temperatura, °C	x	x
PH	x	x
Nitrógeno, N ( g/Kg )	x	x
Fósforo, P ( g/Kg )	x	
<i>Salmonella Sp</i> , ( UFC/1g )	x	x
Coliformes fecales, ( UFC/1g )	x	x
Huevos de Helminto, ( Huevo / g. MS )	x	x
Metales pesados *	x	x

\* Aluminio, Arsénico, Boro, Cadmio, Calcio, Cianuro, Cobre, Cromo, Fierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plomo, Sodio y Zinc ( mg/Kg ).

### **3.2.1. Descripción de las técnicas.**

Se utilizaron las siguientes técnicas para la obtención de los parámetros mostrados en la tabla 3.1.

### **3.2.2. Caracterización física.**

#### **\* Determinación de sólidos totales, fijos y volátiles.**

Se tuvo que poner cápsulas de porcelana a peso constante, esto es; metiéndolas al horno durante 12 hrs. a 100°C posteriormente se pasa a un desecador durante 30 min para enfriarlas.

Se pesaron las cápsulas y se anotó el peso, se taro la balanza analítica y se le agregó a la cápsula 50 ml cuando se trató de una muestra líquida y 4 g cuando se tratan de muestras sólidas, se meten las cápsulas con muestra al horno a 100°C durante 12 hrs se sacaron y se dejaron enfriar en el desecador durante 30 min se pesaron y se determinó el porcentaje de sólidos totales, posteriormente se introdujeron en la mufla a 500°C durante 30 min se sacaron y se trasladaron al horno otros 30 min se dejaron enfriar y se pesaron para determinar el porcentaje de sólidos fijos a la diferencia de este peso con 100 son los sólidos volátiles. (APHA,1989).

#### **\* Determinación de pH y temperatura.**

Se hizo una dilución 1:10 de la muestra cuando es sólida y se introduce el electrodo a la muestra calibrado a 10 con una solución amortiguadora Buffer pH 7 y/o 10 se tomó la lectura en el potenciómetro y se midió la temperatura con un termómetro de mercurio, cuando la muestra es líquida se hizo el mismo procedimiento, pero sin dilución.



### 3.2.3. Caracterización química.

#### \* Determinación de Nitrógeno ( N ).

Se secaron las muestras dentro de cápsulas de porcelana en el horno a 100°C durante 12 hrs, se sacaron las muestras y se dejaron enfriar 1 h en un desecador. Ya frías las muestras se pesaron 0.5 g de cada una por duplicado; para posteriormente analizar el nitrógeno total.

#### Nitrógeno amoniacal.

A cada tubo Kjendal se le agregaron 25 ml de solución tampón, 15 ml de agua destilada, 1 ml de NaOH 6N y los 0.5 g de la muestra, posteriormente se introdujo el tubo en el aparato de destilación ( Bücki ) durante 6 min para recuperar 250 ml del condensado en matraces Erlenmeyer que contienen 25 ml de ácido bórico para cada tubo hay un matraz. Se titularon los matraces con Ácido Sulfúrico 0.02N hasta el cambio de vire y se anotó el volumen gastado para determinar el  $N-NH_3$ .

#### Nitrógeno orgánico.

Después se puso a digestión a 200°C durante 30 min y luego a 360°C durante 30 min agregando a cada tubo antes de ponerlos a digerir 10 ml del reactivo de digestión. Se sacaron las muestras y se les agregó 20 ml de NaOH-Tiosulfato y se destilaron para que el condensado obtenido se titule nuevamente con ácido sulfúrico 0.02N, el volumen gastado antes del vire es el  $N_{org}$  obtenido. La suma de estos dos da el Nitrógeno total. Si las muestras son líquidas se agregó 15 ml de la muestra al tubo Kjendal y se realizó el mismo procedimiento ( APHA, 1989 ).

\* Determinación de Fósforo ( Método de digestión con Ácido Perclórico ).

Se lavó el material con HCl caliente al 50%. Se debe tener un matraz por muestra y una pipeta de 10 ml. Cuando es líquida la muestra se agregó 0.25 ml de la misma en 100 ml de agua en matraces de 125 ml y cuando es sólida 0.1 g en 100 ml de agua. Se le agregó a los matraces con muestra una gota de ácido nítrico para acidificar a 2, después se le agregó 5 ml más y se le pusieron piedras de ebullición. Se puso los matraces a digestión en una parrilla de calentamiento hasta que la muestra llegue de 15 a 20 ml aprox. durante 2 hrs la parrilla de calentamiento debe de estar a 250°C.

Se dejaron enfriar las muestras y posteriormente se agregaron 20 ml de  $\text{HNO}_3$  y 10 ml de  $\text{HClO}_4$ , se le puso un vidrio de reloj con agua encima de cada matraz; se dejaron digerir aprox. 6 hrs hasta que la muestra se puso incolora ( 125°C una vez estabilizado 150°C ). Se agregaron a los matraces aforados de 100 ml la solución indicadora ( una gota de fenofaleina ), posteriormente se le agregó NaOH hasta que haya un vire a rosa, después se le agregaron gotas de ácido fuerte hasta que decolore; traspasar las muestras a matraces aforados de 100 ml y se le agregó al matraz aforado 4 ml de reactivo molibdato y 0.5 ml de reactivo cloruro estañoso. Se le agitó y se contaron 10 min. Se dejaron pasar 5 min y en los 5 min restantes se diluyó la muestra si resulta muy coloreada de azul, se realizaron diluciones ( 10 ml de muestra azul y 100 ml de agua ) y se tomó la lectura de incidencia en el fotómetro ( APHA, 1989 ).

\*Determinación de metales pesados.

Los metales pesados fueron analizados a través de un Laboratorio aplicando las siguientes técnicas. El tratamiento de la muestra para determinación de metales, fue realizado a través de la aplicación del método de digestión ácida. Los metales se cuantificaron por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Los análisis se realizaron de acuerdo a las técnicas indicadas en las Normas Oficiales Mexicanas y en los Métodos Estándar.

TECNICA DEL NUMERO MAS PROBABLE (NMP) .



PROCEDIMIENTO DE INOCULACION





### 3.2.4. Caracterización microbiológica.

#### \* Determinación de *Salmonella sp* y Coliformes fecales.

Se prepararon los medios: para *Salmonella sp* se agregaron 58 g de verde brillante en 1 L de agua y para Coliformes 50 g de Mc - Konkey en 1 L de agua se pusieron a calentar con agitación hasta que se disolvieron los gránulos, se introdujeron al autoclave para esterilizarlos a 121°C.

Posteriormente se realizó el vaciado de los medios en cajas petri en un medio estéril mediante mecheros, se dejaron enfriar; ya frías se hicieron diluciones agregando 1 ml o 1 g de muestra en tubos de ensaye con 9 ml de agua estéril se agitaron para hacer una mezcla homogénea se tomó 1 ml y se hizo diluciones hasta los necesarios.

Se tomó 0.05 ml de cada tubo de dilución y se puso en las cajas petri con los medios esto se realizó con las pipetas de 1 ml esterilizadas ( una por muestra y por dilución). Se esparció la gota en todo el medio con una varilla de vidrio en forma de L y se metieron a incubar durante 24 hrs posteriormente se realizó el conteo para determinar la cantidad de coliformes fecales y *Salmonellas sp* presentes. Posteriormente todo se esterilizó.

#### \* Determinación de Huevos de Helminto.

Primeramente se tuvo que sedimentar 5 L de la muestra durante 3 hrs o toda la noche, se decantó y filtró el sedimentado en tamiz 160 um, se enjuagó el filtrado con 5 L de agua y se recuperó el filtrado en el mismo recipiente.

Se volvió a sedimentar la muestra 3 hrs o durante toda la noche, se decantó el sobrenadante y se transfirió los sedimentos en tubos para centrifuga se realizó la centrifugación a 400 g / 3 min ( 1,400 - 2,000 rpm / 3 min ) posteriormente se decantó el sobrenadante.

Sé resuspendió la pastilla con 150 ml de sulfato de zinc ( 1.3 cuantificación, 1.2. viabilidad ), centrifugar a 400 g / 3 min ( 1,400 - 2,000 rpm / 3 min ), se recuperó el sobrenadante en un recipiente de 2 L y se añadió 1 L de agua destilada; se sedimentó nuevamente durante 3 hrs o toda la noche. Después se decantó el sobrenadante y se transfirió el sedimento a dos tubos de 50 ml, se centrifugó a 480 g / 3 min ( 2,000 - 2,500 rpm / 3 min ) se decantó el sobrenadante y se reagrupó el sedimento en un solo tubo con 15 ml de solución ácida o alcohol y 10 ml de éter etílico ( permitiendo que el gas escape al homogeneizarse ). Centrifugar a 660 g / 3 min ( 2,500 - 3,000 rpm / 3 min ) se decantó el sobrenadante y se dejó menos de 1 ml de líquido.

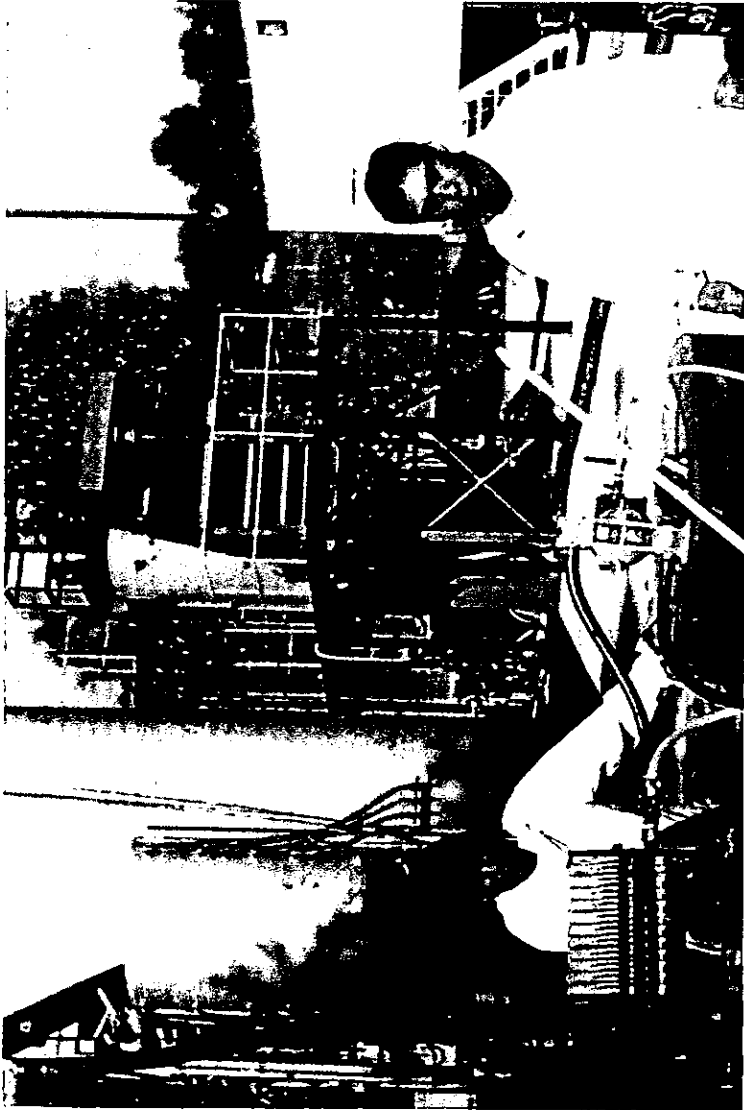
Se llevó acabo la cuantificación se transfirió el sedimento al disco Doncaster o cámara Sedgwick - Rafter y por último se leyó al microscopio y se reportó el número de Huevos por Litro.

### **3.3. Desaguado.**

El objetivo principal de la deshidratación es eliminar tanta agua del lodo como sea posible para producir un material no fluido cuya concentración de sólidos sea significativamente más alta que en un lodo espesado.

A los lodos espesados se les agregó un polímero catiónico de alto peso molecular con una dosis del 3% ( peso seco del lodo / peso seco del polielectrólito ).

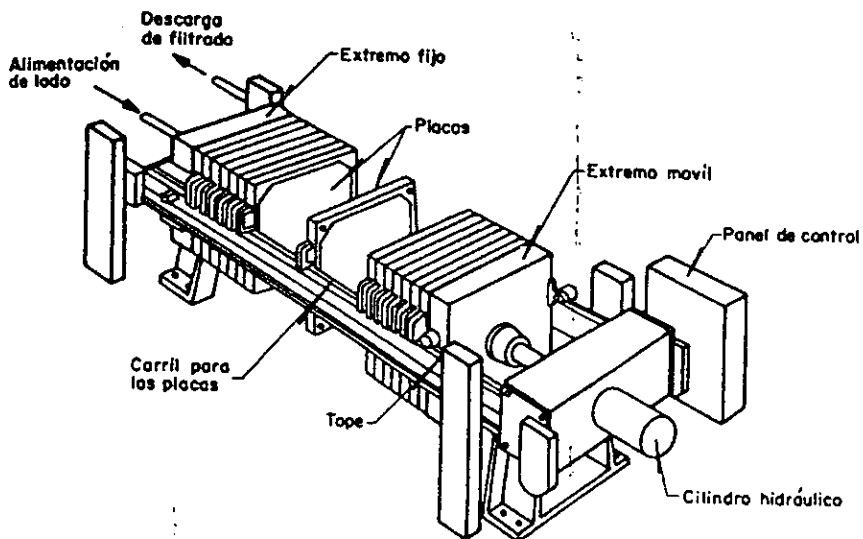
FILTRO PRENSA DE MARCOS Y PLACAS.



A los lodos acondicionados se les desaguó en un filtro prensa con una capacidad de 15 litros para obtener tortas del 15 al 20% de sólidos totales.

A los lodos desaguados se secaron al sol para llegar a una concentración aproximada del 32 al 38% de sólidos totales.

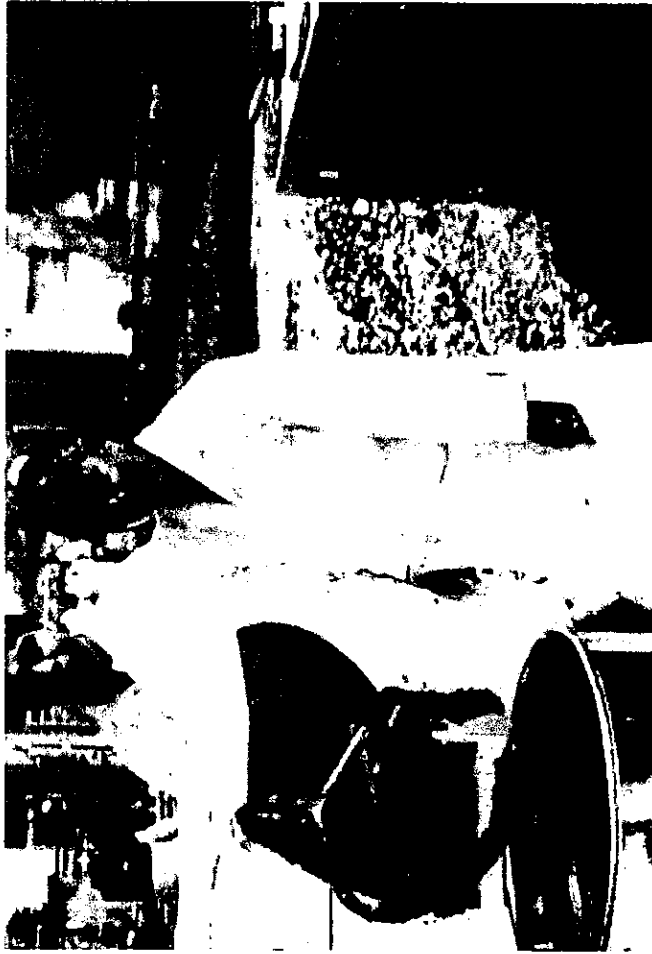
Esquema de un filtro prensa de marco y placa.



### 3.4. Estabilización.

Las tortas con el 32 al 38 % de sólidos totales se les adicionó diferentes dosis de CaO ( 20, 30, y 40 % peso de CaO / peso de lodo seco ) para mezclarlos por 30 min. y así obtener los llamados biosólidos.

