

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**“ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS Y QUÍMICOS DE  
BIOSÓLIDOS DE UNA INDÚSTRIA TEXTIL”**

**POR**

**YOBANY ROSEMBER ROBLERO BRAVO**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**OCTUBRE DEL 2006**

**“ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS Y QUÍMICOS DE BIOSÓLIDOS DE  
UNA INDUSTRIA TEXTIL”**

TESIS PRESENTADA POR:

**YOBANY ROSEMBER ROBLERO BRAVO**

TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**COMITÉ EVALUADOR**

PRESIDENTE:

  
M.C. HÉCTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ

VOCAL:

  
M.C. AMANDA JARAMILLO SANTOS

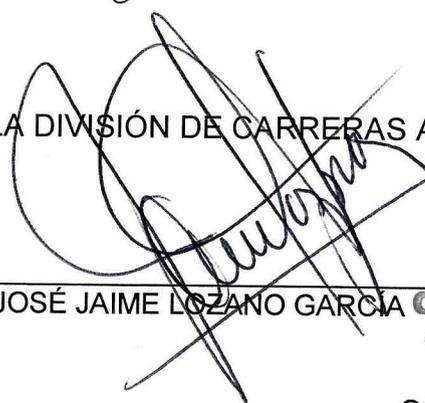
VOCAL:

  
ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO

VOCAL SUPLENTE:

  
M.C. MA. DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS





M.C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA **Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas**

TORREÓN, COAHUILA.

OCTUBRE DEL 2006

**00049**

**“ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS Y QUÍMICOS DE BIOSÓLIDOS DE  
UNA INDUSTRIA TEXTIL”**

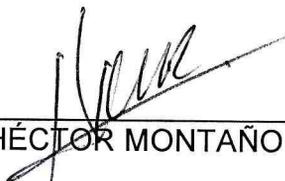
**POR:**

**YOBANY ROSEMBER ROBLERO BRAVO**

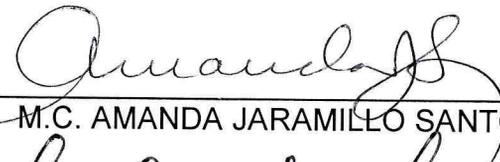
TESIS ELABORADA POR LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE  
ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

ASESOR PRINCIPAL:

  
M.C. HÉCTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ

ASESOR:

  
M.C. AMANDA JARAMILLO SANTOS

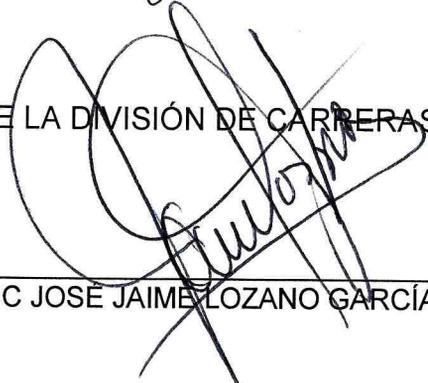
ASESOR:

  
ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO

ASESOR:

  
M.C. MA. DE JESUS RIVERA GONZÁLEZ

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

  
M.C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA  Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA.

OCTUBRE DEL 2006

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Por permitir darme la vida a través de mis padres, buena salud, fortaleza para seguir adelante y sobre todo por haber logrado uno de mis objetivos mas importante en mi vida que es haber culminado una carrera profesional.

### **A MIS PADRES**

#### **Dagoberto Roblero Gómez y Amanda Bravo González**

Por darme una vida digna llena de plenitud, por darme los consejos adecuados para luchar contra las adversidades y obstáculos que se presentan en la vida.

## **AGRADECIMIENTO**

### **A DIOS**

Por permitirme ser feliz, estar bien a lado de mis seres mas queridos y sobre todo por tenernos con buena bendición.

### **A MIS ASESORES**

**M.C. Héctor Montaña Rodríguez, M.C. Amanda Jaramillo Santos, Ing. Elba Margarita Aguilar Medrano, M.C. Ma. De Jesús Rivera González.**

Por brindarme su amistad y ayuda durante mi formación como profesionista y permitirme participar como tesista en sus trabajos de investigación, el cual extiende mi nivel de conocimiento, tener experiencia, y me impulsa a relacionarme con la investigación en el futuro.

### **A MIS MAESTROS**

Por proporcionarme las bases y herramientas necesarias para mi formación como profesionista y para enfrentarnos en el medio laboral

### **A MIS PADRES**

De corazón por brindarme su confianza, amor, consejos, apoyo incondicional tanto moral como económicamente y por supuesto por enseñarme siempre el mejor camino.

### **A MI ESPOSA E HIJA**

**Rosario Janeth López Villalobos y Scarlett Janeth Roblero López.**

Gracias por su confianza, amor, paciencia, pero sobre todo gracias por apoyarme siempre en los buenos y malos momentos. Las quiero mucho.

### **A MI HERMANO Y HERMANA**

**Julio Cesar Y Sandra Elizabeth** Gracias por sus apoyo

### **A MIS ABUELOS**

Gracias a mis abuelos tanto paternos como maternos por su apoyo moral y económicamente, y por sus relevantes consejos.

### **TÍAS, TÍOS Y AMIGOS**

Muchas gracias por su apoyo y consejos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS.....</b>	<b>V</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I.</b>	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 JUSTIFICACION.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos especificos.....	4
1.4 LIMITES.....	4
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2 ORIGEN Y COMPOSICIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES O BIOSOLIDOS.....	7
2.3 CARACTERISTICAS DE LOS LODOS O BIOSOLIDOS.....	8
2.4 TIPOS DE BIOSÓLIDOS.....	9
2.5 PELIGROSIDAD DE LOS LODOS O BIOSOLIDOS.....	9
2.6 METODOS Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS.....	10
2.7 ESTABILIZACIÓN DE LODOS MUNICIPALES POR DIGESTIÓN TERMÓFILA.....	12
2.8 MARCO REGULATORIO.....	13
2.9 NORMATIVIDAD.....	13
2.10 GENERACIÓN DE OLORES EN LOS BIOSOLIDOS.....	15
2.10.1 Alternativas para el control de olores.....	16
2.11 APROVECHAMIENTO DE LOS BIOSOLIDOS COMO COMBUSTIBLE ALTERNO ...	17
2.12 UTILIZACIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS.....	18
2.12.1 Extensión al terreno e inyección de lodos.....	19
2.12.2 Extensión sobre terrenos en bosques.....	20
2.12.3 Revegetación de terrenos.....	21
2.12.4 Recuperación de terrenos dañados.....	21
2.12.5 Utilización del lodo residual obtenido de la digestión anaeróbica de la cachaza.....	23

2.13 ALTERNATIVA DE USO Y MANEJO DE LODOS PETROQUÍMICOS PROVENIENTES DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES .....	24
2.14 RIESGOS DE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS.....	24
2.15 LIMITACIONES Y PRÁCTICAS DE MANEJO .....	25
2.16 FERTILIDAD DEL SUELO .....	26
2.16.1 Factores que influyen en la fertilidad del suelo .....	29
2.17 SALINIDAD DEL SUELO.....	30
2.18 EFECTO DE LA ADICIÓN DE UN LODO RESIDUAL SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.....	31

### **CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	32
3.1.1 Extensión y colindancias del municipio de Gomez Palacio .....	32
3.1.2 Orografía, hidrografía y clima .....	32
3.1.3 Flora y fauna.....	33
3.1.4 Uso potencial del suelo.....	34
3.1.5 Infraestructura para el desarrollo económico.....	34
3.1.6 Plantas de tratamiento de aguas residuales.....	35
3.2 LOCALIZACIÓN REGIONAL DONDE SE REALIZÓ EL ESTUDIO .....	35
3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	36
3.4 ANÁLISIS QUÍMICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE FERTILIDAD EN EL LODO O BIOSOLIDO.....	37
3.4.1 Método para la determinación de materia orgánica.....	37
3.4.2 Método para la determinación de nitrógeno total.....	38
3.4.3 Método para la determinación de fósforo .....	39
3.5 EXTRACTO DE SUELO A SATURACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE SALINIDAD (PH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, CALCIO + MAGNESIO, CARBONATOS, BICARBONATOS, CLORUROS Y SULFATOS) .....	41
3.5.1 Método para la determinación de pH.....	41
3.5.2 Método volumétrico para la determinación de conductividad eléctrica .....	42
3.5.3 Método para la determinación de calcio y magnesio.....	42

3.5.4 Método volumétrico para análisis de carbonatos (CO <sub>3</sub> ) y bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) .....	43
3.5.5 Método volumétrico para la determinación de cloruros .....	43
3.5.6 Método volumétrico para la determinación de sulfatos .....	44
3.6 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL LODO O BIOSOLIDO .....	44
3.6.1 Metodología para la determinación de coliformes fecales ( <i>escherichia coli</i> ) .....	44
3.6.2 Metodología para la determinación de salmonella spp .....	46
3.6.3 Metodología para la identificación de huevos de helmintos en lodos y/o biosólidos .....	47
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>49</b>
<b>CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1 CONCLUSIONES .....	61
5.2 RECOMENDACIONES .....	62
<b>CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>63</b>
APÉNDICE I.- RESULTADO DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS .....	67
APÉNDICE II.- RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE <i>ESCHERICHIA COLI</i> Y <i>SALMONELLA SPP</i> .....	74
APÉNDICE III.- GLOSARIO .....	80

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 2.1 ETAPAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS.....	11
CUADRO 2.2 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSÓLIDOS.....	13
CUADRO 2.3 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PATÓGENOS Y PARÁSITOS EN LODOS Y BIOSÓLIDOS .....	14
CUADRO 2.4 APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS.....	14
CUADRO 2.5 ESCENARIOS TÍPICOS DE APLICACIÓN DE BIOSOLIDOS .....	23
CUADRO 3.1 CLASIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS LODOS.....	38
CUADRO 3.2 INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE NITRÓGENO .....	39
CUADRO 3.3 INTERPRETACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO .....	40
CUADRO 3.4 CLASIFICACIÓN DEL LODO EN CUANTO A SU VALOR DE PH.....	41
CUADRO 3.5 INTERPRETACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....	42
CUADRO 4.1 CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA PRESENTE EN EL TRATAMIENTO ANALIZADO.....	49
CUADRO 4.2 CANTIDAD DE FÓSFORO (P) Y NITRÓGENO TOTAL (N) PRESENTES EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS .....	50
CUADRO 4.3 VALORES PARA DETERMINAR PRUEBAS DE SALINIDAD (PH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, CALCIO + MAGNESIO, CARBONATOS, BICARBONATOS, CLORUROS Y SULFATOS) EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS .....	52
CUADRO 4.4 RESULTADO DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE LODOS .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

FIGURA 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	35
GRÁFICA 4.1 CANTIDAD DE FÓSFORO EN PPM PRESENTE EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.....	50
GRÁFICA 4.2 CANTIDAD DE NITRÓGENO EN (%) PRESENTE EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.....	51
GRÁFICA 4.3 VALORES DE PH PRESENTES EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.....	53
GRÁFICA 4.4 VALORES OBTENIDO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.....	54
GRÁFICA 4.5 VALORES OBTENIDOS DE LA RELACIÓN CALCIO MAGNESIO EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.....	55
GRÁFICA 4.6 VALORES DE CARBONATOS PRESENTES EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.....	56
GRÁFICA 4.7 VALORES DE BICARBONATOS PRESENTES EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.....	57
GRÁFICA 4.8 VALORES DE CLORUROS PRESENTES EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.....	58
GRÁFICA 4.9 VALORES DE SULFATOS PRESENTES EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.....	59

## INTRODUCCION

Para el buen desarrollo de una investigación, así como para la obtención de resultados confiables a partir de un diseño experimental para la remediación de un suelo contaminado, es necesario, en primer lugar, llevar a cabo su caracterización. La caracterización de un sitio implica actividades de muestreo y análisis que tienen como finalidad determinar la extensión y naturaleza de la contaminación; así mismo, provee las bases para adquirir la información técnica necesaria para desarrollar, proyectar, analizar y seleccionar las técnicas de tratamiento más apropiadas.