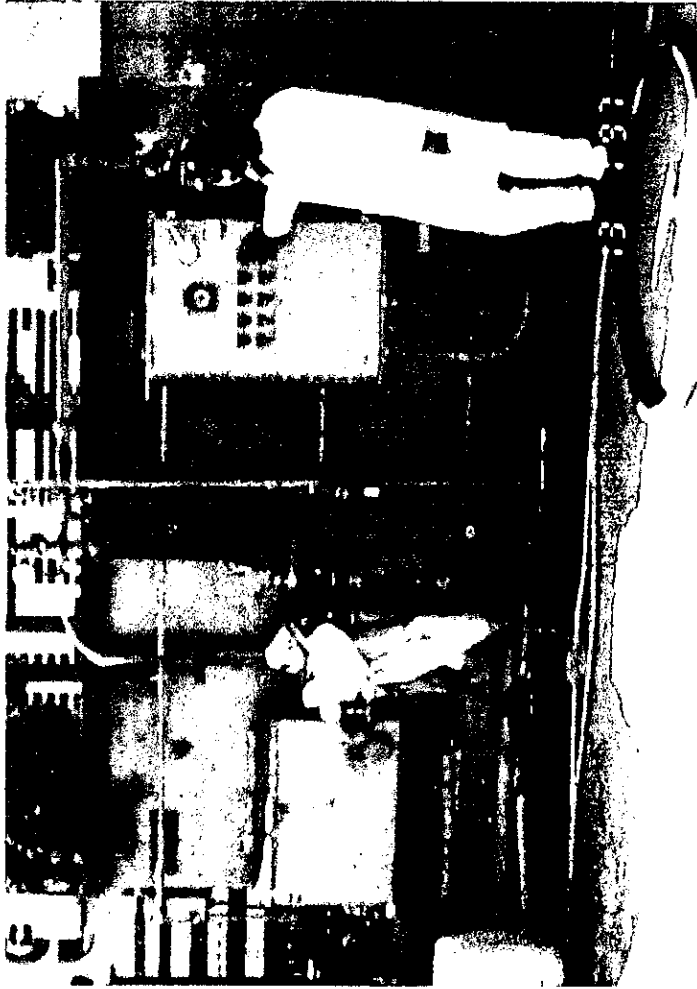
PROCESO DE MEZCLADO PARA LLEVAR A CABO LA ESTABILIZACION





# **CAPITULO 4.**

# **RESULTADOS.**



## CAPITULO 4. RESULTADOS.

### LODOS QUÍMICOS.

#### 4.1. Caracterización de lodos.

En la Tabla 4.1. se observan los resultados sobre la caracterización de los lodos de origen físico - químico (Ver Anexo 7.1). El contenido de nitrógeno y fósforo en los lodos se encuentran por debajo a los reportados por Llagostera y col., (1997 a, b) con lodos obtenidos en diferentes plantas de tratamiento de aguas municipales en España.

**Tabla 4.1. Caracterización de lodos químicos.**

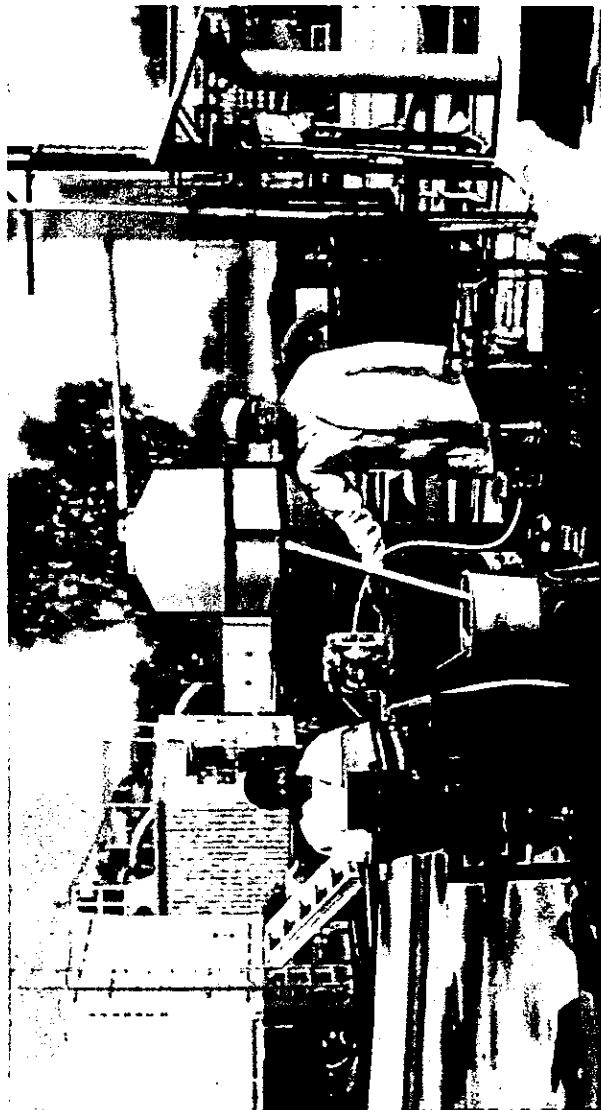
Parámetros	Químicos
Sólidos totales (%)	2.45
Sólidos Volátiles (%)	39.6
Sólidos Fijos (%)	60.4
Nitrógeno total (g/kg.)	15.04
Fósforo total (g/kg.)	3.46
PH	7.04
Coliformes fecales (UFC/g)	$1.33 \times 10^{10}$
<i>Salmonella sp</i> (UFC/g)	$7.03 \times 10^8$

(Ver Anexo 7.2)

Se encontró un mayor contenido de microorganismos patógenos en los lodos de aguas residuales de Guadalajara (Tabla 4.1.) en comparación con los datos bibliográficos. Los coliformes fecales que se detectaron fueron mayores a los promedios reportados por Pedersen, (1981) e incluso salen de los límites reportados. En *Salmonella sp*, se comprueba el alto contenido de bacterias patógenas, ya que este microorganismo también se encuentra por arriba de los límites reportados por Pedersen, (1981).



# CARACTERIZACION DE LOS LODOS



**Tabla 4.2. Metales pesados de los lodos químicos.**

Metales	Químico	Limite de la EPA
Aluminio mg/kg.	34895.32	
Arsénico mg/g	1.25	41
Boro mg/g	0.4032	
Cadmio mg/kg.	0.1411	39
Calcio mg/kg.	11093.55	
Cianuro mg/g	<2.016	
Cromo mg/kg.	20.726	1200
Cobre mg/kg.	16.33	1500
Fierro mg/kg.	7574.2	
Magnesio mg/kg.	4261.69	
Manganeso mg/kg.	63.15	
Mercurio mg/kg.	1.88	17
Níquel mg/kg.	47.057	420
Plomo mg/kg.	28.347	300
Selenio, mg/Kg.	0.00806	
Sodio mg/kg.	9032.26	
Zinc mg/kg.	215.57	2800

(Ver Anexo 7.5)

Todos los metales pesados (Tabla 4.2.) se encuentran por debajo de los límites reportados en la normatividad de la EPA para reuso de lodos en la agricultura (EPA, 1994). Este metal se puede incrementar hasta nueve veces y seguir cumpliendo con la norma.

#### 4.2. Estabilización química.

Los parámetros físicos y químicos por la estabilización térmica alcalina por la adición de diferentes dosis de óxido de calcio se observan en la (Tabla 4.3). Se aprecia que las dosis (30 y 40%) alcanzaron un pH mayor a 12 como lo requiere la estabilización alcalina según la EPA en su apartado 503 (EPA, 1994).

# EQUIPO DE MEZCLADO



**Tabla 4.3. Parámetros físicos y químicos de los lodos químicos posestabilizados con diferentes dosis de óxido de calcio.**

Dosis	Físicos			Químicos	
	ST	SF %	SV	pH	Nitrógeno (g/kg.)
0 %	32.8	61.6	38.4	7.6	12.9
20%	37.7	66.6	33.3	11.71	1.5
30%	41.2	71.5	28.5	12.02	1.2
40%	45.3	77.1	22.9	12.18	1.2

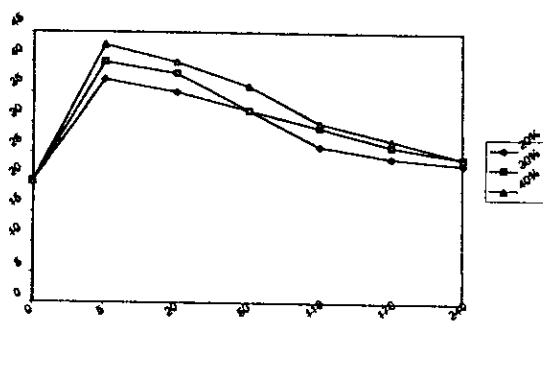
ST= sólidos totales.

SF= sólidos fijos.

SV= sólidos volátiles.

Aunque se observa numéricamente que los sólidos volátiles (Tabla 4.3.) disminuyen esto no ocurre ya que se incrementan los sólidos totales. Por el incremento del pH el nitrógeno disminuye en más del 88% en todas las dosis.

T(°C)



**Gráfica 4.1. Cinética de temperatura con diferentes dosis (20, 30 y 40%) de óxido de calcio en la posestabilización de lodos químicos.**

En la Gráfica 4.1. se observa el incremento de temperatura por la estabilización térmica alcalina de los lodos químicos con una humedad del 61%. Se aprecia que existe un incremento de 20°C en promedio. La dosis del 40g CaO/100g lodo el incremento fue de solo 16% mayor que la de 20g CaO/100g de lodo.

**Tabla 4.4. Eliminación de coliformes fecales, *Salmonella sp* y huevos de helmintos con las diferentes dosis (20, 30 y 40 % peso/peso) de CaO.**

Dosis	Coliformes Fecales (UFC/g)	<i>Salmonella sp</i>	Huevos de helmintos (HH/g)
0 %	$8.70 \times 10^7$	$1.09 \times 10^8$	160
20%	$2.39 \times 10^4$	$2.36 \times 10^4$	42
30%	ND	ND	31
40%	ND	ND	18

En la (Tabla 4.4) se observa la eliminación de los microorganismos patógenos. Se aprecia que las bacterias no son detectadas desde la dosis de 30% (peso/peso) de CaO, mientras los huevos de helminto continúan hasta en la dosis de 40%. Esto concuerda con la literatura donde los huevos de helmintos son los patógenos más resistentes (EPA, 1992).

Esto podría ser debido al que el incremento de temperatura no fue lo suficientemente alto para eliminar los huevos de helminto ya que la máxima temperatura fue de 43°C con un pH de 12.18 (Tabla 4.3). Por las bacterias patógenas las dosis de 30 y 40% de CaO podrían ser considerados lodos tipo "A" pero esto no sucede debido a que la norma establece 0 HH/4g de lodo seco.

## LODOS SECUNDARIOS.

### 4.3. Caracterización de lodos

En la (Tabla 4.5) se observan los resultados sobre la caracterización de los lodos biológicos (Ver Anexo 7.3). El contenido de nitrógeno y fósforo en los lodos se encuentran por debajo a los reportados por Llagostera y col., (1997 <sup>a, b</sup>) con lodos obtenidos en diferentes plantas de tratamiento de aguas municipales en España pero muy similares a los encontrados con aguas residuales del Gran canal de la Ciudad de México (Jiménez y Campos, 1996).

Tabla 4.5. Caracterización de lodos.

Parámetros	Biológicos
Sólidos totales (%)	0.61
Sólidos Volátiles (%)	48.62
Sólidos Fijos (%)	50.46
Nitrógeno total (g/kg.)	20.3
Fósforo total (g/kg.)	6.7
PH	7.17
Huevos de Helminfos (Huevo/gMS)	95
Coliformes fecales (UFC/g)	$3.42 \times 10^7$
<i>Salmonella sp</i> (UFC/g)	$1.37 \times 10^6$

ND = NO DETECTADO (Ver Anexo 7.4)

Se encontró que el contenido de microorganismos patógenos de los lodos de aguas residuales de Juanacatlan, Jalisco se encuentran dentro de los límites reportados en los EUA. Los coliformes fecales que se detectaron fueron mayores a los promedios reportados por Pedersen, (1981), pero dentro de los límites. En *Salmonella sp* se comprueba el alto contenido de bacterias patógenas, ya que este microorganismo también se encuentra por arriba del promedio reportado por Pedersen, (1981); pero son menores a los encontrados en las aguas residuales de la Cd. de México (Campos y col., 1997).

**Tabla 4.6. Metales pesados de los lodos .**

Metales	Biológico	Limite de la EPA
Aluminio mg/kg.	86745.66	
Arsénico mg/g	3.019	41
Boro mg/g	ND	
Cadmio mg/kg.	0.6604	39
Calcio mg/kg.	51909	
Cianuro mg/g	9.434	
Cromo mg/kg.	1390	1200
Cobre mg/kg.	373	1500
Fierro mg/kg.	28464	
Magnesio mg/kg.	19941.51	
Manganeso mg/kg.	268.11	
Mercurio mg/kg.	6.943	17
Niquel mg/kg.	43.4	420
Plomo mg/kg.	241.51	300
Selenio, mg/Kg.	0.3774	
Sodio mg/kg.	26102.5	
Zinc mg/kg.	542.26	2800

(Ver Anexo 7.5)

Los metales pesados (Tabla 4.6) se encuentran por debajo de los límites reportados en la normatividad de la EPA para reuso de lodos en la agricultura (EPA, 1994), excepto el cromo que pasó la concentración límite pero se encontró dentro de la concentración tope que en este caso es de 3000 mg/kg.

En la (Tabla 4.7) se observan los parámetros físicos de la estabilización térmica alcalina. El pH se incrementa en todos los casos a más de 11.6. Se encontró que el nitrógeno disminuyó a medida que se incrementó la dosis, hasta llegar a una pérdida del 67% por la desorción del amonio provocada por el pH mayor de 11.

#### 4.4. Estabilización química.

Tabla 4.7. Parámetros físicos y químicos de los lodos secundarios poestabilizados con diferentes dosis de óxido de calcio.

Dosis	Físicos			Químicos	
	ST	SF %	SV	pH	Nitrógeno (g/kg.)
0 %	38.7	58.4	41.6	7.5	7.9
20%	44.5	68.9	31.1	11.67	4.35
30%	51.7	71.9	28.1	11.80	2.9
40%	54.2	73.9	26.1	12.50	2.6

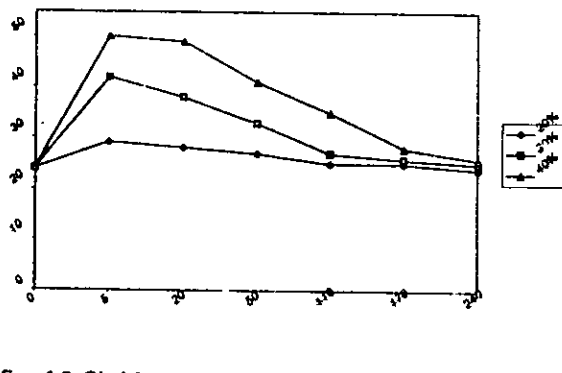
ST= sólidos totales.

SF= sólidos fijos.

SV= sólidos volátiles.

Aunque se observa numéricamente que los sólidos volátiles disminuyen esto no ocurre ya que se incrementan los sólidos totales.

T(°C)



Gráfica 4.2. Cinética de temperatura con diferentes dosis (20, 30 y 40%) de óxido de calcio en la poestabilización de lodos secundarios.



Se observa en la Gráfica 4.2. Que se incrementó la temperatura aproximadamente 10°C por cada dosis. La temperatura máxima alcanzada fue de 50°C con la dosis de 40% (peso de CaO/peso de lodo seco).

**Tabla 4.8. Eliminación de coliformes fecales, *Salmonella sp* y huevos de helmintos con las diferentes dosis (20, 30 y 40 % peso/peso) de CaO.**

Dosis	Coliformes Fecales (UFC/g)	<i>Salmonella sp</i>	Huevos de helmintos (HH/g)
0 %	1.03x10 <sup>7</sup>	1.37x10 <sup>6</sup>	332
20%	ND	ND	80
30%	ND	ND	58
40%	ND	ND	20

ND= no detectado.

En la ( Tabla 4.8 ) se observan los resultados sobre la eliminación de coliformes fecales y *Salmonella sp*. La reducción llega a niveles no detectables con todos los tratamientos.

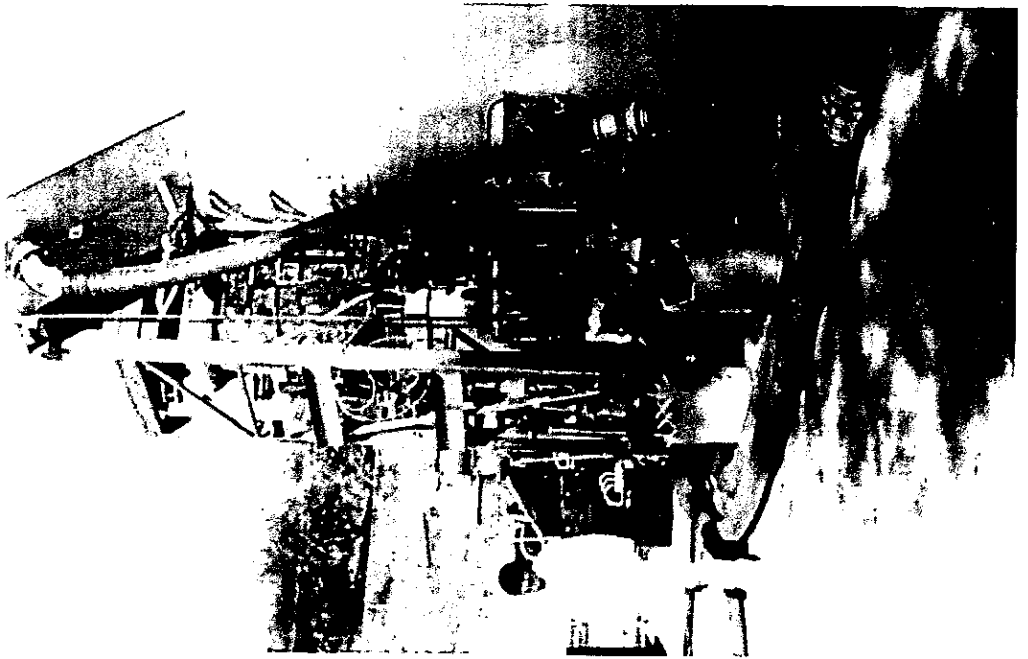
Con estos resultados estos lodos podrían ser tipo "A" por su contenido de bacterias patógenas, pero no lo pueden ser por que los huevos de helmintos no se eliminaron solo se redujeron en un 76% con la dosis más baja hasta 94% con la mayor dosis ( 40 % peso / peso ).

#### **Recomendaciones:**

Los resultados sugieren que la dosis requerida para estabilizar los lodos químicos y biológicos, para obtener biosólidos tipo " B "; es de 20 g. de CaO / 100 g. de lodo seco. Ya que por el alto contenido de huevos de Helmintos no se pudo producir biosólidos tipo " A " ni con la dosis de 40 g. de CaO / 100 g. de lodo seco.



**CAPITULO 5.**  
**ANÁLISIS DE COSTOS**  
**DE PROCESO.**



## **CAPITULO 5. ANÁLISIS DE COSTO DE PROCESO.**

### **5.1. Introducción.**

Uno de los aspectos de mayor importancia que deben ser evaluados con mayor detenimiento, es el relacionado con los costos del proceso de estabilización para una posterior disposición final de los lodos.

Es necesario realizar los diagramas de bloques correspondientes para cada uno de los procesos como base, para analizar cada etapa determinando las operaciones unitarias correspondientes y el balance de masa en cada una de ellas teniendo con esto los elementos necesarios para realizar el análisis de costo. Se determinará el costo del equipo, de productos químicos, de mano de obra para globalizar un costo de proceso (Ver Anexos 7.6 y 7.7).

Con los datos experimentales del capítulo anterior se estimaron los costos relacionados con la estabilización para la producción de una tonelada de lodo; esto se realizó llevando los datos experimentales a datos planta piloto a través de un escalamiento.

### **5.2. Tratamiento Primario Avanzado ( TPA ).**

#### **5.2.1. Breve descripción del proceso.**

El Tratamiento primario avanzado es un proceso en el cual se añaden reactivos químicos al agua para eliminar sólidos suspendidos y materia orgánica. Mediante este sistema aumenta la cantidad de lodos con la adición de químicos que es necesario manejar, tratar y disponer.

Materia prima.	Lodos Químicos obtenidos a partir de un TPA.
Producto.	Biosólido tipo " B ".
Operaciones unitarias.	Sedimentación, agitación, filtración, secado y mezclado.
Equipo.	Sedimentador, bombas, compresores, tanques de agitación, filtro prensa, bandas de transportación y mezcladora.

Los datos experimentales fueron los siguientes:

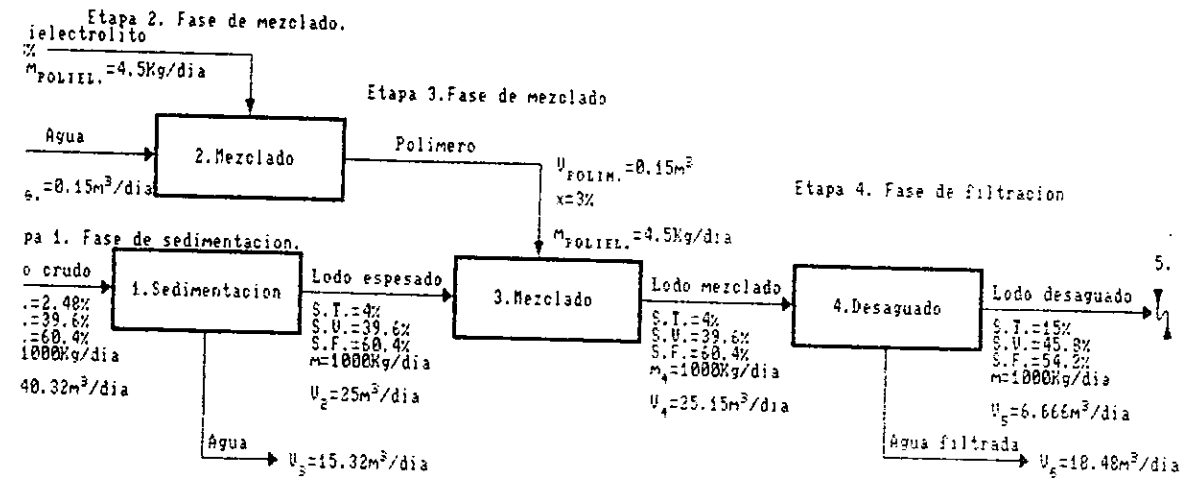
Características del lodo.	Sólidos Totales ( % ).
Lodo crudo	2.48
Lodo sedimentado	4.0
Lodo desaguado	15
Lodo deshidratado	32.8
Lodo estabilizado	37.7

Dosis de CaO es de 20 g. / 100 g. de lodo seco.

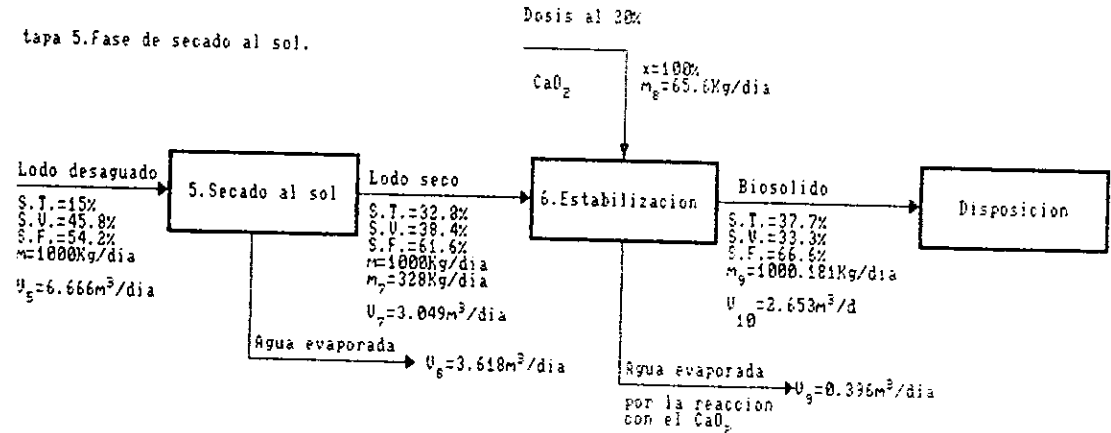
# PROCESO DE DESAGUADO DE LODOS

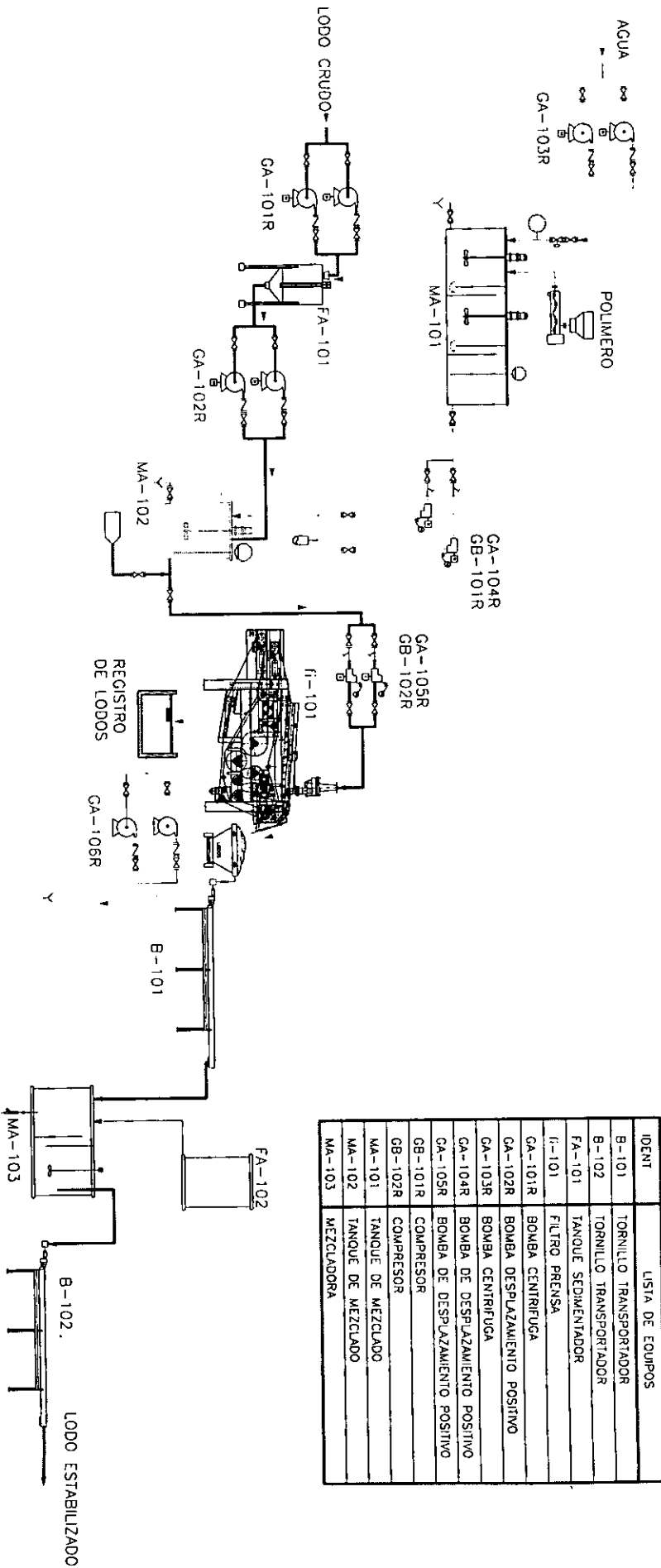


## 5.2.2. Diagrama de bloques por etapas y balance de masa de cada etapa.



Etapa 6. Fase de estabilización  
termica - alcalina.





LISTA DE EQUIPOS	
IDENT	
B-101	TORNILLO TRANSPORTADOR
B-102	TORNILLO TRANSPORTADOR
FA-101	TANQUE SEDIMENTADOR
F-101	FILTRO PRENSA
GA-101R	BOMBA CENTRIFUGA
GA-102R	BOMBA DESPLAZAMIENTO POSITIVO
GA-103R	BOMBA CENTRIFUGA
GA-104R	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
GA-105R	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
GB-101R	COMPRESOR
GB-102R	COMPRESOR
MA-101	TANQUE DE MEZCLADO
MA-102	TANQUE DE MEZCLADO
MA-103	MEZCLADORA

CORRIENTE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
NOMBRE	LODO CRUDO	LODO CRUDO	LODO SEDIMENTADO	LODO SEDIMENTADO	AGUA	AGUA	POLIMERO	AGUA	AGUA	AGUA POLI-LODO	AGUA POLI-LODO	AGUA	LODO ESPESADO	LODO ESPESADO	LODO ESTABILIZADO	LODO ESTABILIZADO	LODO ESTABILIZADO	AGUA
% SÓLIDOS TOTALES	2.48	2.48	4.0	4.0	-	-	3	-	-	39.6	39.6	-	45.8	45.8	33.3	33.3	-	-
% SÓLIDOS VOLÁTILES	39.6	39.6	39.6	39.6	-	-	-	-	-	60.4	60.4	-	54.2	54.2	66.6	66.6	-	-
% SÓLIDOS FIJOS	60.4	60.4	60.4	60.4	-	-	-	-	-	25.15	25.15	-	6.67	6.67	2.65	2.65	-	-
FLUJO m <sup>3</sup> /día	40.32	40.32	25.25	25.25	15	15	15	15	15	25.15	25.15	-	6.67	6.67	2.65	2.65	-	-

DIB. YEHP.

INGENIERIA QUIMICA

OBTENCION DE BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS BIOLÓGICOS PRODUCIDOS POR EL SISTEMA TRAF... MEXICO, D.F.

APROB.

U.N.A.M.-FES "ZARAGOZA"

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO. (D.F.P.)

REV. 0



#### 5.2.4. Análisis de costos de proceso para la estabilización del lodo químico.

Concepto.	Costos. (\$, M.N.)	Propiedades.
Materias primas.		
Poliectrolito 4800.	36.00 Kilo.	4.5 Kg en estado sólido.
Óxido de calcio CaO <sub>2</sub> ( 90% ).	575 Tonelada.	66 Kg en estado sólido.
Equipo.		
Sedimentador.	53,000.00	De acero al carbón (E=1/4") con tapas toriesféricas, d = 13 ft, L = 10 ft.
Mezcladora.	60,000.00	De acero al carbón por pistón.
Mezcladora.	161,000.00	De acero al carbón con paletas tipo turbina con arrancador.
Mezcladora.	50,000.00	De acero al carbón con agitador tipo listón.
Filtro prensa.	80,000.00	De marcos y placas para una capacidad de 25.15 m <sup>3</sup> / día ( 1000 Kg ).
Bomba centrífuga.	12,550.00	
Bombas de diafragma.	33,850.00	
Compresores.	42,800.00	Reciprocante de aire automático, RPM = 900, Potencia del motor 100 HP
Mano de obra.		
Obreros ( 2 ).	2,000.00 (mensuales )	
Vigilante.	1,000.00 (mensuales )	
Mantenimiento.	3,500.00 (mensuales )	
Monto total.	499915.95	
Inversión.	499915.95	

(Ver Anexo 7.8)

### 5.3. Sistema Biológico ( lodos activados ).

#### 5.3.1. Breve descripción del proceso.

Una alternativa factible para procesar las aguas residuales es el empleo del tratamiento secundario; llamado comúnmente sistema biológico y es representado por lodos activados de tasa estándar con sedimentación primaria.

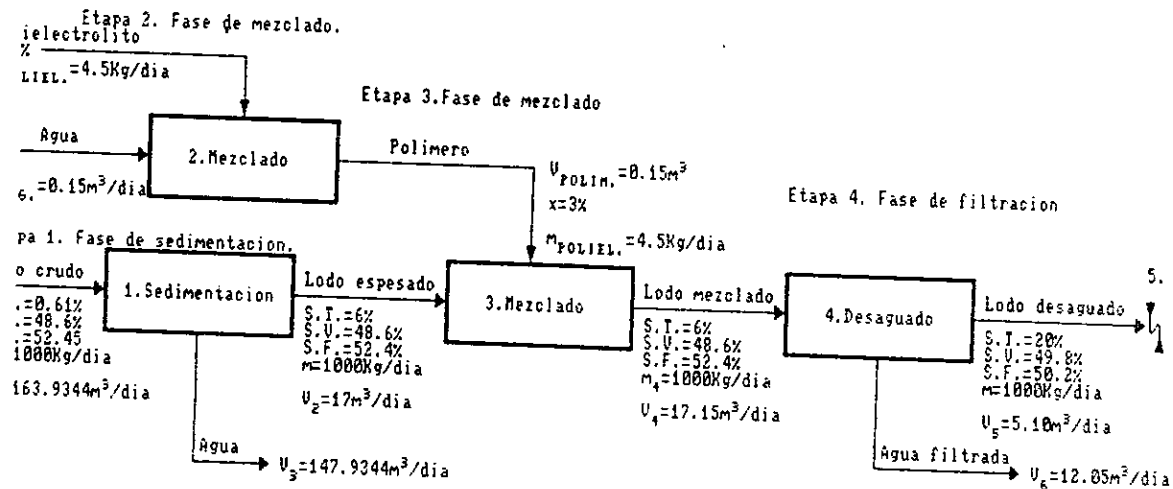
Materia prima.	Lodos Secundarios provenientes del sistema biológico.
Producto.	Biosólido tipo " B ".
Operaciones unitarias.	Sedimentación, agitación, filtración, deshidratación, mezclado.
Equipo.	Sedimentadores, compresores, filtro prensa, bombas, aereadores, mezcladora, tanques de agitación y bandas transportadoras.