El tratamiento de aguas residuales conlleva la producción de lodos que deben evacuarse con cierta frecuencia del proceso. Debido a la presencia en los lodos, de elementos y organismos adversos y benéficos para el medio ambiente, es necesario caracterizarlos para tener un conocimiento previo a su disposición final. Es por ello que se realizaron análisis químicos y biológicos de lodos procedentes de una planta tratadora de aguas residuales. Para poder caracterizar los lodos se tomaron en cuenta aspectos fundamentales en la toma de muestra, su análisis, así como los parámetros a analizar.

Con resultados de los análisis químicos se determinaron fertilidad y salinidad. Así mismo con los resultados de los análisis microbiológicos se determinó la presencia de coliformes fecales (*Escherichia coli*), *salmonella spp*, y la presencia de parásitos en especial huevos de helmintos.

El lodo utilizado para los análisis químicos y biológicos, se origina en una planta tratadora de agua residual industrial de la Comarca Lagunera. Las muestras representativas se dividieron en cuatro lotes, con diferentes pruebas de tratabilidad. Los resultados microbiológicos obtenidos de cada lote se compararon con la NOM-004-SEMARNAT-2002, para determinar así su aprovechamiento o disposición final.

## CAPITULO I

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria actúa sobre el medio ambiente como cualquier otra actividad humana, modificando el equilibrio de los ecosistemas. La actividad industrial, sea cual sea su naturaleza, ejerce un conjunto de perturbaciones medioambientales conocido como impacto ambiental.

La contaminación es, sin duda, uno de los factores perturbadores mas graves. Las actividades industriales implican invariablemente la transformación de materia prima o productos semielaborados o elaborados, pero esta transformación nunca es total, generándose residuos, en forma de energía o de materia, que si no son recuperados y reutilizados se convierten en contaminantes susceptibles de producir daños sobre la naturaleza, alterando la abundancia y los tipos de especies vivas, perturbando los sistemas físicos y biológicos, etc.

Hoy en día el estudio de las relaciones salud-medio ambiente no se puede limitar al simple análisis de ciertos factores naturales como el clima, la geología, los vientos, etc., pues el desarrollo de la civilización y su evolución técnica e industrial han modificado sustancialmente la química del aire, la del suelo y la de las aguas, y que por supuesto también han afectado al entorno cotidiano del hombre y a éste, ya que son muchas las "nuevas enfermedades" o "patologías" surgidos paralelamente al desarrollo de la civilización y de la industria. <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Seoanez Calvo Mariano. Ingeniería Medioambiental aplicado a la industria y a la empresa. pp. 34-35. Mundi-prensa. 1995.

## **1.2 JUSTIFICACION**

Los residuos derivados de los procesos industriales son por lo general sustancias que contienen compuestos negativos para el medio ambiente. por este motivo, el control que se debe ejercer sobre ellos ha de ser riguroso; siendo lo primero la identificación y caracterización de los residuos producidos por la industria. Ésta etapa reviste gran importancia, pues un conocimiento preciso de los residuos a tratar va a favorecer la elección de los métodos de tratamiento mas adecuados. Una vez que ha sido caracterizado el residuo, se debe empezar a diseñar el sistema de tratamiento adecuado, paso a paso.

Dentro de los tipos de lodos generados en un sistema de depuración, se encuentran aquellos que se originan como un subproducto residual del tratamiento biológico de aguas residuales, lo que comúnmente se llaman lodos secundarios, biomasa residual o biosólidos. Los biosólidos están formados principalmente por materia orgánica degradable (entre un 60% y 88%) y una población microbiológica no estabilizada capaz de causar un impacto negativo al ambiente en el caso de no ser tratado adecuadamente. <sup>1</sup>

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Identificar los componentes inorgánicos del desecho sólido (lodo residual) de una industria.

Evaluar el tratamiento mas adecuado para la recuperación y/o rehabilitación del suelo.

---

<sup>1</sup> Ibidem. 451., Mundi-prensa. 1995.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Determinar la fertilidad y la salinidad de los lodos.

Determinar la inocuidad de los lodos mediante el análisis que marcan las normas oficiales mexicanas.

### **1.4 LIMITES**

Los indicadores inorgánicos del suelo se determinan de acuerdo a los análisis químicos normales del recurso.

Los índices de los indicadores son los de las normas oficiales mexicanas.

El tiempo de duración del proyecto será de un año.

## CAPITULO II. MARCO TEORICO

### 2.1 ANTECEDENTES

En México se consumen  $240 \text{ m}^3$  por segundo de agua potable, los diversos usos de este líquido generan  $170 \text{ m}^3$  por segundo de aguas residuales. La infraestructura existente para el tratamiento de las aguas residuales en el año de 1995, fue de 684 plantas de tratamiento con una capacidad instalada de  $43 \text{ m}^3$  por segundo.<sup>2</sup>

De acuerdo con la CNA, en el 2003, había 1 360 plantas de tratamiento para aguas residuales municipales con capacidad para tratar 89 mil 585 l/seg.; 1 182 se encontraban en operación y registraban un gasto tratado de 60 mil 243 l/seg. En 2003, del total de agua residual municipal tratada en las plantas para tal fin, poco menos de la mitad recibió tratamiento por medio de lodos activados y cerca de una quinta parte a través de lagunas de estabilización principalmente.

Las plantas que cuentan con mayor capacidad conjunta de instalación y tratamiento en operación se localizan en Nuevo León (56 plantas, que tratan 9 163 l/seg.), el estado de México (67 plantas y 4 450.7 l/seg.) y Chihuahua (60 plantas y 3 776.5 l/seg.).

Por otra parte, en el 2003, la industria nacional generó agua residual equivalente a  $5.39 \text{ km}^3$  anuales ( $171 \text{ m}^3/\text{seg.}$ ). En el país, existían 1 640 plantas para dar tratamiento al agua desechada por la industria, 1 579 de ellas estaban en operación y dieron tratamiento a 27 mil 386 l/seg. El mayor número de éstas se encontraban en el estado México (176), Baja California (174), Veracruz de Ignacio de la Llave (153) y Puebla (106).<sup>3</sup>

Las plantas de tratamiento de agua residual procesan la materia orgánica contenida en las aguas negras, es un producto final de color café oscuro a negro llamado biosólidos. Este proceso involucra etapas en donde ciertos

---

<sup>2</sup> IMTA. Manejo de lodos Residuales En México. 1. ABES. 2000.

<sup>3</sup> INEGI. 2005

microorganismos descomponen y transforman los lodos residuales<sup>4</sup>. El término biosólidos proviene del método más común que se utiliza para su obtención, el cual consiste en el procesamiento biológico (digestión aeróbica y anaeróbica) de los sólidos de las aguas negras o residuales<sup>5</sup>. Los biosólidos son materiales orgánicos ricos en nutrientes, los que deberán ser estabilizados mediante un proceso biológico, físico o químico y cumplir con un estricto criterio de calidad para que puedan ser aplicados en suelos agrícolas.

Con base a las expectativas del incremento en la capacidad para el tratamiento de aguas residuales para cumplir con la norma ambiental NOM-001-SEMARNAT-1996 se estima que la generación de biosólidos en México alcanzará aproximadamente 650 000 ton, en materia seca (MS) por año, en un futuro próximo; para Estados Unidos, se estima en 12 millones y para la comunidad europea, con 15 países miembros, en 7.5 millones<sup>6</sup>.

En el norte de México donde los suelos son predominantemente calcáreos, existen 62 plantas de tratamiento de agua residual, que producen alrededor de 475,000 t de biosólidos (95,000 t en base seca), las cuales pueden utilizarse como fertilizante en cultivos industriales y forrajeros en una superficie estimada de 10,000 ha.<sup>7</sup>

---

<sup>4</sup> Koenig, R.; D. Land application of biosolids a guide for farmers. AGWM- 02. 1998.

<sup>5</sup> Uribe M., H.R. y N. Chávez S. El uso de los biosólidos para mejorar la productividad de los suelos agrícolas. 1. CEDEL-INIFAP. 2000.

<sup>6</sup> De la Peña, E., Calderón C. Resultados de la utilización del bioabono en diferentes cultivos de Cajamarca. ITINTEC-UTC. 1983.

<sup>7</sup> Uribe Montes H. R. y colaboradores. Uso De Biosólidos Para Incrementar La Productividad En Alfalfa. 1. Campo experimental Delicias. 2001.

## 2.2 ORIGEN Y COMPOSICIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES O BIOSOLIDOS

Los lodos de las aguas residuales tanto municipales como industriales provienen de diferentes etapas de tratamiento y se forman según los procesos que se apliquen en la línea de agua. De acuerdo con el tipo de tratamiento que se aplique, biológico o no biológico, se puede caracterizar el tipo de lodos. La clasificación de los lodos generados en los procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales son:

- ❖ Lodos primarios: procedentes de la decantación primaria
- ❖ Lodos secundarios: procedentes de la decantación secundaria
- ❖ Lodos mezcla de primarios y secundarios.

La composición de los lodos depende tanto del tipo de agua residual del que provienen (municipal o industrial) como del tratamiento a que ha sido sometido.<sup>8</sup>

Las aguas residuales procedentes del uso doméstico contenían básicamente desechos de origen orgánico, por lo que la contaminación consistía en sólidos suspendidos, materia orgánica, acidez, grasas y aceites, restos de comida y jabón. Con el avance de la civilización, las aguas residuales domésticas han variado en su composición por la gran variedad de productos químicos arrojados en las casas hacia los drenajes (cloro, amoníaco, detergentes), lo que provoca que se tengan que desarrollar nuevos métodos de tratamiento.

El contenido fisicoquímico de las aguas residuales de origen industrial, varía en buena medida de acuerdo con el tipo de industria que se trate, pero en general presentan el problema de acidez o alcalinidad, alta temperatura, grandes niveles de grasa y aceite, metales pesados, una gran demanda de

---

<sup>8</sup> Noyola Robles A. y colaboradores. Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales. Mod.5. 1-56. IMTA. 2000.

oxígeno para la oxidación de materia química, sólidos disueltos y suspendidos<sup>9</sup>.