Los datos experimentales fueron los siguientes:

Características del lodo.	Sólidos Totales ( % ).
Lodo crudo	0.68
Lodo sedimentado	6.0
Lodo desaguado	20
Lodo deshidratado	38.7

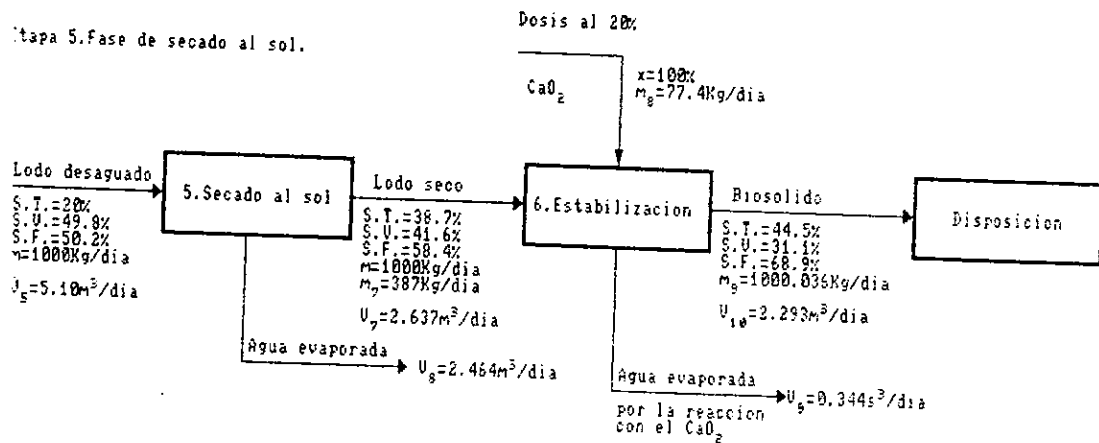
Dosis de CaO es de 20 g. / 100 g. de lodo seco.

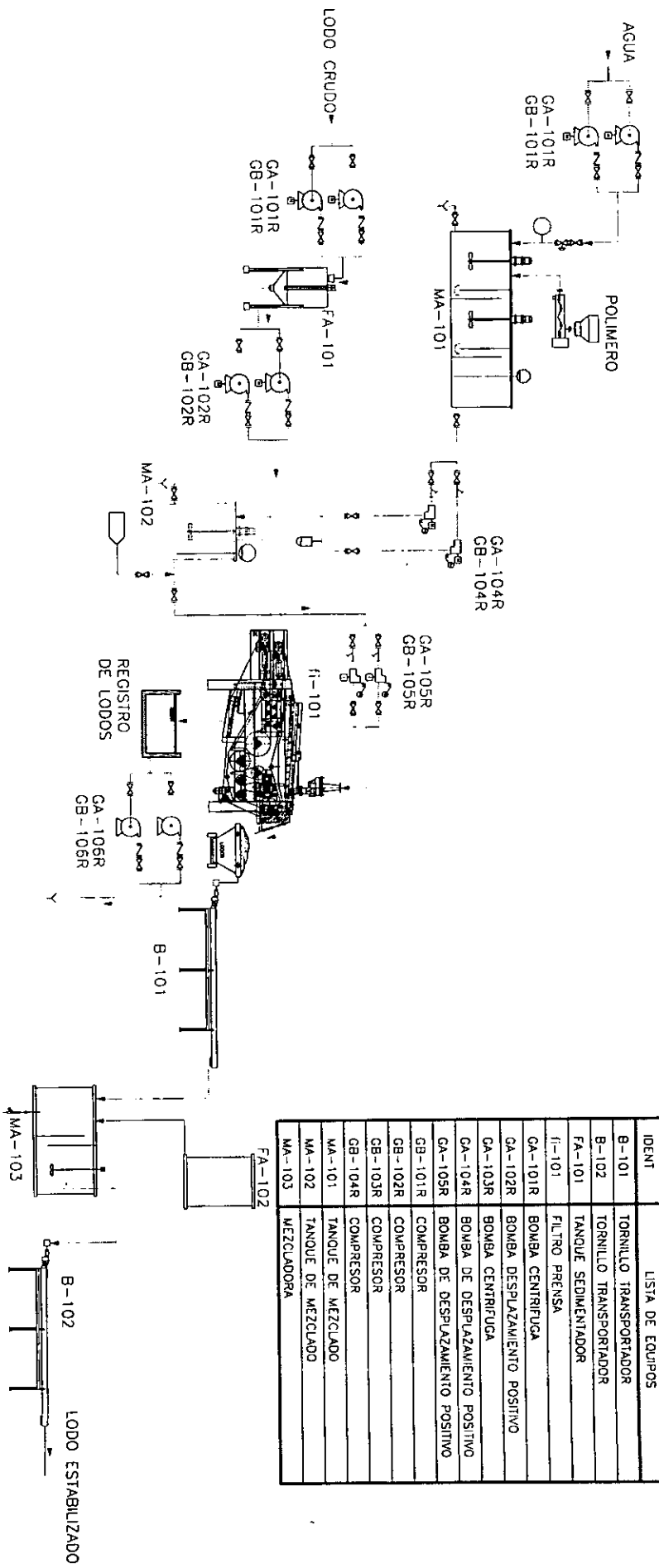
### 5.3.2. Diagrama de bloques por etapas y balance de masa de de cada etapa.



Etapa 6. Fase de estabilización térmica - alcalina.

Etapa 5. Fase de secado al sol.





IDENT	LISTA DE EQUIPOS
B-101	TORNILLO TRANSPORTADOR
B-102	TORNILLO TRANSPORTADOR
FA-101	TANQUE SEDIMENTADOR
FI-101	FILTRO PRENSA
GA-101R	BOMBA CENTRIFUGA
GA-102R	BOMBA DESPLAZAMIENTO POSITIVO
GA-103R	BOMBA CENTRIFUGA
GA-104R	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
GA-105R	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
GB-101R	COMPRESOR
GB-102R	COMPRESOR
GB-103R	COMPRESOR
GB-104R	COMPRESOR
MA-101	TANQUE DE MEZCLADO
MA-102	TANQUE DE MEZCLADO
MA-103	MEZCLADORA

CORRIENTE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
NOMBRE	LODO CRUDO	LODO CRUDO	LODO SEDIMENTADO	LODO SEDIMENTADO	AGUA	AGUA	POLIMERO	AGUA	AGUA	AGUA POLIMERO	AGUA POLIMERO	AGUA	LODO ESPESADO	LODO ESPESADO	LODO ESTABILIZADO	LODO ESTABILIZADO	LODO FILTRADO	AGUA
% SÓLIDOS TOTALES	61	61	6	6	-	-	3	-	-	6	6	-	20	20	44.5	44.5	-	-
% SÓLIDOS VOLÁTILES	48.6	48.6	48.6	48.6	-	-	-	-	-	48.6	48.6	-	49.8	49.8	31.1	31.1	-	-
% SÓLIDOS FIJOS	52.5	52.5	52.5	52.5	-	-	-	-	-	52.5	52.5	-	52.2	52.2	68.9	68.9	-	-
FLUJO m <sup>3</sup> /día	163.9	163.9	17	17	15	15	15	15	15	17.15	17.15	-	5.10	5.10	2.29	2.29	12.05	-

INGENIERIA QUIMICA  
 OBTENCION DE BIOSOLIDOS A PARTIR DEL SISTEMA BIOLÓGICO  
 MEXICO, D.F.

APROB.

U.N.A.M.-FES "ZARAGOZA"

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO. (D.F.F.)

DIB. YEHP.

REV. 0

### 5.3.4. Análisis de costos de proceso para la estabilización del lodo secundario.

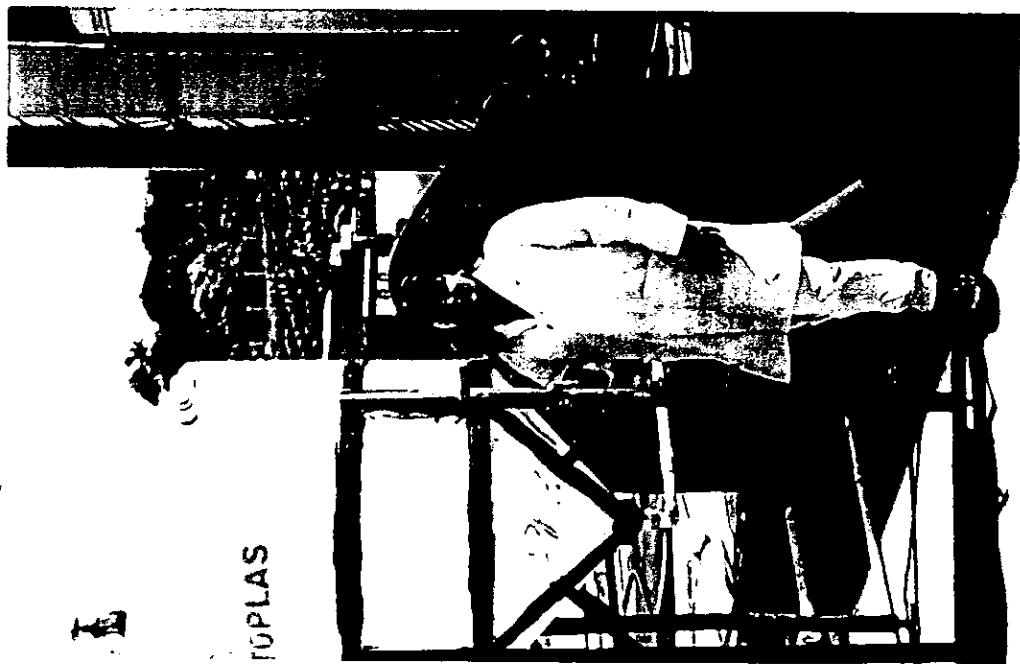
Concepto.	Costos. (\$, M.N.)	Propiedades.
Materias primas.		
Polieléctrolito 4800.	36.00 Kilo.	4.5 Kg en estado sólido.
Óxido de calcio CaO <sub>2</sub> ( 90% ).	575 Tonelada.	78 Kg en estado sólido.
Equipo.		
Sedimentador.	71,000.00	De acero al carbón (E=1/4") con tapas toriesféricas, d = 13 ft, L = 10 ft.
Mezcladora.	60,000.00	De acero al carbón por pistón.
Mezcladora.	161,000.00	De acero al carbón con paletas tipo turbina con arrancador.
Mezcladora.	48,000.00	De acero al carbón con agitador tipo listón.
Filtro prensa.	75,000.00	De marcos y placas para una capacidad de 17.15 m <sup>3</sup> / día ( 1000 Kg. ).
Bomba centrífuga.	12,550.00	
Bombas de diafragma.	33,850.00	
Compresores.	42,800.00	Reciprocante de aire automático, RPM = 900, Potencia del motor 100 HP
Mano de obra.		
Obreros ( 2 ).	2,000.00 (mensuales )	
Vigilante.	1,000.00 (mensuales )	
Mantenimiento.	3,500.00 (mensuales )	
Monto total.	510922.85	
Inversión.	510922.85	

(Ver Anexo 7.9)

**5.4. Descripción del dimensionamiento de equipo a partir del TPA para la obtención del lodo químico.**

EQUIPO	FLUJO (m <sup>3</sup> / día)	DIMENSIONAMIENTO
Tanque Sedimentador en forma circular de acero al carbón.	40.32	$\epsilon = 1/2$ " Periodo de sedimentación = 4 hrs $\phi = 4$ m $h = 3$ m.
Mezclador Agua / Polielectró - lito. Forma rectangular de acero al carbón.	25	$\epsilon = 1/4$ $L = 53$ cm $h = 53$ cm Impulsor $\tau = 100$ rpm $\tau_p = 10$ rps
Mezclador Polímero/ Lodo Forma rectangular de acero al carbón.	25.15	$\epsilon = 1/4$ " $L = 3$ m $h = 3$ m Impulsor $\tau = 100$ rpm
Filtro Prensa de acero al carbón.	25.15	Nº de marcos = 20 Nº de placas = 20 $L = 80$ cm $h = 80$ cm $a = 6.4$ m
Secado en forma rectangular de cemento.	6.67	$L = 12.7$ m $h = 0.53$ m
Mezcladora de acero al carbón en forma cilíndrica lodo / cal.	3.049	$\epsilon = 1/2$ " $\phi = 1.8$ m $h = 1.2$ m Impulsor $\tau = 100$ rpm

TANQUE DE SEDIMENTACION



**5.5. Descripción del dimensionamiento de equipo a partir del sistema biológico para la obtención del lodo secundario.**

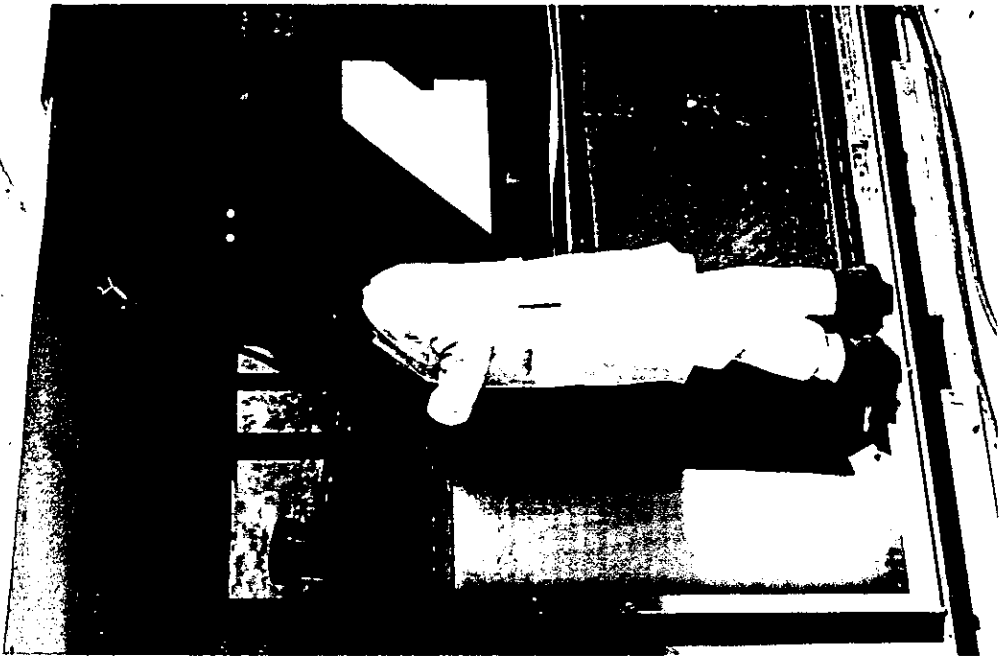
EQUIPO	FLUJO (m <sup>3</sup> / día)	DIMENSIONAMIENTO
Tanque Sedimentador en forma circular de acero al carbón.	164	$\epsilon = 1/2 "$ Periodo de sedimentación = 4 hrs $\phi = 4$ m $h = 8$ m
Mezclador Agua / Polielectró - lito. Forma rectangular de acero al carbón.	25	$\epsilon = 1/4$ $L = 53$ cm $h = 53$ cm Impulsor $\tau = 100$ rpm $\tau_p = 10$ rps
Mezclador Polímero/ Lodo Forma rectangular de acero al carbón.	17.15	$\epsilon = 1/4 "$ $L = 3$ m $h = 3$ m Impulsor $\tau = 100$ rpm
Filtro Prensa de acero al carbón.	17.15	Nº de marcos = 20 Nº de placas = 20 $L = 80$ cm $h = 80$ cm $a = 6.4$ m
Secado en forma rectangular de cemento.	5.10	$L = 9.6$ m $h = 0.53$ m
Mezcladora de acero al carbón en forma cilíndrica lodo / cal.	2.693	$\epsilon = 1/2 "$ $\phi = 1.6$ m $h = 1.4$ m Impulsor $\tau = 100$ rpm





# **CAPITULO 6.**

# **CONCLUSIONES.**



## 6.1. Conclusiones.

1. Los lodos estudiados en esta tesis, por el contenido de metales pesados, se pueden considerar de origen municipal aunque provengan de aguas residuales mixtas.
2. Los lodos que se obtienen del tratamiento de las aguas residuales de Jalisco, contienen gran cantidad de microorganismos patógenos por lo que es necesario estabilizarlos para una posterior disposición y no afectar al medio ambiente.
3. Los lodos del Río Santiago por sus características químicas se pueden rehusar en la agricultura sin ninguna restricción, mientras los lodos de Juanacatlan hay que estar calculando la tasa acumulativa del cromo.
4. La estabilización química con CaO es un método eficiente y sencillo. Es recomendable por su bajo costo y simplicidad de operación, además de que se requiere de poco equipo.
5. Durante el desarrollo se observó que para obtener la reacción exotérmica de la posestabilización con cal en los lodos se requiere tener la cal calcinada y una deshidratación de los lodos.
6. Es importante concluir que aunque se establecieron tres dosis de estabilización con cal (20, 30 y 40%) se observó que con la dosis del 20% de cal se llegan a obtener lodos tipo " B " por lo que no es necesario adicionar más cal porque no se obtendrán lodos tipo " A " por el alto contenido de Huevos de Helmintos.
7. Con el tren de tratamiento utilizado y los lodos obtenidos con las aguas residuales de Jalisco se pueden producir biosólidos tipo " B " con dosis de 20 g. de CaO / 100 g. de lodo seco.
8. Por el alto contenido de Huevos de Helmintos no es recomendable la producción de biosólidos tipo " A " ya que se requerirían dosis mayores a 40 g. de CaO / 100 g. de lodo seco.
9. Una conclusión importante es que al realizar los dos diferentes procesos para obtener lodos físico - químicos y secundarios se observó que ambos cumplen con las normas establecidas para obtener biosólidos tipo "B" y el costo de los procesos es muy similar por lo que ambas opciones sólo se ven diferenciadas en las características de cada lodo.