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS O BIOSOLIDOS

Para que los lodos o biosólidos puedan ser reutilizados deben estar caracterizados fisicoquímica y microbiológicamente con el fin de asegurar que no existan residuos peligrosos en su composición y de que no ocasionan impactos<sup>10</sup>. Las características de un lodo dependen de si es biológico o químico. También dependen de si es primario o secundario o mezcla de ambos. Las características del lodo se pueden describir mejor en términos físicos, químicos y biológicos.

Las características externas como el color, aspecto y olor facilitan el conocimiento del estado del lodo y su procedencia. Los lodos primarios frescos suelen ser grises y tienen mal olor. Los lodos secundarios tienen generalmente color pardo amarillento y rara vez huele mal. El lodo digerido es negro y tiene un olor característico a alquitrán.

El lodo puede ser biológico o químico o mixto. Sin embargo, todos tendrán propiedades químicas que pueden incluir: metales, polímeros, pH, alcalinidad, nutrientes, PCB, dioxinas, etc.

Al igual que las aguas residuales brutas, los lodos pueden contener bacterias, virus, protozoos, parásitos y otros microorganismos, algunos beneficiosos pero otros quizá patógenos<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> Salgado Rodríguez Héctor. Aguas Residuales, origen, características y tratamiento. Revista N° 14. Ciencia, Ingeniería y Vida. Univ. Guadalajara. 1999.

<sup>10</sup> Luna Guido M.L., y colaboradores. Actividad microbiana en suelos. 330. Revista: Avance y Perspectiva Vol. 21. 2002.

<sup>11</sup> Kiely Gerard. Ingeniería Ambiental. Pp. 823 – 831. McGraw-Hill. 1999.

## 2.4 TIPOS DE BIOSÓLIDOS

La norma 40 CFR (503) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) define dos tipos de biosólidos con respecto a la reducción de agentes patógenos: biosólidos clase A y clase B, dependiendo del grado de tratamiento que los sólidos hayan recibido.

Los dos tipos son adecuados para la aplicación en el terreno, pero se imponen requisitos de utilización adicionales en la clase B. Estos se detallan en la norma 40 CFR 503, las cuales incluyen actividades tales como el acceso restringido del público al terreno de aplicación, la limitación del consumo por el ganado y el control de los periodos de cosecha.

Los biosólidos de la clase A (biosólidos tratados de tal manera que no contengan agentes patógenos a niveles detectables) no están sujetos a estas restricciones<sup>12</sup>.

Para efectos de la NOM-004-SEMARNAT-2002 los biosólidos se clasifican en **tipo: excelente y bueno** en función de su contenido de metales pesados; y en **clase A, B y C** en función de su contenido de patógenos y parásitos<sup>13</sup>.

## 2.5 PELIGROSIDAD DE LOS LODOS O BIOSOLIDOS

Los lodos de desecho de plantas de tratamiento de agua son potencialmente peligrosos y requieren el análisis CRETIB. Si la prueba CRETIB es negativa en los lodos se tienen dos posibilidades de disposición final.

1. Rellenos sanitarios
2. Aplicación en suelos forestales y agrícolas siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles.

Si el contenido de metales pesados excede los límites marcados para un lodo "bueno", o la cantidad de patógenos o parásitos señalados para un lodo

---

<sup>12</sup> Castro Ruiz J.C., Estudio preliminar de aplicación de biosólidos en suelos para control de erosión y estabilización de taludes. 2-3. Universidad de los Andes. 2003.

<sup>13</sup> NOM-004-SEMARNAT-2002.

clase B, entonces no es aplicable como biosólido y tiene que disponerse en un relleno sanitario autorizado.

Las rutas principales que pueden seguir las sustancias peligrosas contenidas en los lodos de desecho son por el suelo o por lixiviación hasta alcanzar un cuerpo de agua. Los mecanismos importantes son<sup>14</sup>:

- Solubilidad
- Lixiviación
- Adsorción / desorción
- Volatilización
- Bioacumulación
- Contacto directo

## **2.6 METODOS Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS**

Al tratar los lodos de desecho o residual se busca transformarlos en material inerte (es decir que no sean CRETIB) y disminuir al mínimo su volumen para enviarlos a su disposición final.

Dentro de los procesos de tratamiento de los lodos se distinguen seis etapas, cada una de las etapas tiene una función específica y en general son complementarias, sin embargo, hay algunas que pueden suplir a otras. Es por ello que rara vez se aplican las seis etapas del tratamiento de lodos. Como ejemplo se tiene a los incineradores; si los lodos se van a incinerar, no se requiere una digestión previa, ya que el calor se encargará de descomponer la materia orgánica, pero si es conveniente disminuir al máximo la cantidad de agua del lodo para optimizar el proceso.

La secuencia planteada en la tabla 2.1, es el mas frecuente, pero en ocasiones se modifica, ya que por falta de presupuesto, de espacio o bien porque se ha demostrado en la práctica que se obtienen mejores resultados

---

<sup>14</sup> Cardoso Vigueros L. y Tomasini Ortiz C., Características y efectos de los Residuos Peligrosos. México. SEMARNAT, CNA, IMTA. 2000.

(como es el caso del tratamiento con cal viva de los lodos secados o desaguados)<sup>8</sup>.

cuadro 2.1 Etapas del proceso de tratamiento de lodos

LODOS PROCE- DENTES DEL TRATA- MIENTO	I CONCENTRACIÓN	II TRATAMIENTO O DIGESTIÓN	III ACONDICIONAMIENTO PARA LA DESHIDRATACIÓN
	Espesado por gravedad	Digestión aerobia	Congelación
Filtro banda	Digestión anaerobia		
Flotación con aire disuelto	Tratamiento con cal	Acondicionamiento químico	
	composteo		
	IV DESHIDRATACIÓN	V TRATAMIENTO TÉRMICO	VI DISPOSICIÓN FINAL
Lechos de secado	Centrifugación	Incineración	Abono y acondicionamiento del terreno
Filtración al vacío			
Filtración a presión	Vibración	Oxidación húmeda	Presas o lagunas
Secado por calor			Confinamiento
			Relleno del terreno
			Vertido al océano

Los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales se caracterizan por su alto contenido de agua, lo que les otorga a su vez un volumen importante favoreciendo a sus pobres características mecánicas (las que dificultan su manejo y disposición final). Por esta razón su

<sup>8</sup> Noyola Robles A. y colaboradores. Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales. Mod.5. 1-56. IMTA. 2000.

tratamiento consiste básicamente en la reducción de su volumen mediante la eliminación de su contenido de agua.

Los tipos de procesos en el tratamiento de lodos pueden agruparse en cuatro categorías<sup>15</sup>:

1. Procesos físicos: destinados a la separación, reducción de volumen y peso de los lodos;
2. Procesos químicos: adición de químicos para modificar las características de los lodos
3. Procesos biológicos: aplicación de biomasa para la estabilización de lodos;
4. Procesos térmicos: destinados a la destrucción y detoxificación de lodos.

## **2.7 ESTABILIZACIÓN DE LODOS MUNICIPALES POR DIGESTIÓN TERMÓFILA**

El tratamiento por digestión termófila de los lodos de desecho representa en la actualidad, una buena opción en cuanto a remoción de patógenos y parásitos, disminución de atracción de vectores y putrefacción, de manera que los lodos estabilizados (biosólidos) pueden utilizarse como mejoradores de suelos, de acuerdo con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la USEPA 40 CFR parte 503 y la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2000<sup>16</sup>.

La digestión anaerobia termófila se produce a temperaturas situadas en el intervalo comprendido entre 49 y 57 °C, que proporcionan las condiciones

---

<sup>15</sup> Cortez Cadiz, Elvira. Fundamentos de Ingeniería para el Tratamiento de los Biosólidos Generados por la Depuración de Aguas Servidas de la Región Metropolitana. Pp 51. Universidad de Chile. 2003.

<sup>16</sup> Mendoza Sánchez Lucila, y colaboradores. Estabilización de lodos municipales por digestión anaerobia Termófila. pp. 1. ABES. 2000.

adecuadas para la actividad de las bacterias termófilas. Ésta digestión se lleva acabo a una velocidad muy superior a la de la digestión mesófila<sup>17</sup>.

## 2.8 MARCO REGULATORIO

Los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales son residuos que se clasifican como residuos de manejo especial, según el título Tercero, Capítulo único, artículo 19; de La Ley General Para La Prevención Y Gestión Integral De Los Residuos.

## 2.9 NORMATIVIDAD

Para efectos de la NOM-004-SEMARNAT-2002 los biosólidos se clasifican en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos.

Cuadro 2.2 Limites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos

<b>CONTAMINANTE</b> (determinado en forma total)	<b>EXCELENTES</b> Mg/kg en base seca	<b>BUENOS</b> Mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

<sup>17</sup> Metcalf y eddy. Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. Pp 1022. Mc Graw-Hill. 2002.

Cuadro 2.3 Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

CLASE	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACIÓN	PATOGENOS	PARASITOS
		Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca
<b>A</b>	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
<b>B</b>	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
<b>C</b>	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a)Huevos de helmintos viables                      NMP número más probable

El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en el cuadro 2.4 y su contenido de humedad hasta el 85%.

Cuadro 2.4 Aprovechamiento de biosolidos

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
<b>EXCELENTE</b>	<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación</li> <li>• Los establecidos para la clase B y C</li> </ul>
<b>EXCELENTE O BUENO</b>	<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos urbanos sin contacto directo durante su aplicación</li> <li>• Los establecidos para la clase C</li> </ul>
<b>EXCELENTE O BUENO</b>	<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos forestales</li> <li>• Mejoramiento de suelos</li> <li>• Usos agrícolas</li> </ul>

La aplicación de los biosólidos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se sujetará a lo establecido en la ley federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia.

Los sitios para la disposición final de lodos y biosólidos, serán los que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en la materia. Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la NOM-004-SEMARNAT-2002, pueden ser almacenados hasta por un periodo de dos años. El predio en el que se almacenen debe ser habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo y contar con un sistema de recolección de lixiviados.

Se permite la mezcla de dos o mas lotes de los lodos o biosólidos, siempre y cuando ninguno de ellos esté clasificado como residuo peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en dicha NOM<sup>13</sup>.

## **2.10 GENERACIÓN DE OLORES EN LOS BIOSOLIDOS**

Un aspecto interesante de los biosólidos es que constituyen una fuente abundante de alimento para los microorganismos, que incluyen aminoácidos, proteínas y carbohidratos. Estos microorganismos en los biosólidos degradan estas fuentes de energía y se forman compuestos olorosos. Las formas orgánicas e inorgánicas del azufre, los mercaptanos, el amoníaco, las aminas y los ácidos grasos orgánicos se conocen como los compuestos causantes de los olores más desagradables asociados con la producción de biosólidos. Estos compuestos son liberados de los biosólidos, típicamente por el calor, la aireación y la digestión. Los olores varían según sea el tipo de sólidos residuales procesados y el método de proceso.