# CAPITULO 7.

## ANEXOS.

## 7.1, Anexo1, Caracterización del lodo fisicoquímico,

## Lodo Fisicoquímico crudo,

	Caracterización Física				Caracterización Microbiológica			Caracterización Química	
	% S.T.	% S.V.	% S.F.	pH	Ssp(UFC/g)	CF(UFC/g)	H-H	N (g/Kg)	P (g/Kg)
06/97	2,64	7,26	92,74		1,33E+09	2,03E+08			
06/97	2,63	75,21	24,79						
06/97	0,58	86,3	13,7		1,98E+07	3,96E+07			
06/97	2,83	30,49	69,51		4,19E+09	7,78E+09			
06/97	2,63	29,85	70,15						
06/97	2,68	30,25	69,75						
06/97	0,67	65,88	34,11	7,15	2,76E+09	3,50E+10			
06/97	0,66	67,54	32,46						
06/97	2,25	50,99	49,01	6,93	4,35E+08	9,02E+09			
06/97	2,25	51,31	48,69						
06/97	1,93	15,23	84,77	7,43	5,10E+07	2,26E+09			
06/97	1,99	17,27	82,73						
07/97	2,8	32,84	67,16	7,04	5,12E+08	6,49E+09		12,4	3,2
07/97	2,88	34,15	65,85						
07/97	1,53	32,81	67,19	7,45	4,64E+08	1,18E+10		13,6	2,8
07/97	1,51	33,28	66,72						
07/97	2,6	31,53	68,47	6,99				12,1	4,2
07/97	2,53	31,81	68,19						
07/97	2,73	32,47	67,53						
07/97	4,79	36,34	63,66	6,75	9,53E+07	1,35E+09		12,5	3,6
07/97	4,79	36,79	63,21						
07/97	4,03	21,33	78,67	7,18	1,39E+09	1,58E+10		20,1	4,7
07/97	4,21	21,34	78,66						
07/97	2,9	54,35	45,65	6,99	9,29E+09	1,60E+10		17,8	2,9
07/97	2,9	55,09	44,91						
07/97	4,16	24,14	75,86	7,12	2,05E+09	1,15E+11		19,4	3,6
07/97	3,23	24,23	75,77						
07/97	1,76	29,16	70,84	7,28	1,53E+09	8,57E+10		12,4	2,7
07/97	1,61	29,59	70,41	7,28					
07/97	3,73	23,06	76,94	7,8	1,68E+09	1,36E+11			
07/97	3,77	23	77						
07/97	1,1	40,53	59,47	6,96	4,81E+06	5,72E+10			
07/97	1,1	40,65	59,35						
07/97	2,26	47,82	52,18	6,48	1,26E+09	5,06E+10			
07/97	1,98	42,97	57,03	6,84	1,56E+09	6,66E+10			
07/97	1,77	42,98	57,01						
07/97	2,26	30,22	69,77	6,81	8,05E+08	3,28E+10			
07/97	2,23	61,2	38,79	6,9	3,21E+09	5,33E+10			
07/97	2,25	61,47	38,52						
07/97	1,72	60,54	39,47	6,42	3,44E+09	5,74E+10			
07/97	1,76	60,53	39,46						
io	2,45	39,6	60,39	7,04	7,03E+08	3,80E+10	159,6	15,04	3,35

7.2. Anexo2. Media y Desviación estándar del lodo fisicoquímico.		
Lodo Fisicoquímico Crudo.		
Parámetros	$\chi$	$\sigma - 1$
% S.T.	2,454	1,042
% S.V.	39,6049	17,5411
% S.F.	60,3939	17,542
pH	7,0421	0,3307
Ssp (UFC/g)	7,03E+08	6,8077
CF (UFC/g)	1,33E+10	8,4547
H-H	159,6	
N (g/Kg)	15,0375	3,4504
P (g/Kg)	3,4625	0,709
Aluminio (mg/Kg)	34895,323	
Arsénico (mg/Kg)	1,25	
Boro (mg/Kg)	0,4032	
Cadmio (mg/Kg)	0,1411	
Calcio (mg/Kg)	11093,548	
Cianuros (mg/Kg)	2,0161	
Cobre (mg/Kg)	16,331	
Cromo (mg/Kg)	20,726	
Fierro (mg/Kg)	7574,194	
Magnesio (mg/Kg)	4261,694	
Manganso (mg/Kg)	63,145	
Mercurio (mg/Kg)	1,883	
Níquel (mg/Kg)	47,057	
Plomo (mg/Kg)	28,347	
Selenio (mg/Kg)	8,07E-02	
Sodio (mg/Kg)	9032,258	
Zinc (mg/Kg)	215,565	

## 7,3, Anexo3, Caracterización del lodo biológico,

## Lodo Biológico Crudo.

	Caracterización Física				Caracterización Microbiológica			Caracterización Química	
	% S.T.	% S.V.	% S.F.	pH	Ssp(UFC/g)	CF(UFC/g)	H-H	N (g/Kg)	P (g/Kg)
106/97	0,44	50,95	49,05						
106/97	0,42	45,96	54,04			1,16E+09			
106/97	0,41	51,78	48,22		2,43E+06	4,39E+08			
106/97	0,7	53,95	46,05			5,00E+08			
106/97	0,33	50,6	49,4			1,21E+08			
106/97	0,35	57,2	42,8			5,71E+07			
107/97	0,27	58,09	41,95	7,5	6,40E+05	3,40E+07		16,73	5,4
107/97	0,23	58,55	41,45		1,19E+06	3,47E+07			
107/97	0,4	43,65	56,35	7,4	1,21E+06	2,05E+07		22,45	6,4
107/97	1,06	46,13	53,87	7,2	5,47E+05	1,55E+07		20,37	6,7
107/97	1,05	46,25	53,75		6,47E+05	1,39E+07			
107/97	0,54	44,99	55,01	7,3	1,72E+06	3,20E+07		17,45	7,1
107/97	0,53	44,57	55,43		2,00E+06	3,69E+07			
107/97	0,52	44,81	55,19						
107/97	0,53	43,43	56,57	7,4	5,30E+05	1,44E+07		21,3	8,3
107/97	0,55	45,49	54,51		8,69E+05	2,05E+07			
107/97	0,62	44,35	55,65	7	5,92E+05	1,21E+07		23,5	6,3
107/97	0,53	44,7	55,3		7,89E+05	1,95E+07			
107/97	0,51	44,95	55,04		1,58E+06	4,77E+07			
107/97	0,43	55,23	44,76		1,80E+06	6,37E+07			
107/97	0,75	37,69	62,3		2,16E+06	3,38E+07			
107/97	0,51	46,63	53,36		3,30E+06	4,87E+07			
107/97	0,51	56,31	43,68	6,5	2,50E+06	3,31E+07		20,3	6,7
107/97	0,54	53,16	46,84		2,08E+06	3,52E+07			
107/97	0,51	51,6	48,39		2,24E+06	3,47E+07			
107/97	0,57	61,31	38,69		1,83E+06	2,79E+07			
101/97	0,75	51,67	48,32	6,93	1,58E+06	2,42E+07			
107/97	0,58	56,75	43,24		1,93E+06	2,84E+07			
107/97	0,83	46,78	53,21	7,07	1,27E+06	1,36E+07			
107/97	0,85	46,4	53,54		9,82E+05	1,71E+07			
107/97	0,52	52,4	47,59	7,22	2,09E+06	1,29E+07			
107/97	1,07	48,28	51,7	7,18	9,62E+05	7,07E+06			
107/97	1,21	46,9	53,09	7,34	9,91E+05	2,01E+07			
107/97	1,22	57,39	42,6		1,09E+06	1,92E+07			
107/97	0,63	50,64	49,35	7,19	2,81E+06	2,45E+07			
107/97	0,64	50,75	49,24		2,51E+06	2,46E+07			
bio	0,53	48,64	51,37	7,3	1,21E+06	4,13E+07	332,2	20,3	6,7

7.4. Anexo 4. Media y Desviación estándar del lodo secundario.		
Lodo Secundario Crudo.		
Parámetros	$\chi$	$\sigma - 1$
% S.T.	0,6142	0,2492
% S.V.	48,6192	9,0984
% S.F.	50,2647	5,449
pH	7,1715	0,2598
Ssp (UFC/g)	1,37E+06	1,7018
CF (UFC/g)	3,42E+07	2,9458
H-H	332,2	
N (g/Kg)	20,3	2,4744
P (g/Kg)	6,7	0,8813
Aluminio (mg/Kg)	86745,66	
Arsénico (mg/Kg)	3,019	
Boro (mg/Kg)	ND	
Cadmio (mg/Kg)	0,6604	
Calcio (mg/Kg)	51909,434	
Cianuros (mg/Kg)	9,434	
Cobre (mg/Kg)	373,019	
Cromo (mg/Kg)	1390,755	
Fierro (mg/Kg)	28464,34	
Magnesio (mg/Kg)	19941,509	
Manganso (mg/Kg)	268,113	
Mercurio (mg/Kg)	6,943	
Níquel (mg/Kg)	43,396	
Plomo (mg/Kg)	241,509	
Selenio (mg/Kg)	3,77E-01	
Sodio (mg/Kg)	26102,453	
Zinc (mg/Kg)	542,264	



7.5. Anexo 5. Metales pesados del Lodo Físicoquímico y del Lodo Secundario.

Metales pesados del Lodo Físicoquímico.			
Parámetros	Unidad	Resultado	Técnica analítica
Aluminio	mg/Kg	38895,323	3500-Al-B
Arsénico	mg/Kg	1,25	NOM-AA-51-1981
Boro	mg/Kg	0,4032	6010EPA
Cadmio	mg/Kg	0,1411	NOM-AA-51-1981
Calcio	mg/Kg	11093,548	3500-Ca-B
Cianuros	mg/Kg	2,016	NOM-AA-58-1982
Cobre	mg/Kg	16,331	NOM-AA-51-1981
Cromo	mg/Kg	20,726	NOM-AA-51-1981
Hierro	mg/Kg	7574,194	NOM-AA-51-1981
Magnesio	mg/Kg	4261,694	3500-Mg-B
Manganeso	mg/Kg	63,145	3500-Mn-B
Mercurio	mg/Kg	1,883	NOM-AA-51-1981
Níquel	mg/Kg	47,057	NOM-AA-51-1981
Plomo	mg/Kg	28,347	NOM-AA-51-1981
Selenio	mg/Kg	8,06E-02	6010EPA
Sodio	mg/Kg	9032,258	3500-Na-B
Zinc	mg/Kg	215,565	NOM-AA-51-1981

Metales pesados del Lodo Secundario.			
Parámetros	Unidad	Resultado	Técnica analítica
Aluminio	mg/Kg	86745,66	3500-Al-B
Arsénico	mg/Kg	3,019	NOM-AA-51-1981
Boro	mg/Kg	ND	6010EPA
Cadmio	mg/Kg	0,6604	NOM-AA-51-1981
Calcio	mg/Kg	51909,434	3500-Ca-B
Cianuros	mg/Kg	9,434	NOM-AA-58-1982
Cobre	mg/Kg	373,019	NOM-AA-51-1981
Cromo	mg/Kg	1390,755	NOM-AA-51-1981
Hierro	mg/Kg	28460,34	NOM-AA-51-1981
Magnesio	mg/Kg	19941,509	3500-Mg-B
Manganeso	mg/Kg	268,103	3500-Mn-B
Mercurio	mg/Kg	6,943	NOM-AA-51-1981
Níquel	mg/Kg	43,396	NOM-AA-51-1981
Plomo	mg/Kg	241,509	NOM-AA-51-1981
Selenio	mg/Kg	3,77E-01	6010EPA
Sodio	mg/Kg	26102,453	3500-Na-B
Zinc	mg/Kg	542,264	NOM-AA-51-1981

7.6. Anexo 6. Memorias de cálculo del balance de masa del Lodo Fisicoquímico.

Lodo Fisicoquímico.

Etapa 1. Fase de sedimentación.

Entrada.

$$S.T. = 2.48\%$$

$$S.T. = 2.48g/100ml = 24.8g/1L = 0.0248Kg/1L$$

Considerando que se requieren producir 1 Ton / día de biosólido se tienen que:

$$m_i = 1000Kg/día = 1Ton/día \text{ de lodo}$$

$$V_1 = \frac{1000Kg/día}{0.0248Kg/L} = 40322.58L/día = 40.32258m^3/día \text{ de lodo}$$

Salida.

$$V_2 = (40.32m^3/día) \left( \frac{0.0248Kg/L}{0.04Kg/L} \right) = 24.998m^3/día = 25m^3/día \text{ de lodo}$$

$$V_3 = 40.32m^3/día - 25m^3/día = 15.3216m^3/día \text{ de agua}$$

Etapa 2. Fase de mezclado.

Entrada.

De acuerdo a condiciones del fabricante el polímero se prepara en las siguientes condiciones:

1.5g de polielectrolito 4800 → 150ml de agua, esta solución está a una concentración del 100%

Para preparar una solución al 1%, considerando que se quiere preparar  $V_{Ab.} = 0.150m^3/día$  de agua

1.5g → 150ml

$$X \leftarrow 150000ml$$

$$X = 1500g \text{ de polielectrolito} = 1.5Kg \text{ de polielectrolito.}$$

$$m_{Polim.} = 1.5Kg$$

Salida.

De experimentos a nivel laboratorio se considero que la mejor dosis de polímero es al 3%; por lo tanto:

0.3ml de polim. → 50ml de lodo

$$X \leftarrow 25000000ml \text{ de lodo}$$

$$X = 150000ml \text{ de polim.} = 150L = 0.15m^3 \text{ de polim.}$$

$$V_{Polim.} = 0.15m^3/día$$

Para saber la masa de polielectrolito contenida en esta solución:

$$0.15m^3/día \rightarrow 3\%$$

$$3g/100ml = 30g/1L = 30Kg/m^3$$

$$m_{Polielec.} = (0.15m^3/día)(30Kg/m^3) = 4.5Kg/día$$

Etapa 3. Fase de mezclado.

Entrada.

$$V_2 = 25m^3/día, V_{Pol.} = 0.15m^3/día \text{ al } 3\%$$

Salida.

$$V_4 = 25m^3/día + 0.15m^3/día = 25.15m^3/día$$

$$m_4 = 25m^3/día(40Kg/m^3) = 1000Kg$$

Etapa 4. Fase de filtracion.

Entrada.

$$V_4 = 25.15 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Salida.

$$V_5 = 25 \text{ m}^3 / \text{dia} \left( \frac{0.04 \text{ Kg} / \text{L}}{0.15 \text{ Kg} / \text{L}} \right) = 6.666 \text{ m}^3 / \text{dia de lodo}$$

$$V_6 = 25 \text{ m}^3 / \text{dia} - 6.666 \text{ m}^3 / \text{dia} = 18.33 \text{ m}^3 / \text{dia} + 0.15 \text{ m}^3 / \text{dia} = 18.48 \text{ m}^3 / \text{dia de agua}$$

Etapa 5. Fase de secado al sol.

Entrada.

$$V_7 = 6.666 \text{ m}^3 / \text{dia de lodo desaguado}$$

Salida.

$$V_8 = 6.666 \text{ m}^3 / \text{dia} \left( \frac{0.15 \text{ Kg} / \text{L}}{0.328 \text{ Kg} / \text{L}} \right) = 3.049 \text{ m}^3 / \text{dia de lodo}$$

$$V_9 = 6.666 \text{ m}^3 / \text{dia} - 3.049 \text{ m}^3 / \text{dia} = 3.618 \text{ m}^3 / \text{dia de agua}$$

Etapa 6. Fase de estabilizacion termica - alcalina.