La digestión anaerobia de los residuos primarios del agua residual produce sulfuro de hidrógeno y otros gases que contienen azufre, mientras que la estabilización alcalina de los sólidos libera al aire el amoníaco junto con otros compuestos volátiles. Los olores del compostaje pueden ser causados por el

---

<sup>13</sup> NOM-004-SEMARNAT-2002.

amoníaco, las aminas, los compuestos de azufre, los ácidos grasos, los compuestos aromáticos e hidrocarburos tales como los terpenos; estos últimos son provenientes de productos de madera que son utilizados como agentes de abultamiento. Los biosólidos digeridos aeróbicamente y los biosólidos secados al aire, si bien pueden contener muy poco sulfuro de hidrógeno, tienen olores causados por el mercaptano y el sulfuro de dimetilo<sup>18</sup>.

### **2.10.1 ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DE OLORES**

Los métodos actuales para el control de olores provenientes de las instalaciones de producción de biosólidos incluyen los biofiltros, los tanques de lodo activado, los depuradores o limpiadores químicos húmedos, los oxidadores termales regenerativos, y los agentes contrarrestantes o neutralizantes del olor.

- **Biofiltros**

Los biofiltros remueven los olores de una corriente de aire fétida por medio de la adsorción y la absorción de los compuestos sobre un lecho de un medio natural en donde los microorganismos oxidan los compuestos. Las bacterias y otros microorganismos del medio se aclimatan a los compuestos presentes y son suficientes para proporcionar la acción de limpieza.

- **Tanques de lodo activado**

De modo similar a los biofiltros, los tanques de lodos activados utilizados para el tratamiento secundario en las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden remover olores fétidos por medio de la adsorción, la absorción, la condensación y la oxidación microbiana.

- **Depuradores químicos húmedos**

Los depuradores químicos húmedos son el mejor método para el tratamiento de las emisiones del olor de la alta intensidad y grandes volúmenes.

---

<sup>18</sup> EPA 832-F-00-067. Control de olores en el manejo de biosólidos. pp. 1-22. Office of Water Washington, D.C. 2000.

Generalmente se utilizan en instalaciones de estabilización alcalina, en instalaciones de secado de biosólidos y en incineradores.

- **Oxidadores termales regenerativos**

Los oxidadores termales regenerativos utilizan altas temperaturas para incinerar compuestos transportados por aire en una cámara de combustión con un período corto de retención. Esta tecnología se utiliza generalmente para los secadores térmicos de biosólidos, los incineradores, o el aire de evacuación de los tanques de almacenamiento de biosólidos.

- **Agentes contrarestantes, neutralizadores y oxidantes**

Estos productos se utilizan para reducir el impacto de olores de fuentes dispersas, tales como áreas de tratamiento de biosólidos o pilas de almacenamiento, y de fuentes puntuales como las chimeneas de ventilación. Aceites esenciales y compuestos registrados se utilizan como agentes que enmascaran olores y como agentes de neutralización de olores. Generalmente, estos materiales no son tóxicos y no representan un peligro a los seres humanos ni el ambiente<sup>18</sup>

## **2.11 APROVECHAMIENTO DE LOS BIOSOLIDOS COMO COMBUSTIBLE ALTERNO**

Los lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en lo particular presentan un gran potencial debido a la enorme cantidad que se genera actualmente y que se generará en las próximas décadas. Estos lodos presentan un contenido de humedad de alrededor del 80 % y un valor energético entre los 2,000 y 4,000 kcal/Kg. (kilo calorías por kilogramo seco de lodo) de lodo base seca. Los diferentes giros industriales interesados en el aprovechamiento de lodos de PTAR como combustibles alternos presentan básicamente los mismos requisitos: bajo contenido de humedad

---

<sup>18</sup> Ibidem. pp. 1-22. Office of Water Washington, D.C. 2000.

(inferior al 5%), alto contenido energético (superior a 2,500 kcal/kg) y libre de metales pesados (mercurio y plomo)<sup>19</sup>.

## 2.12 UTILIZACIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS

La aplicación de los biosólidos al suelo es el método más antiguo y común de uso de los biosólidos. Inicialmente éste manejo consistía principalmente en su aplicación como relleno en el suelo, sin embargo, la tendencia es fomentar la aplicación de técnicas de compostaje para reutilizar el producto como un mejorador de suelo. Esto ha dado como resultado el desarrollo de nuevas regulaciones a nivel mundial que establecen las condiciones y estándares necesarios para que el uso y disposición de los biosólidos no constituya un riesgo para el medio ambiente ni para la salud humana<sup>20</sup>.

El reciclaje de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. Estos mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones mas favorables para el crecimiento de raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. Además los biosólidos pueden servir como una alternativa o sustituto de los costosos fertilizantes químicos. Los nutrientes contenidos en los biosólidos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes químicos debido a que son orgánicos y pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de lixiviarse a agua subterránea o ser arrastradas a las aguas superficiales<sup>21</sup>.

---

<sup>19</sup> Llamas Armando y Treviño Arjona Belzahet. Aprovechamiento de biosólidos como una fuente de energía ecológica. Dirección de Extensión y Vinculación del Campus Monterrey. 2004.

<sup>20</sup> EPA-503-R-99-009. Biosolids Generation, use, and disposal in the united States. Office of Water Washington, D.C. 1999. <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/compost/biosolid.pdf>

<sup>21</sup> EPA 832-F-00-064. Aplicación de biosólidos al terreno. Office of Water Washington, D.C. 2000.

## 2.12.1 EXTENSIÓN AL TERRENO E INYECCIÓN DE LODOS

La aplicación al suelo del lodo de las aguas residuales se define como la distribución del lodo sobre el terreno o inmediatamente por debajo de la superficie del mismo.

Los pasos que hay que adoptar en el diseño de un sistema de aplicación al suelo incluyen los siguientes:

- Caracterización de la cantidad y calidad del lodo
- Revisión de las normas locales, estatales y federales aplicables
- Evaluación y elección del emplazamiento y de la opción de evacuación
- Determinación de los parámetros de diseño del proceso, cargas, superficie del terreno necesario, métodos y calendario de aplicación<sup>17</sup>.

Debido a la agricultura intensiva, algunos suelos quedan deficitarios en nutrientes. Los lodos de depuradoras o biosólidos tienen un origen orgánico y por tanto pueden proporcionar una enmienda de suelos que contiene nutrientes esenciales para las plantas<sup>7</sup>. La aplicación al terreno de lodos de depuradoras pueden inyectarse al suelo o pueden ser aplicados a la superficie del terreno. Para la inyección al suelo se utilizan vehículos especializados que tienen mangueras que salen del tanque de almacenamiento hacia las toberas de inyección, donde se liberan los biosólidos; para la aplicación superficial se utilizan vehículos especializados modificados ó equipos agrícolas convencionales<sup>21</sup>.

La aplicación de los biosólidos al terreno, depende de muchos parámetros, incluidos:

- Clima y precipitaciones
- Estado de nutrientes del suelo existente

---

<sup>17</sup> Metcalf y eddy. Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. Pp 1022. Mc Graw-Hill. 2002.

<sup>7</sup> Uribe Montes H. R. y colaboradores. Uso De Biosólidos Para Incrementar La Productividad En Alfalfa. 1. Campo experimental Delicias. 2001.

<sup>21</sup> EPA 832-F-00-064. Op. Cit. Office of Water Washington, D.C. 2000.

- Cultivos previstos
- Características del lodo: químicas
- Potencial de contaminación de cosechas
- Potencial de contaminación de aguas subterráneas o superficiales.

La tasa de aplicación de lodos se diseña para los niveles de N ó P del cultivo cosechado en un determinado suelo. El método general para determinar las tasas de aplicación es<sup>11</sup>:

1. Necesidad de nutrientes del cultivo, teniendo en cuenta los remanentes de años anteriores.
2. Necesidades de nitrógeno del cultivo, limitaciones de Cadmio y necesidades de fósforo.
3. La aplicación del lodos se termina cuando se alcanzan los límites de metal acumulados.

La aplicación de biosólidos puede tener pérdidas de nutrientes en forma de gases. Se ha evaluado la volatilización de amoníaco a través de colectores dinámicos y semiabiertos en condiciones de campo y con diferentes temperaturas ambientales<sup>22</sup>.

### **2.12.2 EXTENSIÓN SOBRE TERRENOS EN BOSQUES**

El uso de biosólidos en el sector forestal es mucho menos común que en el sector agrícola, pero afortunadamente esta práctica se ha incrementado considerablemente en los últimos años<sup>23</sup>.

La aplicación de biosólidos en zonas forestales también es un uso final beneficioso. Sin embargo, no siempre los bosques están a una distancia de viaje económico de plantas tratadoras de aguas residuales. Otra dificultad es

---

<sup>11</sup> Kiely Gerard. Op. Cit. 823 – 831. McGraw-Hill. 1999.

<sup>22</sup> Jurado Guerra Pedro, y colaboradores. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos. pp. 379-395. Tec Pecú Méx., 2004.

<sup>23</sup> Cortina, J., y colaboradores. El uso de biosólidos en el sector forestal valenciano. pp 65. Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales. 2001.

la mecánica de obtener una extensión uniforme de lodo debido a las frecuentes interrupciones por la presencia de árboles. La metodología de aplicación es la pulverización a pistola y eso también puede dañar la corteza de los árboles si la fuerza es excesiva. Otra de las dificultades son las limitaciones relativas a los componentes del lodo, incluidos los patógenos, y lixiviación de nitratos.

La tasa de fijación de nitrato estimada para los bosques oscila de unos 100 a 300 kg/ha/año. Las pérdidas por volatilización de nitrógeno amoniacal se estiman hasta en un 50 % de los lodos aplicados en forma líquida y casi cero para los deshidratados. La aplicación de los lodos puede producir un crecimiento acelerado de los árboles (200 a 300%). Por supuesto que cambiará las características del bosque en relación con el contenido de humedad, propiedades estructurales, etc<sup>11</sup>.

### **2.12.3 REVEGETACIÓN DE TERRENOS**

En muchos sitios en que la tierra ha estado sobrecultivada y ha perdido sus nutrientes, se pueden devolver rápidamente las condiciones de trabajo mediante la aplicación de lodos residuales o biosólidos. Las condiciones de aplicación en éste caso están mas limitadas por los metales que por los lodos, como era el caso de la aplicación al terreno. Así como las pautas orientativas de aplicación de lodos a terrenos de cultivo establecen un límite de 10 t/ha/año, no hay tal límite para la revegetación del terreno. Las tasas varían de 3 a 200 t/ha/año. Ya que la aplicación puede ser una sola vez o a intervalos de cinco años<sup>11</sup>.

### **2.12.4 RECUPERACIÓN DE TERRENOS DAÑADOS**

Como la minería es una práctica internacional, existen oportunidades de utilizar grandes cantidades de lodos o biosólidos para restaurar éstos paisajes en casi todos los países. Se han encontrado dificultades con la

---

<sup>11</sup> Ibidem. 823 – 831. McGraw-Hill. 1999.

revegetación debido al bajo pH de éstos terrenos, su escasa capacidad de campo (incapacidad de retener mucho agua) y la presencia de altas concentraciones de metales pesados. Los terrenos potencialmente adecuados para la restauración en ésta forma son: zonas mineras de carbón, graveras y areneros, zonas de cobertura de vertederos, zonas explosionadas para roca, etc. Las tasas típicas de aplicación de lodos para revegetar zonas son uno o dos órdenes de magnitud mayores que los del lodo aplicado a zonas de cultivo. Como tal, los problemas son: lixiviación de nitrógeno a aguas subterráneas; escorrentía de metales no ligados al suelo y transmisión de patógenos. Como la aplicación es de una sola vez o quizá intervalos de cinco años, debe haber una cantidad suficiente de terreno para gastar el lodo disponible<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Ibidem. 823 – 831. McGraw-Hill. 1999.

El cuadro 2.5 muestra algunos escenarios típicos donde se pueden aplicar los biosólidos.

Cuadro 2.5 Escenarios típicos de aplicación de biosólidos

Tipo de área/vegetación	Periodo	Frecuencia de aplicación	Tasa de Aplicación
Maíz	Abril, mayo, luego de la cosecha	anualmente	5 a 10 ton. Secas/acre
Granos pequeños	Marzo a junio, agosto y en el otoño	Hasta 3 veces al año	2 a 5 ton. Secas/acre
Semilla de soya	Abril a junio y en el otoño	anualmente	5 a 20 ton. Secas/acre
Heno	Después de cada poda	Hasta 3 veces por año	2 a 5 ton. Secas/acre
Área de bosques	Todo el año	Una vez cada 1 a 2 años	5 a 100 ton. Secas/acre
Terreno de pastoreo	Todo el año	Una vez cada 1 a 2 años	2 a 60 ton. Secas/acre
Áreas de recuperación	Todo el año	Una vez	60 a 100 ton. Secas/acre

FUENTE: U.S. EPA, 1984.

### 2.12.5 UTILIZACIÓN DEL LODO RESIDUAL OBTENIDO DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE LA CACHAZA

El lodo de digestión proveniente del tratamiento anaeróbico del proceso de clarificación del azúcar en la industria azucarera y aplicado como beneficio en huertos, produce un efecto estimulante en la fisiología y desarrollo de las plantas de ajo porro (*allium porrum L.*) que redunda en el incremento de los

rendimientos que se obtienen en el mismo; comportándose como un fertilizante de liberación lenta y como un acondicionador de suelos<sup>24</sup>.

### **2.13 ALTERNATIVA DE USO Y MANEJO DE LODOS PETROQUÍMICOS PROVENIENTES DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES**

Con el fin de evaluar la tasa de degradación de lodo petroquímico, fue realizado un ensayo de campo utilizando dosis del mismo, aplicados en volúmenes de: 0; 5; 7.5; y 10 l/m<sup>2</sup>, para la cual se midió el comportamiento de la población bacteriana, incorporación de carbono orgánico (C), la tasa de respiración del suelo (respiración edáfica) y porcentaje de degradación de hidrocarburos aromáticos y saturados. Desde el inicio del ensayo la población total de bacterias en forma general tendió a disminuir, hasta los 90 días, luego de éste periodo registró una leve incremento hasta estabilizarse. En cuanto al aporte de carbono hubo un gran incremento en la concentración de éste; viéndose afectada dicha concentración por la actividad microbiana en el suelo. La respiración del suelo observó una variación similar durante el periodo de ensayo para todos los tratamientos. Por último se apreció una buena degradación tanto de hidrocarburos aromáticos como de saturados, siendo mayor la tasa de degradación en los aromáticos<sup>25</sup>

### **2.14 RIESGOS DE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS**

Existen numerosos estudios en los que no se ha observado efecto alguno de la aplicación de biosólidos sobre la producción vegetal, o incluso estudios en los que se ha observado efectos negativos. Los biosólidos, especialmente si

---

<sup>24</sup> Valdés Méndez Wilfredo, y colaboradores. Utilización Del Lodo Residual Obtenido De La Digestión Anaeróbica De La Cachaza como bioabono para el Cultivo de Ajo Porro (*Allium Porrum* L.). Pp. 226 Vol. 24 N° 4. INTERCIENCIA. 1999.

<sup>25</sup> Chirinos I. J. y Pereira N. Una alternativa de uso y manejo de lodos petroquímicos provenientes de sistemas de tratamiento de efluentes. 206-212. Universidad de Zulia. 1999. Vol.16.

proviene de zonas industriales, pueden contener grandes cantidades de metales pesados. El incremento de la actividad de metales pesados en suelos con frecuencia se traduce en una disminución de la acumulación de biomasa, también de modificaciones en la morfología, la anatomía y la arquitectura del sistema radicular, y de otros desajustes morfológicos y funcionales<sup>23</sup>.

Generalmente estos riesgos se pueden controlar de la siguiente manera:

- promoviendo el control apropiado de las fuentes de contaminación y la eliminación de los desechos peligrosos de las casas y negocios industriales.
- evaluando la calidad de las aguas residuales tratadas y lodos.
- asegurando que el tipo de suelo sea apropiada para la incorporación del lodo o biosólido.
- determinando la condición del suelo, paisaje, cultivos y vegetación para el uso o restricción de los biosólidos.
- controlando y supervisando el transporte, almacenamiento, aplicación y uso del suelo durante y después de la aplicación.
- limitando la cosecha y pastoreo hasta que haya pasado un tiempo apropiado<sup>26</sup>.

## 2.15 LIMITACIONES Y PRÁCTICAS DE MANEJO

La NOM-004-SEMARNAT-2002 establece los límites en la concentración de algunos elementos en los biosólidos que se aprovechan en terrenos con fines agrícolas. En general, los biosólidos para usos forestales, mejoramiento de suelo y usos agrícolas deberán cumplir con las concentraciones indicadas para los biosólidos de tipo "buenos" y de clase C. Por lo tanto, el

---

<sup>23</sup> Cortina, J., y colaboradores. Op Cit. pp 65. Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales. 2001.

<sup>26</sup> Departamento de Salud Ambiental del Condado de San Luis. Aguas Residuales Tratadas, lodos/biosólidos y aplicación al suelo. 1. Servicios de Salud Ambiental del Condado de San Luis Obispo. 2001.

aprovechamiento de biosólidos se establece en función del tipo y clase y su contenido de humedad hasta el 85 %.

Además la USEPA (united status environmental protection agency) recomienda realizar las siguientes prácticas de manejo para el uso de biosólidos en la agricultura. 1) no aplicar biosólidos en lugares que contengan una planta amenazada o en peligro de extinción; 2) restricción en sitios inundados, congelados o cubiertos de nieve para evitar contaminación de agua; 3) no aplicar biosólidos a una distancia de 10 m. o menos de cualquier fuente de agua; 4) no exceder la dosis agronómica de Nitrógeno; 5) etiquetar envases y contenedores de biosólidos<sup>22</sup>. Cuando los biosólidos se aplican en suelos alcalinos como la mayoría de los suelos del altiplano mexicano (con un pH arriba de 7.6), la solubilidad de los metales pesados es muy bajo y minimiza su movimiento hacia los acuíferos o su absorción por las plantas. La aplicación se debe de realizar por lo menos un mes antes de la siembra de los cultivos preferentemente incorporados al suelo<sup>27</sup>.

Los biosólidos se han utilizado con éxito en Australia para condicionar los suelos en mezclas de tierra para plantas, abono vegetal, rehabilitación de suelos, jardinería, silvicultura, fabricación de ladrillos y agricultura<sup>28</sup>.

## 2.16 FERTILIDAD DEL SUELO

El suelo es el factor de producción más importante para los cultivos y al mismo tiempo es él mas influenciado por el agricultor, los suelos son sistemas muy diversos y complejos, llenos de vida; el suelo puede ser mirado como una forma de vida, porque es un hábitat para plantas, animales y microorganismos que están todos interconectado entre sí. El suelo consta de partículas minerales, materia orgánica y poros, las partículas minerales se

---

<sup>22</sup> Jurado Guerra Pedro, y colaboradores. Op. Cit. pp. 379-395. Tec Pecu Méx., 2004.

<sup>27</sup> Uribe Montes Hugo R. uso de biosolidos en la agricultura. [www.inifap.gob.mx/logros/algodón.pdf](http://www.inifap.gob.mx/logros/algodón.pdf). NTEC. 2002.

<sup>28</sup> Melbourne Water. La Planta de Tratamiento de Aguas del Occidente. Pp. 4. Información esencial. 2005.

originan en el subsuelo y las rocas que se desintegran en partes cada vez más pequeñas a través de procesos físicos y químicos. Además de partículas minerales, el suelo contiene materia orgánica o humus, en menor o mayor cantidad, resultado de la descomposición de la biomasa. La materia orgánica está presente principalmente en el estrato superior del suelo, el cual está sujeto a procesos continuos de transformación, la parte activa de la materia orgánica del suelo puede además ser descompuesta por organismos de este.

Además de las partículas minerales y materia orgánica, los suelos también constan de poros menudos (hoyos diminutos) llenos de aire y agua. La distribución espacial de partículas y poros se resume como la "estructura del suelo", los poros pequeños son buenos en conservar la humedad, los más grandes permiten una infiltración rápida de agua de lluvia o de irrigación y además ayudan a drenar el suelo y a asegurar su aeración.

En suelos bien estructurados, la materia orgánica y las partículas minerales forman agregados estables. La materia orgánica opera como un adhesivo, pegando partículas de suelo, este proceso es apoyado por los organismos del suelo como las lombrices de tierra, bacterias y hongos, así la estructura del suelo puede ser mejorada agregando al suelo materia orgánica pero también puede arruinarse mediante un manejo inadecuado del suelo, por ejemplo al labrar la tierra húmeda provocando su compactación.

Los nitratos son una buena medida del nitrógeno disponible para las plantas, pero pueden desaparecer rápidamente por lixiviado y volatilización.

El suelo es el hábitat de millones de microorganismos, algunos son de origen animal, y otros de origen vegetal. Los organismos difieren grandemente en el tamaño, algunos son visibles a simple vista como las lombrices, garrapatas, termitas, sin embargo, la mayoría son tan pequeños que sólo pueden ser vistos con un microscopio, por consiguiente se les llama microorganismos. Los microorganismos más importantes son las bacterias, hongos y los protozoarios, los microorganismos son los elementos claves para la calidad y la fertilidad de los suelos. Mientras mayor sea la variedad de especies y más alto su número, mayor es la fertilidad natural del suelo.