Entrada.

$$m_7 = 1000 \text{ Kg} / \text{dia} (0.328) = 328 \text{ Kg} / \text{dia de lodo seco}$$

Dosis al 20%

$$m_8 = 328 \text{ Kg} / \text{dia} (0.20) = 65.60 \text{ Kg} / \text{dia de cal}$$

Salida.

$$V_{10} = 3.049 \text{ m}^3 / \text{dia} \left( \frac{0.328 \text{ Kg} / \text{L}}{0.377 \text{ Kg} / \text{L}} \right) = 2.653 \text{ m}^3 / \text{dia de biosolido}$$

$$m_9 = 2.653 \text{ m}^3 / \text{dia} (377 \text{ Kg} / \text{m}^3) = 1000.181 \text{ Kg} / \text{dia de biosolido}$$

$$V_9 = 3.049 \text{ m}^3 / \text{dia} - 2.653 \text{ m}^3 / \text{dia} = 0.396 \text{ m}^3 / \text{dia de agua}$$

Entrada.

$$m_7 = 1000 \text{ Kg} / \text{dia} (0.328) = 328 \text{ Kg} / \text{dia de lodo seco}$$

Dosis al 30%

$$m_9 = 328 \text{ Kg} / \text{dia} (0.30) = 98.40 \text{ Kg} / \text{dia de cal}$$

Salida.

$$V_{10} = 3.049 \text{ m}^3 / \text{dia} \left( \frac{0.328 \text{ Kg} / \text{L}}{0.412 \text{ Kg} / \text{L}} \right) = 2.427 \text{ m}^3 / \text{dia de biosolido}$$

$$m_{10} = 2.427 \text{ m}^3 / \text{dia} (412 \text{ Kg} / \text{m}^3) = 999.924 \text{ Kg} / \text{dia de biosolido}$$

$$V_{11} = 3.049 \text{ m}^3 / \text{dia} - 2.427 \text{ m}^3 / \text{dia} = 0.6216 \text{ m}^3 / \text{dia de agua}$$

Entrada.

$$m_7 = 1000 \text{ Kg} / \text{dia} (0.328) = 328 \text{ Kg} / \text{dia de lodo seco}$$

Dosis al 40%

$$m_{10} = 328 \text{ Kg} / \text{dia} (0.40) = 131.20 \text{ Kg} / \text{dia de cal}$$

Salida.

$$V_{12} = 3.049 \text{ m}^3 / \text{dia} \left( \frac{0.328 \text{ Kg} / \text{L}}{0.453 \text{ Kg} / \text{L}} \right) = 2.208 \text{ m}^3 / \text{dia de biosolido}$$

$$m_{11} = 2.208 \text{ m}^3 / \text{dia} (453 \text{ Kg} / \text{m}^3) = 1000.224 \text{ Kg} / \text{dia de biosolido}$$

$$V_{13} = 3.049 \text{ m}^3 / \text{dia} - 2.208 \text{ m}^3 / \text{dia} = 0.841 \text{ m}^3 / \text{dia de agua}$$

7.7. Anexo 7. Memorias de cálculo del balance de masa del Lodo Secundario.

Lodo Secundario.

Etapa 1. Fase de sedimentación.

Entrada.

$$S.T. = 0.61\%$$

$$S.T. = 0.61g/100ml = 6.1g/lL = 0.0061Kg/lL$$

Considerando que se requieren producir 1 Ton / día de biosólido se tienen que:

$$m_i = 1000Kg / día = 1Ton / día de lodo$$

$$V_1 = \frac{1000Kg / día}{0.0061Kg / L} = 163934.4262L / día = 163.9344m^3 / día de lodo$$

Salida.

$$V_2 = (163.9344m^3 / día) \left( \frac{0.0061Kg / L}{0.06Kg / L} \right) = 16.6666m^3 / día = 17m^3 / día de lodo$$

$$V_3 = 163.9344m^3 / día - 17m^3 / día = 147.9344m^3 / día de agua$$

Etapa 2. Fase de mezclado.

Entrada.

De acuerdo a condiciones del fabricante el polímero se prepara en las siguientes condiciones:

1.5g de polielectrolito 4800 → 150ml de agua, esta solución está a una concentración del 100%.

Para preparar una solución al 1%, considerando que se quiere preparar  $V_{Ag} = 0.150m^3 / día$  de agua.

$$1.5g \rightarrow 150ml$$

$$X \leftarrow 150000ml \quad X = 1500g \text{ de polielectrolito} = 1.5Kg \text{ de polielectrolito}$$

$$m_{Polim} = 1.5Kg$$

Salida.

De experimentos a nivel laboratorio se considero que la mejor dosis de polímero es al 3%; por lo tanto:

$$0.3ml \text{ de polim.} \rightarrow 50ml \text{ de lodo}$$

$$X \leftarrow 25000000ml \text{ de lodo} \quad X = 150000ml \text{ de polim.} = 150L = 0.15m^3 \text{ de polim.}$$

$$V_{Polim} = 0.15m^3 / día$$

Para saber la masa de polielectrolito contenida en esta solución:

$$0.15m^3 / día \rightarrow 3\%$$

$$3g / 100ml = 30g / lL = 30Kg / m^3$$

$$m_{electrol.} = (0.15m^3 / día) (30Kg / m^3) = 4.5Kg / día$$

Etapa 3. Fase de mezclado.

Entrada.

$$V_2 = 17m^3 / día, V_{Pol} = 0.15m^3 / día \text{ al } 3\%$$

Salida.

$$V_4 = 17m^3 / día + 0.15m^3 / día = 17.15m^3 / día$$

$$m_4 = 17m^3 / día (58.8Kg / m^3) = 1000Kg$$

$$m_4 = 17.15m^3 / día (58.8m^3 / día) = 1008Kg$$

Etapa 4. Fase de filtracion.

Entrada.

$$V_4 = 17.15 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Salida.

$$V_5 = 17 \text{ m}^3 / \text{dia} \left( \frac{0.06 \text{ Kg} / \text{L}}{0.20 \text{ Kg} / \text{L}} \right) = 5.1 \text{ m}^3 / \text{dia de lodo}$$

$$V_6 = 17 \text{ m}^3 / \text{dia} - 5.1 \text{ m}^3 / \text{dia} = 11.90 \text{ m}^3 / \text{dia} + 0.15 \text{ m}^3 / \text{dia} = 12.05 \text{ m}^3 / \text{dia de agua}$$

Etapa 5. Fase de secado al sol.

Entrada.

$$V_5 = 5.1 \text{ m}^3 / \text{dia de lodo desaguado}$$

Salida.

$$V_7 = 5.1 \text{ m}^3 / \text{dia} \left( \frac{0.20 \text{ Kg} / \text{L}}{0.387 \text{ Kg} / \text{L}} \right) = 2.637 \text{ m}^3 / \text{dia de lodo}$$

$$V_8 = 5.1 \text{ m}^3 / \text{dia} - 2.637 \text{ m}^3 / \text{dia} = 2.464 \text{ m}^3 / \text{dia de agua}$$

Etapa 6. Fase de estabilizacion termica - alcalina.

Entrada.

$$m_7 = 1000 \text{ Kg} / \text{dia} (0.387) = 387 \text{ Kg} / \text{dia de lodo seco}$$

Dosis al 20%

$$m_8 = 387 \text{ Kg} / \text{dia} (0.20) = 77.40 \text{ Kg} / \text{dia de cal}$$

Salida.

$$V_8 = 2.637 \text{ m}^3 / \text{dia} \left( \frac{0.387 \text{ Kg} / \text{L}}{0.445 \text{ Kg} / \text{L}} \right) = 2.293 \text{ m}^3 / \text{dia de biosolido}$$

$$m_9 = 2.637 \text{ m}^3 / \text{dia} (445 \text{ Kg} / \text{m}^3) = 1000.036 \text{ Kg} / \text{dia de biosolido}$$

$$V_9 = 2.637 \text{ m}^3 / \text{dia} - 2.293 \text{ m}^3 / \text{dia} = 0.344 \text{ m}^3 / \text{dia de agua}$$

Entrada.

$$m_7 = 1000 \text{ Kg} / \text{dia} (0.387) = 387 \text{ Kg} / \text{dia de lodo seco}$$

Dosis al 30%

$$m_9 = 387 \text{ Kg} / \text{dia} (0.30) = 116.10 \text{ Kg} / \text{dia de cal}$$

Salida.

$$V_{10} = 2.637 \text{ m}^3 / \text{dia} \left( \frac{0.387 \text{ Kg} / \text{L}}{0.517 \text{ Kg} / \text{L}} \right) = 1.974 \text{ m}^3 / \text{dia de biosolido}$$

$$m_{10} = 1.974 \text{ m}^3 / \text{dia} (517 \text{ Kg} / \text{m}^3) = 999.878 \text{ Kg} / \text{dia de biosolido}$$

$$V_{11} = 2.637 \text{ m}^3 / \text{dia} - 1.974 \text{ m}^3 / \text{dia} = 0.663 \text{ m}^3 / \text{dia de agua}$$

Entrada.

$$m_7 = 1000 \text{ Kg} / \text{dia} (0.387) = 387 \text{ Kg} / \text{dia de lodo seco}$$

Dosis al 40%

$$m_{10} = 387 \text{ Kg} / \text{dia} (0.40) = 154.80 \text{ Kg} / \text{dia de cal}$$

Salida.

$$V_{12} = 2.637 \text{ m}^3 / \text{dia} \left( \frac{0.387 \text{ Kg} / \text{L}}{0.542 \text{ Kg} / \text{L}} \right) = 1.883 \text{ m}^3 / \text{dia de biosolido}$$

$$m_{11} = 1.883 \text{ m}^3 / \text{dia} (542 \text{ Kg} / \text{m}^3) = 999.999 \text{ Kg} / \text{dia de biosolido}$$

$$V_{13} = 2.637 \text{ m}^3 / \text{dia} - 1.883 \text{ m}^3 / \text{dia} = 0.754 \text{ m}^3 / \text{dia de agua}$$

### 7.8. Memorias de calculo del dimnsionamento de equipo para el proceso fisico - quimico

Tanque de sedimentacion (FA - 101)

Producto: lodo crudo.

S. T.: 2.48%.

V:  $40.32m^3 / dia$ .

Material: Acero al carbon.

Espeso:  $1/4"$

T(° C): 25

P(atm): 1

$$V = d^2 (0.011d + 0.785h)$$

$$V = 0.011d^3 + 0.785hd^2$$

$$V = 40.32m^3 / dia, \text{ suponiendo } h = 3m$$

$$40.32 = 0.011d^3 + 0.785(3)d^2$$

$$0.011d^3 + 2.355d^2 - 40.32 = 0$$

$$d = 4.099m$$

Mezclador (agua / polielectrolito)(MA - 101)

Impulsor:  $r = 100rpm$ .

$$r_p = 10pps$$

$$V = L * A * H = L^3$$

$$L = \sqrt[3]{V}$$

$$V = 25m^3 / dia$$

$$L = \sqrt[3]{25} = 0.53m$$

Mezclador (polimero / lodo)(MA - 102).

Impulsor:  $\tau = 100rpm$

$$V = L^3, L = \sqrt[3]{V}$$

$$V = 25.15, L = \sqrt[3]{25.15} = 2.58m$$

Filtro Prensa (Fi - 101).

Operacion unitaria: separacion mecanica.

Producto: fluido - solido " lodo crudo "

T(° C) = 25, V =  $25.15m^3 / dia$ , Cs = 4% en peso.

N° marcos = 20, N° placas = 20

L = 80cm, h = 80cm, a = 6.4m

Secado.

$$V = 6.67 \text{ m}^3 / \text{dia.}$$

$$V = L * h$$

$$6.67 = 0.23 * h$$

$$h = \frac{6.67}{0.23} = 29$$

$$h = 0.23 \text{ m}$$

$$L = 29 \text{ m}$$

Mezcladora (MA -103).

Acero al carbon.

$$V = 3.049$$

impulsor:  $r = 100 \text{ rpm}$

(lodo / cal)

$$V = \pi r^2 h$$

$$3.049 = \pi r^2 h$$

Suponiendo  $h = 1.2 \text{ m}$

$$3.049 = \pi r^2 (1.2)$$

$$r^2 = \frac{3.049}{3.049}$$

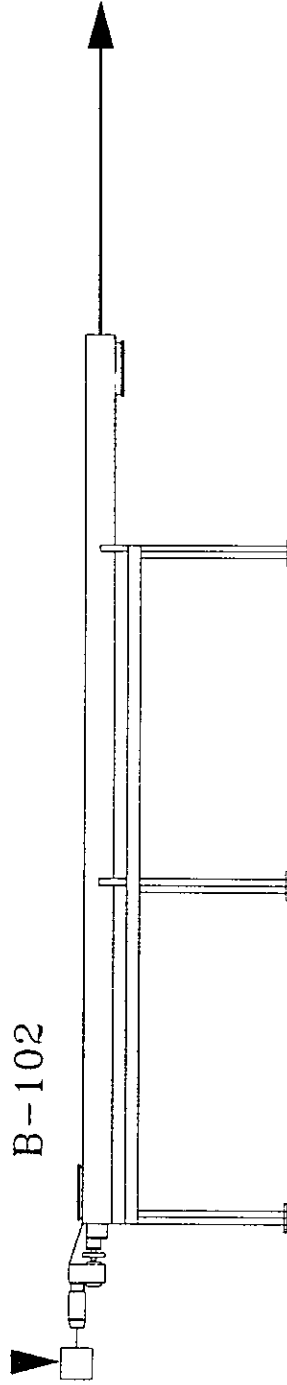
$$r = \sqrt{0.8088} = 0.8993$$

$$V = 3.049 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

$$h = 1.2 \text{ m}$$

$$\phi = 1.8 \text{ m}$$

B-102



INGENIERIA QUIMICA  
OBTENCION DE BIOSOLIDOS

MEXICO. D. F.



APROB.

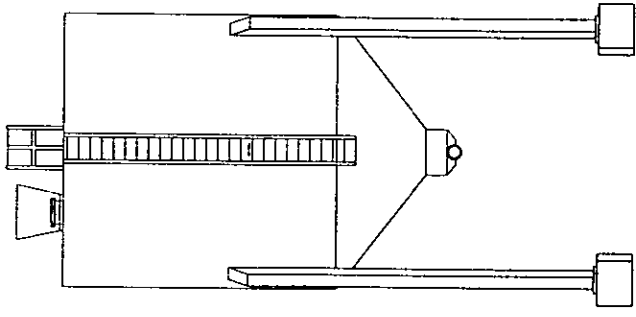
U.N.A.M. - FES " ZARAGOZA "  
DIAGRAMA DE FLUJO DE  
PROCESO. (D.F.P.)

DIB. YEHP.

REV. 0



FA-101



INGENIERIA QUIMICA  
OBTENCION DE BIOSOLIDOS

MEXICO. D.F.

A  
98

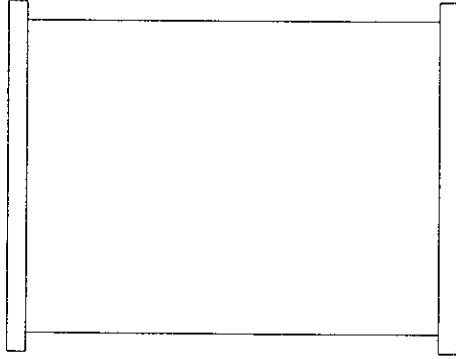
APROB.

U.N.A.M.-FES " ZARAGOZA "  
DIAGRAMA DE FLUJO DE  
PROCESO. (D.F.P.)

DIB. YEHP.

REV. 0

FA-102



INGENIERIA QUIMICA  
OBTENCION DE BIOSOLIDOS A

MEXICO, D.F.

1A  
19B

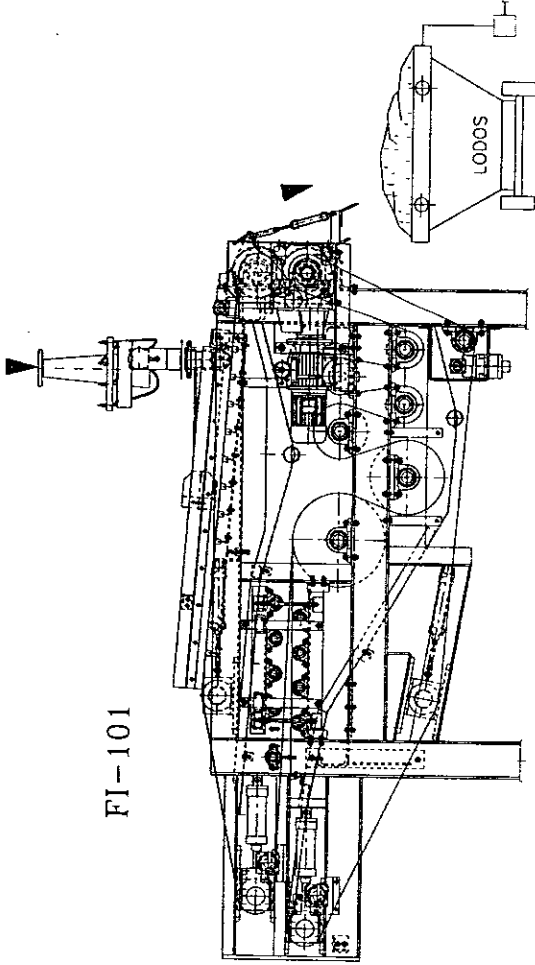
APROB.

U.N.A.M.-FES " ZARAGOZA "  
DIAGRAMA DE FLUJO DE  
PROCESO. (D.F.P.)

REV. 0

DIB. YEHP.

FI-101



INGENIERIA QUIMICA  
OBTENCION DE BIOSOLIDOS

MEXICO. D.F.