Algunos organismos mayores del suelo son: lombrices, arañas, babosas y caracoles, abejones, garrapatas, ciempiés, pizarreros, etc. Algunos microorganismos del suelo bacteria, algas, hongos, protozoarios, actinomiceto, etc

En realidad, mientras pocos microorganismos en el suelo pueden dañar cultivos, la mayoría son de mucha utilidad y gran importancia para la fertilidad del suelo. Los organismos del suelo son importantes porque:

- Ayudan a descomponer el material orgánico y fabricar humus.
- Mezclan la materia orgánica con partículas del suelo y así ayudan a desarrollar partículas de suelo estables.
- Hacen túneles que promueven el enraizamiento profundo de las plantas y la buena aeración del suelo.
- Ayudan a liberar nutrientes de las partículas minerales.
- Ayudan a controlar plagas y enfermedades que afectan las raíces de los cultivos.

La mayoría de organismos de los suelos son muy sensibles a los cambios en humedad y temperatura en los suelos, a medida que la planta se enraíza y los organismos del suelo consumen aire, una buena circulación de aire en el suelo es crucial para su desarrollo. La actividad de los organismos del suelo es generalmente baja cuando los suelos están secos, muy mojados o muy calientes, la actividad es más alta en los suelos cuando éstos están tibios, húmedos y cuando la comida (o sea biomasa) está disponible<sup>29</sup>.

---

<sup>29</sup> FiBL. Manual de Capacitación en Agricultura Orgánica para los Trópico. IFOAM.2004. (<http://.fibl.net/español/publicaciones/manual/index.php#1>)

## 2.16.1 FACTORES QUE INFLUENCIAN EN LA FERTILIDAD DEL SUELO

- Profundidad del suelo: El volumen explotable por las raíces.
- Disponibilidad de agua: La retención de humedad para el abastecimiento continuo de agua.
- Drenaje: La mayoría de cultivos no pueden soportar los suelos anegados.
- Aeración: Necesario para un crecimiento saludable de las raíces y una alta actividad de vida en el suelo.
- pH (el rango de acidez): El suelo no debería ser demasiado ácido o demasiado alcalino.
- Composición mineral: Tiene influencia en la cantidad de nutrientes liberados a través de la meteorización y la estructura del suelo.
- Contenido de materia orgánica: Tiene influencia en los nutrientes liberados por la descomposición, la capacidad de captar nutrientes, retención de agua, estructura del suelo y la vida en el suelo.
- La actividad de los organismos del suelo: Son cruciales para la disponibilidad de los nutrientes, retención de agua, buena estructura del suelo, la descomposición de la materia orgánica y la buena salud del suelo.
- La contaminación: La concentración alta de sal, pesticidas o metales pesados pueden inhibir el crecimiento de la planta.

Los agricultores pueden mejorar la fertilidad de su suelo mediante diversas prácticas de manejo, es importante lograr:

- Una protección del suelo de la luz del sol y la lluvia fuerte por medio de una cubierta de plantas: por ejemplo mulching con residuos de plantas, el uso de abonos verdes o siembras de cultivos de cobertura, para impedir la erosión del suelo y conservar humedad.
- Una rotación de cultivos adecuada o cultivos asociados: Una secuencia adecuada de cultivos anuales impide la erosión del suelo.
- Un método apropiado de labranza del suelo: es necesario para obtener una buena estructura del suelo sin causar erosión y compactación.

- Un buen manejo de los nutrientes: La aplicación de estiércoles y fertilizantes según las demandas de los cultivos en sus respectivas etapas de crecimiento.
- La protección y alimentación balanceada de los organismos del suelo: reforzando la actividad de los microbios beneficiosos del suelo y organismos como las lombrices, suministrando a éstas material orgánico<sup>29</sup>.

## 2.17 SALINIDAD DEL SUELO

La salinidad en los suelos es un problema para la agricultura del mundo, siendo el factor que mas limita la productividad de los cultivos. las sales tienen efectos adversos sobre las propiedades físicas y químicas, y sobre los procesos microbiológicos del suelo. los suelos afectados por sales representan cerca del 15% de las tierras áridas y semiáridas del mundo, y además representan 40% de las tierras irrigadas.

La conductividad eléctrica (CE) de mezclas de suelo-agua indica la cantidad de sales presentes en el suelo. Todos los suelos contienen algo de sales, las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas. Sin embargo un exceso de sales inhibe el crecimiento de las plantas al afectar el equilibrio suelo-agua, reducen la fotosíntesis y la demanda de nitrógeno y como consecuencia de la disminución de la productividad. Suelos que contengan exceso de sales aparecen naturalmente y también como resultado del uso y manejo del suelo. Los suelos afectados por sal son encontrados particularmente en el este árido y semiárido del país (EE.UU), donde la precipitación anual es baja, permitiendo la acumulación de sales en el perfil del suelo. Las mediciones de conductividad eléctrica detectan la cantidad de cationes o aniones (sales) en solución. Cuanto mayor es la cantidad de aniones o cationes tanto mayor es la lectura de la conductividad eléctrica. Los iones generalmente asociados con salinidad son calcio(Ca<sup>++</sup>), magnesio

<sup>29</sup> Ibedem. IFOAM. 2004. (<http://.fiabl.net/español/publicaciones/manual/index.php#1>)

(Mg<sup>++</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), sodio (Na<sup>+</sup>), hidrógeno (H<sup>+</sup>) (cationes) ó nitratos (NO<sub>3</sub>-), sulfatos (SO<sub>4</sub>-), cloruros (Cl-), bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>-), OH- (aniones).

Un exceso de sales puede ser perjudicial para la salud de las plantas. Las sales pueden, también, dificultar la penetración de agua en el suelo y aumentar la aparición de compactación superficial.

En general los valores de la CE 1:1 de entre 0 y 0.8 mS/cm son aceptables para el crecimiento de los cultivos en general. Interpretaciones de calidad de suelo para sitios específicos depende del uso específico de las tierras y de la tolerancia de los cultivos<sup>30</sup>.

## 2.18 EFECTO DE LA ADICIÓN DE UN LODO RESIDUAL SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

La adición de lodos residuales sobre las propiedades del suelo, aumenta el rendimiento de los cultivos, incluso cuando la dosis de aplicación no supere los requerimientos de nitrógeno calculados. Se ha apreciado un significativo incremento del pH de los suelos tratados con dosis mayores de lodos. Los niveles de materia orgánica y metales pesados no se ven, en general, significativamente afectados por la aplicación de los lodos. No se han observado síntomas de toxicidad en los cultivos<sup>31</sup>.

---

<sup>30</sup> Lutens Alberto y Salazar Lea Plaza J.C. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. CRN – CNIA – INTA. 2000. <http://soils.usda.gov/sqi/files/KitSpanish.pdf>

<sup>31</sup> Quintero Rodríguez, M. P.; y colaboradores. Efecto De La Adición De Un Lodo Residual Sobre Las Propiedades Del Suelo. pp 1-10. Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. 1998.

## **CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El lugar de donde se tomaron las muestras para las realización de los análisis se encuentra dentro del municipio de Gómez Palacio Durango; éste se localiza al oriente del estado en las coordenadas 25 33' 00" y 25 32' 27" de latitud norte y 103 18' 27" y 103 40' 30" de longitud oeste, a una altura de 1,150 metros sobre el nivel del mar. Su distancia aproximada a la capital del estado es de 250 kilómetros, con precipitaciones de 230 mililitros anuales, con una humedad relativa promedio de 49%. La composición del suelo corresponde a los del tipo xerosol.

#### **3.1.1 EXTENSIÓN Y COLINDANCIAS DEL MUNICIPIO DE GOMEZ PALACIO**

Ocupa una extensión de 95,300 hectáreas. Su territorio constituye una planicie rota en su extremo sur por dos pequeñas elevaciones conocidas como el Cerro de La Pila y el Cerro de San Ignacio, Gómez Palacio representa el 0.7% de la superficie del estado de Durango.

El Municipio de Gómez Palacio colinda al Norte con los Municipios de Mapimí, Tlahualilo y con el Estado de Coahuila de Zaragoza, al Este con el Estado de Coahuila de Zaragoza, al Sur con el Estado de Coahuila de Zaragoza y el Municipio de Lerdo, al Oeste con los Municipios de Lerdo y Mapimí.

#### **3.1.2 OROGRAFÍA, HIDROGRAFÍA Y CLIMA**

Cuenta con una cordillera caliza llamada Sierra de Mapimí ó del Sarnoso ubicada al Oeste, con una elevación máxima de 2080 metros sobre el nivel del mar y una elevación conocida como el Cerro de La Pila de unos 50 metros de altura y de menos de 2 Kilómetros de extensión. Esta planicie se

ve cortada en el extremo Sur por el Cerro de Las Calabazas, que bordea a su vez el Río Nazas, hasta su límite con el Municipio de Lerdo.

La zona hidrográfica del Municipio de Gómez Palacio se localiza en el tramo comprendido entre los límites del Municipio de Lerdo y la llamada Boca de Calabazas. No cuenta con otro arroyo de aguas permanentes o hidrografía propia, sin embargo llegan hasta él las aguas del Río Nazas, el cual nace en el Municipio de Guanaceví del propio Estado de Durango, de la unión de cuatro afluentes: Sextín, Ramos, Oro y San Francisco; siendo su cauce de Poniente a Oriente, siguiendo la pendiente de la Sierra Madre Occidental. Sobre el transcurso del río existen dos presas: la Lázaro Cárdenas con una capacidad de 3,336 millones de metros cúbicos, conocida como "El Palmito", la cual es alimentadora de la Francisco Zarco que tiene una capacidad 436 millones de metros cúbicos, también conocida como Las Tórtolas.

El clima varía de seco ó templado en la Sierra del Sarnoso, a muy seco ó semicálido en las llanuras. La temperatura máxima media es de 38.1/4°C y la mínima media de 12.1/4°C, siendo la temperatura media de 24.41/4°C y una humedad relativa promedio del 53%. Los vientos dominantes en la estación de verano son alisios provenientes del Noroeste y son de fuerte intensidad; contienen humedad que por lo general resecan el aire atmosférico, lo que favorece la presencia de las heladas, iniciándose el periodo de mayor intensidad en los meses de Diciembre y Enero.

### 3.1.3 FLORA Y FAUNA

En la parte central del Municipio se localizan áreas de vegetación de desierto arenoso, al Oeste y Suroeste matorrales desérticos, rosetófilos y micrófilos.

La actividad forestal sólo es posible en áreas muy poco significativas al suroeste del municipio.

Las principales especies de la vegetación Halófila son: Mezquite (*Prosopis glandulosa*), Junco (*Keoberlinia spinosa*), Tasajillo (*Opuntia leptocaulis*), Chamizo (*Atriplex canescens*), Saladillo (*Saueda nigrecens*).

De matorral desértico: Rosetófilo: Lechuguilla (*Agave lechuguilla*), Huizache, Gatuóo, Cuervilla y Nopal.

En la fauna, sobresalen las siguientes especies: Ardilla, Liebre, Coyote, Conejo y Murciélago. En cuanto a aves, las que sobresalen son: Zopilote, Chanate, Urraca, Chilero, Golondrina y Paloma Llanera. En lo que a reptiles se refiere, en la región se identifican: El Camaleón, Lagartijas, diversos tipos de Serpientes de Cascabel y Culebras. También existen Zorras, Águilas, Aguilillas, Halcones, Lechuzas, Zorrillos y Tlacuaches.

### **3.1.4 USO POTENCIAL DEL SUELO**

La mayor parte del suelo del Municipio está catalogado como agrícola, por la aptitud que presentan sus tierras, salvo en algunas áreas de la porción Suroeste debido a su topografía abrupta. En el aspecto pecuario se localizan dos áreas, la primera al Norte y Noroeste de la cabecera municipal, donde es posible el pastoreo de ganado caprino y la segunda en la zona denominada Cuenca Lechera de La Laguna, ya que tanto el clima como la tierra y la disponibilidad de agua permiten la instalación de establos lecheros y el desarrollo de diversos tipos de forrajes.

### **3.1.5 INFRAESTRUCTURA PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO**

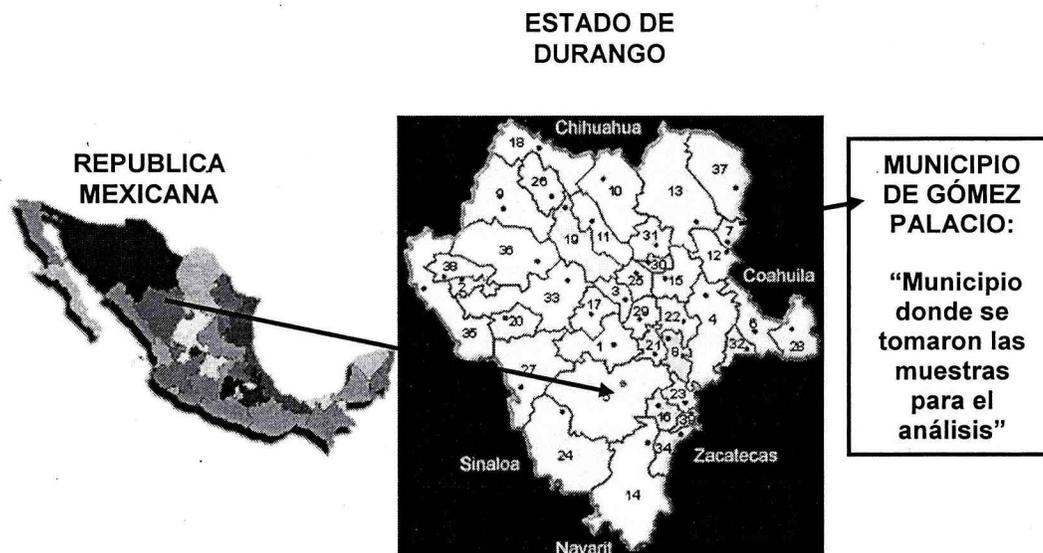
En el parque industrial de Gómez palacio Durango se encuentran actualmente en operación 693 empresas y 135 mas en el territorio del municipio. La ocupación de trabajadores en la industria de transformación asciende para el año 2000 a 36, 652 y a 56, 558 en el resto de los sectores productivos, sumando en total 93 210 empleados en los distintos sectores de la economía municipal. las principales ramas de la industria son: elaboración de vinos, explosivos, textiles, aceite, jabón y glicerina; además cuenta con molinos de harina y una armadora de automóviles.

### 3.1.6 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Dentro del municipio se ubican en total once plantas de tratamiento de aguas residuales con una capacidad instalada de 694.57 litros por segundo. De ellas, una corresponde al sector público del municipio y las 10 restantes al sector privado. Dentro de estas últimas tres son lagunas de oxidación y siete mas que incluyen sistemas de laguna aireada, lodos activados, fosas de sedimentación, carbón activado, neutralización, lagunas de estabilización y neutralización y torres de enfriamiento<sup>32</sup>.

En la figura 3.1 se proyecta la ubicación del lugar donde se tomaron las muestras

Figura 3.1 Ubicación geográfica del área de estudio



### 3.2 LOCALIZACIÓN REGIONAL DONDE SE REALIZÓ EL ESTUDIO

Los análisis químicos de las muestras de lodo se desarrollaron en el laboratorio de suelos, y los análisis microbiológicos en el laboratorio de diagnóstico; ambos laboratorios localizados dentro de la universidad

<sup>32</sup> Republicano Ayuntamiento de Gómez Palacio Durango. Plan de Desarrollo 2004-2007. pp 13-39. (<http://www.gomezpalacio.gob.mx/infraestructura.html>). 2004.

Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, ubicada en el Periférico y Carretera Santa Fé, Torreón Coahuila, México.

### 3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En el presente trabajo se realizaron análisis de lodos residuales o biosólidos procedentes de lechos de secado y del filtro prensa de una planta tratadora de aguas residuales de una industria textil; cada análisis con diferentes pruebas de tratabilidad, quedando de la siguiente manera:

- **Primer análisis (A1)**

Las muestras para el primer análisis se tomaron el día jueves diez de marzo de 2005, para el uso exclusivo de los análisis químicos (análisis de fertilidad y salinidad), los lodos se obtuvieron directamente de la industria, estabilizados con cal en los lechos de secado; se colocaron en bolsas de polietileno bien selladas e identificadas, para posteriormente ser conservadas a 4°C y analizados en el laboratorio de suelos de la UAAAN-UL. Los resultados obtenidos de las muestras de lodos se identificaron como **A1**

- **Segundo Análisis (A2)**

El día miércoles 27 de abril de 2005 se tomaron al azar cuatro muestras de lodo residual o biosólidos, recién descargados al lecho de secado y del filtro prensa, que no estaban estabilizados (lodos sin tratamiento). Posteriormente fueron selladas e identificadas con la finalidad de hacerles análisis químicos y microbiológicos (identificación de *Escherichia coli*, *Salmonella spp* y *Huevos de helmintos*). Los resultados obtenidos de las muestras de lodos se identificaron como **A2**

- **Tercer Análisis (A3)**

Muestras provenientes de lodos del lecho de secado y del filtro prensa, se mezclaron y se colocaron sobre una cubierta plástica, donde permanecieron expuestos al sol durante 10 días, alcanzando una temperatura diurna de 50 - 55 °C (es decir, fueron tratados con temperatura de la radiación solar). El día martes 23 de agosto de 2005, se tomaron tres muestras de lodos tratados, a las cuales se le realizaron análisis químicos (salinidad y fertilidad) y

microbiológicos (presencia de coliformes fecales). Los resultados obtenidos de las muestras de lodos se identificaron como **A3**

- **Cuarto análisis (A4)**

El último análisis se realizó con lodos tratados (A3), mezclados con diferentes concentraciones de borra y arcilla para ver la variación de características químicas con respecto a los análisis anteriores. Las muestras fueron tratadas de la siguiente manera: mezcla 1 (M1), contenía 40% de lodo tratado, 20% de borra y 40% de arcilla; y la mezcla 2 (M2), contenía 50% de lodo tratado, 25% de borra y 25% de arcilla. Los resultados obtenidos de éstos análisis se identificaron como **A4**

### **3.4 ANÁLISIS QUÍMICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE FERTILIDAD EN EL LODO O BIOSOLIDO**

#### **3.4.1 METODO PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA**

Se pesó 1 g de lodo seco, tamizado en malla de 0.5 mm., y se colocó en un matríz erlenmeyer de 500ml; se procesó un testigo sin muestra de lodo; se adicionaron 10 ml de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1 N., girando el matríz para que tuviera contacto con el lodo; se agregó 20 ml de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) a la suspensión, girando nuevamente el matríz, se agitó durante un minuto y se dejó en reposo por 30 minutos. Luego del tiempo transcurrido se añadieron 200 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), se adicionaron de 5 a 10 gotas de indicador de difenilamina o ferroína; se tituló con la solución de sulfato ferroso gota a gota hasta obtener un punto final verde claro o rojo ladrillo.

Para calcular el porcentaje de materia orgánica se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ M.O.} = \frac{(\text{ml } K_2Cr_2O_7 * N) - (\text{ml } FeSO_4 * N^{\circ})}{1} (0.67)$$

gr. Lodo

## Interpretación De Resultados

Los valores de referencia para la clasificación de la concentración de la materia orgánica en los lodos se presenta en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Clasificación de la concentración de la materia orgánica en los lodos

CLASE	MATERIA ORGÁNICA (%)
Muy bajo	Menor de 0.5
Bajo	0.6 – 1.5
Medio	1.6 – 3.5
Alto	3.6 – 6.0
Muy alto	Mayor de 6.0

Etchevers et al. 1971

### 3.4.2 METODO PARA LA DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL

Para la determinación de nitrógeno total se utilizó el método de Kjeldahl. La cual se clasificó en 4 pasos: 1) Digestión, 2) Destilación, 3) titulación y 4) cálculos.

- **Digestión**

- 1). Se tamizó lodo seco en malla de 0.5 mm. N° 5, y se pesó en papel filtro, en la balanza analítica 5 g. de lodo seco.
- 2). Se colocó el papel filtro con el lodo en un matraz Kjeldahl
- 3). Se disolvió 1 g. de ácido salicílico en 35 ml de ácido sulfurico concentrado.
- 4). Dicha disolución se agregó al matraz, procurando que no se mancharan las paredes y se dejó en reposo por 30 minutos.
- 5). Posteriormente se agregaron 15.69 g. de tiosulfato de sodio pentahidratado ó 10 g. de anhídrido y 7.82 g. de sulfato de cobre pentahidratado ó 5 g. de anhídrido.
- 6). Se empezó a digerir evitando que se pegara la muestra al matríz, agitando continuamente, hasta alcanzar un color verde claro en el matraz.
- 7). Se dejó enfriar y luego se adicionaron 300 ml de agua destilada.

- **Destilación**

- 1). En un matraz erlenmeyer de 500 ml se colocó 10 ml de ácido clorhídrico 0.1 N y se agregaron 50 ml de agua destilada.
- 2). Se aplicaron 4 gotas de rojo de metilo
- 3). Se colocó el matraz en el tubo de destilación.

Al matraz Kjeldahl se le agregaron 100 ml de hidróxido de sodio al 45 % y de inmediato se colocó en el destilador.

En el matraz de 500 ml se recogieron 200 ml. Del filtrado.

- **Titulación**

Para la titulación se utilizó hidróxido de sodio 0.1 N hasta que desapareció el color rojizo y se apreció un color verde claro, en el matraz de 500 ml.