A.  
98

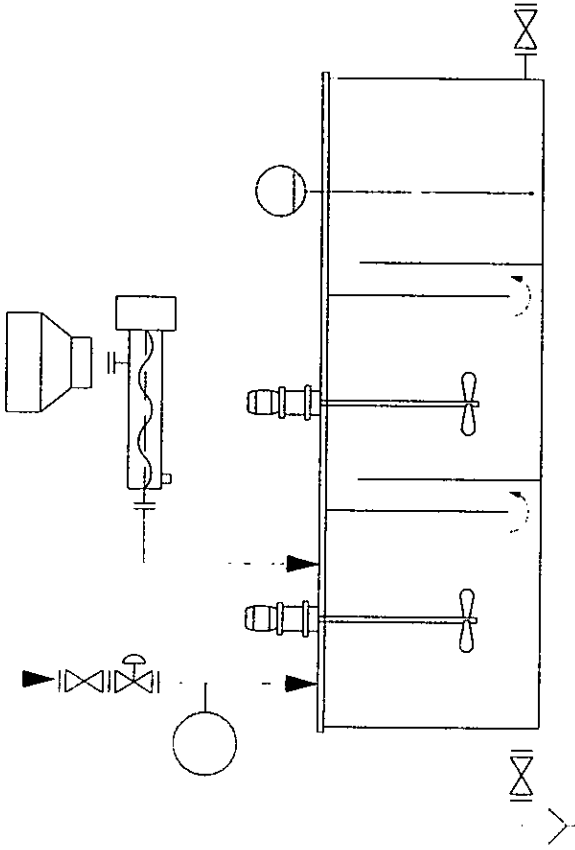
APROB.

Z U.N.A.M.-FES " ZARAGOZA "  
DIAGRAMA DE FLUJO DE  
PROCESO. (D.F.F.)

REV. 0

DIB. YEHP.

POLIMERO



MA-101

INGENIERIA QUIMICA  
OBTENCION DE BIOSOLIDOS

DIB. YEHP.

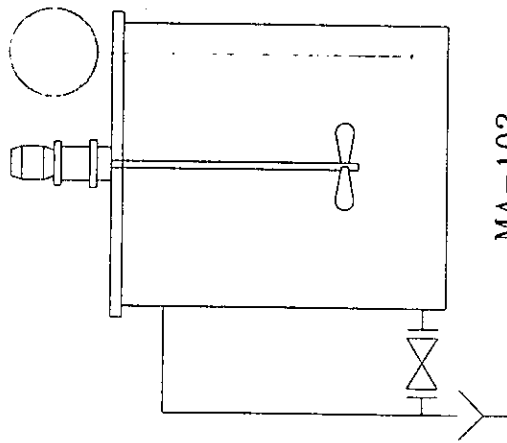
MEXICO: I. F.

APROB.

14  
98

U.N.A.M.-FES "ZARAGOZA"  
DIAGRAMA DE FLUJO DE  
PROCESO. (D.F.P.)

REV. 0



MA-102

INGENIERIA QUIMICA  
OBTENCION DE BIOSOLIDOS

M E X I C O . I . F .

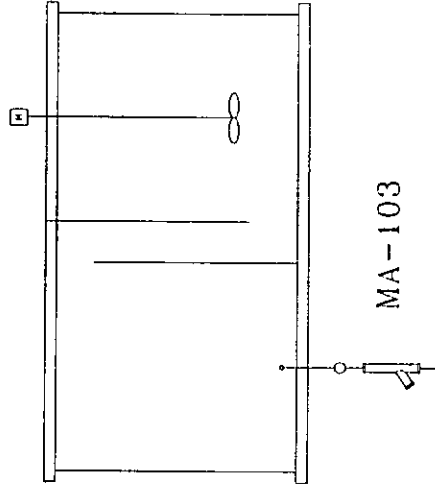
A  
98

APROB. :

U.N.A.M.-FES " ZARAGOZA "  
DIAGRAMA DE FLUJO DE  
PROCESO. (D.F.P.)

REV. 0

DIB. YEHP.



MA-103

INGENIERIA QUIMICA  
OBTENCION DE BIOSOLIDOS

MEXICO: D.F.

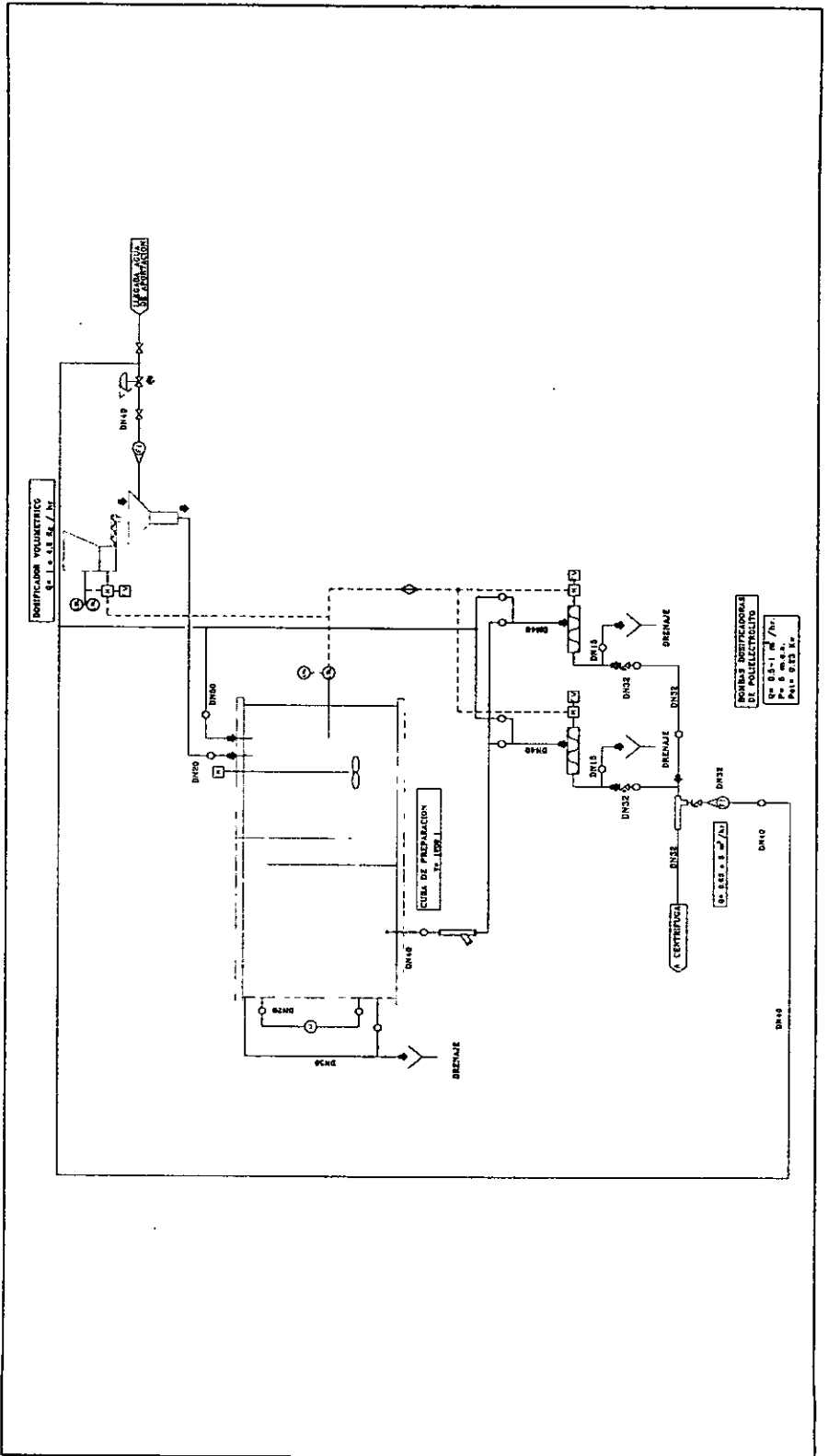
20

APROB.

U.N.A.M.-FES " ZARAGOZA "  
DIAGRAMA DE FLUJO DE  
PROCESO. (D.F.P.)

DIB. YEHP.

REV. 0



### 7.9. Memorias de calculo del dimensionamiento de equipo para el sistema biologico.

Tanque de sedimentacion (FA - 101)

Producto: lodo crudo.

S. T.: 0.61%.

V:  $164m^3 / dia$ .

Material: Acero al carbon.

Espesro: 1/2"

T(° C): 25

P(atm): 1

$$V = d^2(0.011d + 0.785h)$$

$$V = 0.011d^3 + 0.785hd^2$$

$$V = 164m^3 / dia, \text{ suponiendo } h = 8m$$

$$164 = 0.011d^3 + 0.785(8)d^2$$

$$0.011d^3 + 6.28d^2 - 164 = 0$$

$$d = 5.08m$$

Mezclador (agua / polielectrolito)(MA - 101)

Impulsor:  $r = 100rpm$ .

$$r_p = 10pps$$

$$V = L * A * H = L^3$$

$$L = \sqrt[3]{V}$$

$$V = 25m^3 / dia$$

$$L = \sqrt[3]{25} = 0.53m$$

Mezclador (polimero / lodo)(MA - 102).

Impulsor:  $r = 100rpm$

$$V = L^3, L = \sqrt[3]{V}$$

$$V = 17.15, L = \sqrt[3]{17.15} = 2.58m = 3m.$$

Filtro Prensa (Fi - 101).

Operacion unitaria: separacion mecanica.

Producto: fluido - solido " lodo crudo"

T(° C) = 25, V =  $25.15m^3 / dia$ , Cs = 4% en peso.

N° marcos = 20, N° placas = 20

L = 80cm, h = 80cm, a = 6.4m



Secado.

$$V = 5.10\text{m}^3 / \text{dia.}$$

$$V = L * h$$

$$5.10 = 0.23 * h$$

$$h = \frac{5.10}{0.23} = 22.17$$

$$h = 0.23\text{m}$$

$$L = 22.17\text{m}$$

Mezcladora (MA - 103).

Acero al carbon.

$$V = 2.693$$

impulsor:  $r = 100\text{rpm}$

(lodo / cal)

$$V = \pi^2 h$$

$$2.693 = \pi^2 h$$

Suponiendo  $h = 1.4\text{m}$

$$2.693 = \pi^2 (1.4)$$

$$r^2 = \frac{2.693}{4.3982}$$

$$r = \sqrt{0.6123} = 0.7825$$

$$V = 2.693\text{m}^3 / \text{dia}$$

$$h = 1.2\text{m}$$

$$\phi = 1.56\text{m} = 1.6\text{m.}$$

**BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS QUIMICOS**  
**HOJA DE CALCULO PARA DETERMINAR EL COSTO DEL M3 DE LODO TRATADO. (QUIMICO)**

**DATOS DE PARTIDA**

Caudal diario	40,32 m <sup>3</sup> /día
Caudal horario (Q24)	1,68 m <sup>3</sup> /hr.
Caudal total anual	14.716,80 m <sup>3</sup> /año
Caudal medio	0,47 LPS

**GASTOS DE EXPLOTACION****A) Gastos Fijos****1A) Personal**

Responsable: Ing. 6 Técnico especializado

Sueldo diario	250,00 N\$/día	Turnos	horas
Fasas (factor salario real)	1,86	0	0
Sueldo Semanal	0 N\$/ semana		

Operador de Planta: un operador

Sueldo diario	55,50 N\$/día turno	Turnos	Horas
Fasas (factor salario real)	1,86	12	8
Sueldo Semanal	1236,1626 N\$/ semana		

Vigilantes: un vigilante

Sueldo diario	35,00 N\$/día turno	Turnos	Horas
Fasas (factor salario real)	1,86	2	24
Sueldo Semanal	129,927 N\$/ semana		

**2A) Costo de Construcción, Instalación y Equipos de la planta depuradora.**

Equipos Electromecánicos	N\$499.915,95	N\$49.991,60
Obra Civil	N\$25.000,00	N\$1.666,67
Materiales	N\$10.000,00	
Laboratorio	N\$2.000,00	
Mobiliario de oficina y laboratorio	N\$15.000,00	
Vehículo para recogida de lodos	N\$1.310,00	
Toma muestras	N\$3.000,00	
Varios	N\$3.000,00	
Costos indirectos	N\$8.596,83	
<b>Costo Total</b>	<b>N\$94.565,09</b>	

**3A) Análisis y Control de Proceso**

Nº Análisis Normales:	8 Unidades
Costo del Análisis:	N\$100,00 / unidad
Costo Anual:	N\$800,00 / año

Nº Análisis Complementarios:	6 Unidades
Costo del Análisis:	N\$500,00 / unidad
Costo Anual:	N\$3.000,00 / año

Nº Análisis Especiales:	4 Unidades
Costo del Análisis:	N\$580,00 / unidad
Costo Anual:	N\$2.320,00 / año

## BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS QUÍMICOS

**4A) Mantenimiento de equipos**

Según la experiencia, corresponde al

2 % anual sobre el costo total de planta.

Costo Anual:

N\$9.898,32 / año

**5A) Mantenimiento Obra Civil**

De acuerdo a la experiencia, corresponde al

0,5 % del costo de la obra civil.

Costo Anual

N\$125,00 / año

**7A) Gastos de Reactivos****1.- Gas Cloro**

Concentración 0,00 ppm

Precio \$ 12,00 Kg

N\$0,00 / año

**2.- Cal:**

Precio \$ 0,57 Kg

Periodo de dosificación: 365,00 días

Consumo diario 78,00 Kg/día

N\$16.227,90 / año

**3.- Polielectrolito:**

Precio \$ 36,00 Kg

Periodo de dosificación: 365,00 días

Consumo diario 4,50 Kg/día

N\$59.130,00 / año

Costo de metro cubico en función de reactivos

\$ 5,1205 m<sup>3</sup>**8A) Retirada de Residuos**

La evacuación de lodos estabilizados será:

Volumen de lodos deshidratados:

59860,00 m<sup>3</sup>/año

Capacidad de camión comercial:

5,00 m<sup>3</sup>

Número máximo de acarreos por año:

11972,00 viajes

Costo unitario de transporte:

\$ 2,50 m<sup>3</sup>/km

Distancia de transporte:

4,00 Km

Costo anual:

N\$119.720,00

**9A) Seguros y Gastos Administrativos**

Limpieza de edificaciones

N\$1.000,00

Vestuario

N\$0,00

Teléfono, Agua potable

N\$3.000,00

Impresos y correo

N\$0,00

Lic. Fiscal

N\$0,00

Seguro Responsabilidad civil

N\$1.500,00

Viajes de supervisión y mantenimiento

N\$3.000,00

Transporte y medios materiales

N\$3.000,00

Costo anual:

N\$11.500,00

**11A) Resumen de Gastos Fijos**

Cálculo de costo de explotación

BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS QUIMICOS

1) Personal	N\$71.036,7 / año
2) Instalación y P.en M.	N\$94.565,1 / año
3) Análisis	N\$6.120,00 / año
4) Mantenimiento de equipos	N\$9.998,32 / año
5) Mantenimiento obra civil	N\$125,00 / año
6) Gastos Generales	N\$5.000,00 / año
7) Gastos de Reactivos	N\$75.357,90 / año
8) Retirada de residuos	N\$119.720,00 / año
9) Seguros y Gastos Administrativos	N\$11.500,00 / año
<u>Total Gastos Fijos</u>	<u>N\$393.422,87 / año</u>

*B) Gastos Variables ( Consumo de Energía Eléctrica).*

Costo Energía Eléctrica: N\$ 2,80 Kw/hr

## BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS QUIMICOS

Mezcladora	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	1	1	10	
	Consumo diario de Energía	10,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$28,00 día			
	Costo Anual de Energía	N\$10.220,00 anual			

Mezcladora	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	1,5	1,5	10	
	Consumo diario de Energía	15,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$42,00 día			
	Costo Anual de Energía	N\$15.330,00 anual			

Mezcladora	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	1,5	1,5	10	
	Consumo diario de Energía	15,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$42,00 día			
	Costo Anual de Energía	N\$15.330,00 anual			

Filtro prensa	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0	0	12	
	Consumo diario de Energía	0,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$0,00 día			
	Costo Anual de Energía	N\$0,00 anual			

## BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS QUÍMICOS

bomba centrífuga	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0,25	0,25		6
Consumo diario de Energía		1,50 KW/día			
Costo diario de Energía		N\$4,20 día			
Costo Anual de Energía		N\$1.533,00 anual			

bomba de diafragma	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0,5	0,5		8
Consumo diario de Energía		4,00 KW/día			
Costo diario de Energía		N\$11,20 día			
Costo Anual de Energía		N\$4.088,00 anual			

Compresor	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	4	4		6
Consumo diario de Energía		24,00 KW/día			
Costo diario de Energía		N\$67,20 día			
Costo Anual de Energía		N\$24.528,00 anual			

Agitador de homogenización	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	8	6	2		4
Consumo diario de Energía		24,00 KW/día			

## BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS QUIMICOS

Costo diario de Energía	N\$67,20 día
Costo Anual de Energía	N\$24.528,00 anual

Tornillo transportadora de lodos	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	2	2,2	1,1		12
Consumo diario de Energía		26,40 KW/día			
Costo diario de Energía		N\$73,92 día			
Costo Anual de Energía		N\$26.980,80 anual			

Bomba de lodos deshidratados	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	8,7	8,7		8
Consumo diario de Energía		69,60 KW/día			
Costo diario de Energía		N\$194,98 día			
Costo Anual de Energía		N\$71.181,20 anual			

Mezclador de cal	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	3,5	3,5		4
Consumo diario de Energía		14,00 KW/día			
Costo diario de Energía		N\$39,20 día			
Costo Anual de Energía		N\$14.308,00 anual			

Transportador de cal	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	1,1	1,1		8
Consumo diario de Energía		8,80 KW/día			

## BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS QUÍMICOS

Costo diario de Energía					
N\$24,64 día					
Costo Anual de Energía					
N\$8.993,60 anual					
Silo de cal	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0,01	0,01		0,1
Consumo diario de Energía					
0,00 KW/día					
Costo diario de Energía					
N\$0,00 día					
Costo Anual de Energía					
N\$1,02 anual					
Silo de lodos	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0,0125	0,0125		0,1
Consumo diario de Energía					
0,00 KW/día					
Costo diario de Energía					
N\$0,00 día					
Costo Anual de Energía					
N\$1,28 anual					

Alumbrado interior	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0,1	0,1		6
Consumo diario de Energía					
0,60 KW/día					
Costo diario de Energía					
N\$1,68 día					
Costo Anual de Energía					
N\$613,20 anual					

Alumbrado exterior	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	2	0,5	0,25		6
Consumo diario de Energía					
3,00 KW/día					



## BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS QUIMICOS

Costo diario de Energía	N\$8,40 día
Costo Anual de Energía	N\$3.066,00 anual

## 10B) Resumen de Costos de Energía

1.- Pretratamiento	N\$0,00 /año
2.- Aireación	N\$0,00 /año
3.- Decantación	N\$0,00 /año
4.- Precipitación del fósforo	N\$0,00 /año
5.- Desinfección	N\$0,00 /año
6.- Estabilización de lodos	N\$218.972,80 /año
7.- Varios	N\$0,00 /año
8.- Alumbrado	N\$3.679,20 /año

Total costo de la estabilización 220.652,10 N\$ / año

## C) COSTO TOTAL DEL METRO CUBICO DE L LODO ESTABILIZADO.

Costos Fijos	N\$393.422,97 / año
Costos Variables	N\$220.652,10 / año
Cantidad de lodo estabilizado	14716,8 m <sup>3</sup> /año
Costo de explotación incluyendo energía de impulsión para el primer año de funcionamiento:	N\$41,79 /m <sup>3</sup>

**BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS BIOLÓGICOS**  
**HOJA DE CALCULO PARA DETERMINAR EL COSTO DEL MG DE LODO TRATADO. (BIOLÓGICO)**

**DATOS DE PARTIDA**

Caudal diario	164,00 m <sup>3</sup> /día
Caudal horario (Q24)	6,83 m <sup>3</sup> /hr.
Caudal total anual	59.860,00 m <sup>3</sup> /año
Caudal medio	1,90 LPS

**GASTOS DE EXPLOTACION***A) Gastos Fijos***1A) Personal**

Responsable: Ing. ó Técnico especializado

Sueldo diario	250,00 N\$/día	turnos	horas
Fasas (factor salario real)	1,86	0	0
Sueldo Semanal	0 N\$/ semana		

Operador de Planta: un operador

Sueldo diario	55,50 N\$/día turno	Turnos	Horas
Fasas (factor salario real)	1,86	12	8
Sueldo Semanal	1236,1626 N\$/ semana		

Vigilantes: un vigilante

Sueldo diario	35,00 N\$/día turno	Turnos	Horas
Fasas (factor salario real)	1,86	2	24
Sueldo Semanal	129,927 N\$/ semana		

**2A) Costo de Construcción, Instalación y Equipos de la planta depuradora.**

Equipos Electromecánicos	N\$510.000,00	N\$51.000,00
Obra Civil.	N\$90.000,00	N\$2.000,00
Materiales	N\$10.000,00	
Laboratorio	N\$2.000,00	
Móvilario de oficina y laboratorio	N\$15.000,00	
Vehículo para recoogida de lodos	N\$1.310,00	
Toma muestras	N\$3.000,00	
Varios	N\$3.000,00	
Costos Indirectos	N\$8.731,00	
<b>Costo Total</b>	<b>N\$96.041,00</b>	

**3A) Análisis y Control de Proceso**

Nº Análisis Normales:	8 Unidades
Costo del Análisis:	N\$100,00 / unidad
Costo Anual:	N\$800,00 / año

Nº Análisis Complementarios:	6 Unidades
Costo del Análisis:	N\$500,00 / unidad
Costo Anual:	N\$3.000,00 / año

Nº Análisis Especiales:	4 Unidades
Costo del Análisis:	N\$580,00 / unidad
Costo Anual:	N\$2.320,00 / año

**4A) Mantenimiento de equipos**

Según la experiencia, corresponde al

2 % anual sobre el costo total de planta.

Costo Anual: N\$10.200,00 / año

**5A) Mantenimiento Obra Cívil**

De acuerdo a la experiencia, corresponde al

0,5 % del costo de la obra cívil.

Costo Anual N\$150,00 / año

**7A) Gastos de Reactivos****1.- Gas Cloro**Concentración 0,00 ppm  
Precio \$ 12,00 Kg

N\$0,00 / año

**2.- Cal:**Precio \$ 0,57 Kg  
Periodo de dosificación: 365,00 días  
Consumo diario 78,00 Kg/día

N\$18.227,60 / año

**3.- Polielectrolito:**Precio \$ 36,00 Kg  
Periodo de dosificación: 365,00 días  
Consumo diario 4,60 Kg/día

N\$59.180,00 /año

Costo de metro cúbico en función de reactivos

\$ 1.2589 m<sup>3</sup>**8A) Retirada de Residuos**

La evacuación de lodos estabilizados será:

Volumen de lodos deshidratados:	59860,00 m <sup>3</sup> /año
Capacidad de camión comercial:	6,00 m <sup>3</sup>
Número máximo de acarreos por año:	11972,00 viajes
Costo unitario de transporte:	\$ 2,50 m <sup>3</sup> /km
Distancia de transporte:	4,00 Km

Costo anual: N\$119.720,00

**9A) Seguros y Gastos Administrativos**

Limpieza de edificaciones	N\$1.000,00
Vestuario	N\$0,00
Teléfono, Agua potable	N\$3.000,00
Impresos y correo	N\$0,00
Lic. Fiscal	N\$0,00
Seguro Responsabilidad civil	N\$1.500,00
Viajes de supervisión y mantenimiento	N\$3.000,00
Transporte y medios materiales	N\$3.000,00

Costo anual: N\$11.500,00

**11A) Resumen de Gastos Fijos**

Cálculo de costo de explotación

BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS BIOLÓGICOS

1) Personal	N\$71.038,7 / año
2) Instalación y P.en M.	N\$98.041,0 / año
3) Análisis	N\$6.120,00 / año
4) Mantenimiento de equipos	N\$10.200,00 / año
5) Mantenimiento obra civil	N\$150,00 / año
6) Gastos Generales	N\$5.000,00 / año
7) Gastos de Reactivos	N\$75.957,90 / año
8) Retirada de residuos	N\$119.720,00 / año
9) Seguros y Gastos Administrativos	N\$11.500,00 / año
<u>Total Gastos Fijos.</u>	<u>N\$395.125,58 / año</u>

*B) Gastos Variables (Consumo de Energía Eléctrica).*

Costo Energía Eléctrica: N\$ 2,80 Kw/hr

## BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS BIOLÓGICOS

Mezcladora	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	1	1	1	10
	Consumo diario de Energía	10,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$28,00 día			
	Costo Anual de Energía	N\$10.220,00 anual			

Mezcladora	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	1,5	1,5	1,5	10
	Consumo diario de Energía	15,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$42,00 día			
	Costo Anual de Energía	N\$15.330,00 anual			

Mezcladora	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	1,5	1,5	1,5	10
	Consumo diario de Energía	15,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$42,00 día			
	Costo Anual de Energía	N\$15.330,00 anual			

Filtro prensa	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0	0	0	12
	Consumo diario de Energía	0,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$0,00 día			
	Costo Anual de Energía	N\$0,00 anual			

## BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS BIOLÓGICOS

Bomba centrífuga	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0,25	0,25		6
	Consumo diario de Energía	1,50 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$4,20 día			
	Costo Anual de Energía	N\$1.533,00 anual			

bomba de diafragma	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0,5	0,5		8
	Consumo diario de Energía	4,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$11,20 día			
	Costo Anual de Energía	N\$4.088,00 anual			

Compresor	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	4	4		6
	Consumo diario de Energía	24,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$67,20 día			
	Costo Anual de Energía	N\$24.528,00 anual			

Agitador de homogenización	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	3	6	2		4
	Consumo diario de Energía	24,00 KW/día			

## BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS BIOLÓGICOS

Costo diario de Energía	N\$67,20 día
Costo Anual de Energía	N\$24.528,00 anual

Tornillo transportadora de lodos	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	2	2,2	1,1		12
Consumo diario de Energía		26,40 KW/día			
Costo diario de Energía		N\$73,92 día			
Costo Anual de Energía		N\$26.980,80 anual			

Bomba de lodos deshidratados	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	8,7	8,7		8
Consumo diario de Energía		69,60 KW/día			
Costo diario de Energía		N\$194,88 día			
Costo Anual de Energía		N\$71.131,20 anual			

Mezclador de cal	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	3,5	3,5		4
Consumo diario de Energía		14,00 KW/día			
Costo diario de Energía		N\$39,20 día			
Costo Anual de Energía		N\$14.308,00 anual			

Transportador de cal	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	1,1	1,1		8
Consumo diario de Energía		8,80 KW/día			

BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS BIOLÓGICOS

Costo diario de Energía					N\$24,64 día
Costo Anual de Energía					N\$8.993,60 anual
Síto de cal	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0,01	0,01		0,1
	Consumo diario de Energía	0,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$0,00 día			
	Costo Anual de Energía	N\$1,02 anual			
Síto de lodos	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0,0125	0,0125		0,1
	Consumo diario de Energía	0,00 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$0,00 día			
	Costo Anual de Energía	N\$1,28 anual			

Alumbrado interior	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	1	0,1	0,1		6
	Consumo diario de Energía	0,60 KW/día			
	Costo diario de Energía	N\$1,68 día			
	Costo Anual de Energía	N\$613,20 anual			

Alumbrado exterior	Nº de unidades en funcionamiento	Potencia Total	Potencia Unitaria	Tiempo funcionamiento (hr)	de
	2	0,5	0,25		6
	Consumo diario de Energía	3,00 KW/día			



## BIOSOLIDOS A PARTIR DE LODOS BIOLÓGICOS

Costo diario de	
Energía	N\$8,40 día
Costo Anual de	
Energía	N\$3.066,00 anual

## 10B) Resumen de Costos de Energía

1.- Pretratamiento	N\$0,00 /año
2.- Aireación	N\$0,00 /año
3.- Decantación	N\$0,00 /año
4.- Precipitación del fósforo	N\$0,00 /año
5.- Desinfección	N\$0,00 /año
6.- Estabilización de lodos	N\$218.972,80 /año
7.- Varios	N\$0,00 /año
8.- Alumbrado	N\$3.679,20 /año

Total costo de la estabilización

220.652.10 N\$ /año

## C) COSTO TOTAL DEL METRO CUBICO DE L LODO ESTABILIZADO.

Costos Fijos  
Costos Variables  
Cantidad de lodo estabilizado

N\$395.125,56	/ año
N\$220.652,10	/ año
59860	m <sup>3</sup> /año

Costo de explotación incluyendo energía de impulsión  
para el primer año de funcionamiento:

N\$ 10,29	/m <sup>3</sup>
-----------	-----------------



# **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

## CAPITULO 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- APHA, AWWA, WPCF ( 1989 ) "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater " 17<sup>TH</sup> Edition Washington, DC.
- AWWA Standard ( 1988 ) " Quicklime and Hydrated Lime ", West Quincy Avenue, Denver Colorado.
- Bradshaw Jack L. " Introducción al laboratorio de microbiología ".
- Campbell y Crescuolo, Gary S. MacConell " Alkaline Biosolids Stabilization a Cost Effective Alternative for the Town of Spring Lake ", North Caroline.
- Campos Montiel R. G.; Jiménez Parrazales G., Rodríguez Andrade I., Arevalo Delgado C, Jiménez Cisneros B ( 1997 ) " Producción de Biosólidos a partir de Lodos de una Planta de TPA ", Memorias Técnicas del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, Zacatecas Mex.
- CFE, SARH ( 1997 ) " Análisis de las Opciones para el Tratamiento de las Descargas de Aguas Residuales de Guadalajara, Jalisco ".
- CNA ( 1997 ) " Manual de la Comisión Nacional del Agua ".
- Chisty W. R. ( 1990 ) " Sludge Disposal Using Lime. Water Environment and Technology ".
- Culp, R. L., Wesner, G. y Culp, G. ( 1978 ) " Handbook of Advanced Wasterwater Treatment ", 2a. ed. Van Nostrand Reinhold, EUA.

- Dick y Ewung, Fisher W. J. ( 1989 ) " An Economic Assesment of some methods of sewage sludge stabilisation ", en Sewage sludge stabilisation and disinfection, Bruce A. M. ( ed. ), Water Research Center/Ellis Horwood Limited, Gran Bretaña.
- EPA 625/1-79-011 Environmental Protection Agency ( 1979 ) " Process design manual for sludge treatment and disponsal ", ed, US Environmental Protection Agency, Technology transfer.
- EPA 430/09-91-020 ( 1991 ) " Case study evaluation of alkaline stabilization processes ".
- EPA/625/R-92/013 ( 1992 ) " Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge".
- EPA ( 1994), " A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule ", U.S. Enviromental Protection Agency Office of Wastewater Management Washington, D.C.; September 1994.
- Hardenbergh W.A " Ing. Sanitaria ", Ed. continental, S. A. de C. V, Mexico.
- Henry J. G., Prasad D., Smith B. M. ( 1994 ) " Fate of *Salmonella typhimurium* and total coliforms during bacterial leaching ", Water environment research, vol. 66 number 3.
- JAWWA, Journal American Water Works Association ( 1981 ), " Lime softening sludge treatment and disponsal ", Comitee report, vol. 21 EUA.
- Jiménez Cisneros B., Campos Montiel R.G. ( 1997 ) " Estudio en modelo físico del agua del Gran Canal en el Km. 27: Tratamiento de lodos "

- Koneman - Allen, Dowell - Sommers " Diagnostico microbiológico ", Ed. Medico Panamericana, S. A.
- Llangostera y col. ( 1997 ) " Análisis comparativo de 11 plantas de Cataluña, España para la producción de biosólidos ".
- Lori Stone A. ( 1991 ) " Proceedings of the U.S. EPA municipal wastewater treatment technology focusum ", Engineering Science, Inc. Fairfax Virginia.
- Lue-Hing C., Zenz R. D. and Kuchenrither ( 1992 ) " Municipal Sewage Sludge Management: Processing, Utilization and Disposal " De Technomic Lancaster USA.
- McCabe, Smith y Harriott ( 1991 ) " Operaciones Básicas de Ingeniería Química ", 4ta. Edición, Mc Graw - Hill.
- Pedersen D. C. ( 1981 ) " Belcity levels of pathogenic organisms in municipal wastewater sludge : a literature review ", Boston, MA, CAMP, DRESSFR and MC, EE, INC.
- Ramalho R. S. " Tratamiento de aguas residuales" , ED. Reverte, S. A.
- Rodney Rhew D., ASEE, Madon Barlaz A. ( 1995 ) " Effect of lime stabilizad sludge as landfill cover on refose descomposition ", Journal enviromental engineering.
- Streeter V. L., y Wylie E. B. ( 1975 ) " Mecánica de fluidos ", 6a. ed., Mc Graw Hill Inc. EUA.

- Thomas D., Broad Michael, T. Madigan ( 1993 ) " Microbiología ", Prentice Hall Hispanoamericana S. A: 6a. ed.
- Tsang K. R. and Donovan J. F. ( 1993 ) " A Critical Comparison of Alkaline Stabilization Processes for Wastewater Biosolids. Proceedings of the Water Environment Federation " Annual Conference and Exposition Anaheim California USA.
- Ulrich G. D. ( 1986 ) " Diseño y economía de los procesos de Ingeniería Química ", Nueva Editorial Interamericana S. A. de C. V., EUA.
- Versilind P. A., Hartman G. C., Skene E. T. ( 1986 ) " Sludge management & disposal for the practicing engineer ", United States of America.