- **Cálculos**

$$\% \text{ N Total} = \frac{(\text{ml NaOH Testigo}) - (\text{ml NaOH muestra}) * \text{N} * 0.014 * 100}{\text{g. de muestra}}$$

Los resultados de los análisis de nitrógeno total se pueden interpretar en base al cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Interpretación de los análisis de nitrógeno

CLASE	NITROGENO TOTAL (%)
Muy bajo	Menor de 0.05
Bajo	0.05 – 0.10
Medio	0.10 – 0.15
Alto	0.15 – 0.25
Muy alto	Mayor de 0.25

### 3.4.3 METODO PARA LA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO

Se pesaron 2.5 g de lodo tamizado por 2 mm. Y se colocaron en un matraz erlenmeyer de 125 ml, se adicionaron 50 ml de solución extractora (NaHCO<sub>3</sub>), se cubrió con cuadros de parafilm y se agitó por 30 minutos a 180 oscilaciones por minuto; luego se filtró inmediatamente en un vaso de

precipitado a través de papel filtro; de la filtración se tomó 1 ml y se mezcló en 4 ml de Reactivo B (ácido Ascórbico), se aforó a 50 ml de agua destilada, se cubrió con parafilm, se agitó y se dejó en reposo 30 minutos, y posteriormente en un aparato SQ 118 se leyó la absorbancia.

Luego de leer la absorbancia se determina la cantidad de fósforo en ppm, mediante los siguientes cálculos:

$$P \text{ en ppm} = (CC) (VI+P) (VF+A)$$

Donde:

CC = ppm de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración (absorbancia contra PPM) e interpolando en la misma valores de absorbancia de las muestras analizadas o se obtiene también por medio de una regresión múltiple.

VI = volumen de la solución extractora adicionada.

P = peso de la muestra del lodo seco al aire

VF = volumen final de la solución colorimétrica a leer.

A = Alicuota de la muestra empleada para la cuantificación.

Los resultados de los análisis se interpretaron conforme al cuadro 3.3.

Cuadro 3.3 Interpretación de la concentración de fósforo

CLASE	Ppm DE FÓSFORO (P)
Bajo	Menor de 5.5
Medio	5.5 – 11
Alto	Mayor de 11

Para los análisis de pH, Conductividad Eléctrica, Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), carbonato (CO<sub>3</sub>), bicarbonato (HCO<sub>3</sub>), cloruro (Cl), y Sulfato (SO<sub>4</sub>), se obtuvo un extracto de pasta del lodo a saturación.

### 3.5 EXTRACTO DE SUELO A SATURACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE SALINIDAD (PH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, CALCIO + MAGNESIO, CARBONATOS, BICARBONATOS, CLORUROS Y SULFATOS)

- a). Se pesaron en una balanza granataria 250 g. de cada muestra y se colocaron en un recipiente de plástico de 500 ml de capacidad.
- b). Se agregó agua destilada y se homogenizó con una espátula hasta que la pasta brilló con la ayuda de la reflexión de la luz y no se permitió la acumulación de agua en la superficie.
- c). Ya saturada la muestra se dejó reposar por 24 horas.
- d). Posteriormente las pastas se colocaron en un embudo de porcelana con papel filtro Whatman número 2, se aplicó vacío con bomba Koblenz, el extracto se recuperó en un tubo de ensaye.

#### 3.5.1 METODO PARA LA DETERMINACIÓN DE PH

Para la medición de pH se utilizó un potenciómetro modelo -420 marca ORION, la lectura se llevó a cabo directamente del extracto de suelo a saturación, calibrando el aparato con soluciones buffer de pH 4 y 7.

Para la clasificación del lodo en cuanto a su valor de pH se presenta en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4 Clasificación del lodo en cuanto a su valor de pH

CLASIFICACIÓN	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

### 3.5.2 MÉTODO VOLUMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Se tomaron 15 ml del extracto del lodo a saturación, y a través de un conductivímetro marca ORION modelo 162 se determinó la conductividad eléctrica. Previo a la medición se calibró el aparato.

Cuadro 3.5 Interpretación de la conductividad eléctrica

CE mS cm <sup>1</sup> a 25°C	EFFECTOS
< 2.0	No salino
2.0 – 4.0	Ligeramente salino
4.1 – 8.0	Moderadamente salino
8.1 – 16.0	Fuertemente salino
> 16.0	Extremadamente salino

### 3.5.3 MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN CALCIO Y MAGNESIO

En un matraz de 125 ml se colocaron 3 ml del extracto del lodo. Se agregaron 5 ml de agua destilada, 1 ml de solución buffer, una gota de Eriocromo Negro T (ENT), se agitó y por último se tituló con la solución de EDTA 0.02 N.

Se observó el cambio de color rojo vino a azul, y se cuantificaron los ml gastados para tal cambio.

#### Cálculos

$$\text{Meq/lto Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} = \frac{(\text{ml EDTA}) (\text{N. EDTA}) (1000)}{\text{ml de muestra}}$$

### 3.5.4 MÉTODO VOLUMÉTRICO PARA ANÁLISIS DE CARBONATOS (CO<sub>3</sub>) Y BICARBONATOS (HCO<sub>3</sub>)

- Se tomaron 3 ml del extracto del lodo a saturación de muestra y se colocó en un matraz erlenmeyer de 250 ml
  - Se agregaron 3 gotas de indicador fenolftaleína.
  - Si el indicador coloreaba la muestra, se titulaba con HCl 0.1 N hasta decolorarla.
  - Este gasto corresponde a los carbonatos que la muestra contenía (HCl<sub>f</sub>).
  - A continuación se agregaron 3 gotas de indicador anaranjado de metilo, se titulaba con HCl 0.1 N hasta llegar a un color canela o naranja fuerte. Este gasto correspondía a los bicarbonatos contenidos en la muestra (HCl<sub>a</sub>).
- Si en la primera parte la fenolftaleína no coloreaba la muestra, se procedía a hacer la titulación para el anaranjado de metilo.

#### Cálculos:

$$\text{Meq/lto de CO}_3 = \frac{(\text{ml. de HCl}_f) (1000) (\text{Normalidad de HCl})}{\text{ml de muestra}}$$

$$\text{Meq/lto de HCO}_3 = \frac{(\text{ml. de HCl}_a) (1000) (\text{Normalidad del HCl})}{\text{ml. de muestra}}$$

meq/lto = miliequivalente por litro.      ml = mililitros

### 3.5.5 MÉTODO VOLUMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CLORUROS

Se tomaron 3 ml del extracto del suelo a saturación y se colocaron en un matraz erlenmeyer de 250 ml.

Se agregaron 3 gotas de indicador cromato de potasio.

Después se tituló con nitrato de plata al 0.1 N, hasta que cambie de color amarillo paja a rojo ladrillo.

#### Cálculos:

$$\text{Meq/lto de Cl}^- = \frac{(\text{ml de nitrato de plata}) (1000) (\text{N. de nitrato de plata})}{\text{ml. muestra}}$$

### 3.5.6 MÉTODO VOLUMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE SULFATOS

Una vez obtenidos los resultados de los parámetros de conductividad eléctrica, carbonatos, bicarbonatos y cloruros, se hace la determinación de sulfatos mediante la operación de la siguiente fórmula.

Meq/litro de sulfato =  $10 (CE) - CO_3 - HCO_3 - Cl$

### 3.6 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL LODO O BIOSOLIDO

Dentro de los análisis microbiológicos se analizó la presencia de Coliformes fecales (*Escherichia coli*), *Salmonella spp* y *Huevos de helmintos*.

#### 3.6.1 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES (*ESCHERICHIA COLI*)

Para realizar el recuento de bacterias coliformes fecales (*Escherichia coli*), se utilizó la técnica del número mas probable (NMP) por cada gramo o mililitro de muestra, establecido en la NOM-004-SEMARNAT-2002, y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

- **Homogenización De La Muestra**

En un matraz erlenmeyer se mezcló 25 g. De muestra en 225 ml. De agua peptonada hasta homogenizar. Con una agitación de 15000-20000 revoluciones por minuto.

- **Dilución**

Se tomó 1 ml de dicha mezcla y se inoculó en un tubo de ensaye que contenía 9 ml de agua peptonada, luego de la inoculación del primer tubo se hizo la dilución de 1:10 (tubo 1), 1:100 (tubo2) y 1:1000 (tubo3). Cada dilución con diferentes pipetas esterilizadas.

- **Prueba Presuntiva**

De cada tubo de dilución se transfirió 1ml a cada uno de las series de tubos con campana de Durjan que contenía Lauril Sulfato ó Caldo Lactosado

correspondiente. Se incubó durante 24-48 hr. a 37°C. Cada tubo estaba bien identificado dependiendo de su origen de la dilución, también se utilizaron pipetas estériles diferentes por cada transferencia.

- **Prueba confirmativa**

De cada tubo que presentó gas en la campana de durjan (positivo), se sembró con ayuda de un asa en un tubo con campana de durjan que contenía caldo Verde Brillante, se incubó durante 48 hr. A 45°C.

Los tubos que presentaron gas en la campana de durjan, se consideraron positivos y los tubos sin formación de gas se desecharon (eran negativos).

- **Cultivos de Escherichia Coli**

De los tubos con caldo verde brillante que presentaron gas se sembraron con la ayuda de un asa por estría en placas o cajas de petri que contenían Agar EMB. Se Incubó durante 24 hr. A 37°C.

Si en las placas había crecimiento de colonias (bacterias) de color verde metálico se consideraban positivas y se les hacían pruebas bioquímicas; si presentaban otras características se consideraban negativas.

- **Pruebas Bioquímicas**

De cada placa positiva, se seleccionó una colonia y se sembró con ayuda de un asa en agar MIO ó SIM (por picadura hasta el fondo), en MR-VP (siembra normal) y en agar Citrato de Simons (a nivel superficial). Se incubó durante 24 hr. A 37°C.

Luego de la incubación, a cada tubo con agar MIO ó SIM se le agregó 1 ml de reactivo indol, si se teñía de rojo era positivo; A cada tubo con MR-VP se le agregó 5 gotas de Rojo de Metilo, si se teñía de rojo era positivo; si el agar Citrato de Simons luego de incubación cambiaba de apariencia era positiva.

Para tener una buena precisión, como mínimo debería de haber coincidencia en dos pruebas.

El resultado final se obtuvo empleando una tabla de probabilidades a la que se ingresa con el número de tubos positivos y negativos de la prueba

confirmativa. De ésta forma se determina el NMP de coliformes por cada gr. o ml de muestra<sup>33</sup>.

### **3.6.2 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACIÓN DE SALMONELLA SPP**

Para realizar el recuento de bacterias patógenos (*Salmonella spp*), se utilizó la técnica del número mas probable (NMP) por cada gramo o mililitro de muestra, establecido en la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

- **Homogenización de la muestra y Pre-enriquecimiento**

En un matr az de 250 o 500 ml se Mezcl  225 ml, de agua peptonada y solución buffer con 25 g de muestra hasta homogenizar. Se Incubó a 37 C durante 24 hr.

- **Enriquecimiento**

Se inoculó 10 ml de dicha mezcla a un matraz con 100 ml de caldo de tetracionato; y 10 ml a otro matraz con 100 ml. de Caldo de Selenito de Cistina. Se incubaron a 42-43 C por 48 hr. Se consideran positivos los tubos con un virado anaranjado.

- **Aislamiento e Identificación de Salmonella spp**

A partir de los tubos positivos (con virado anaranjado), con la ayuda de un asa se sembró por estría en placas con agar Verde Brillante, y Agar Sulfito de Bismuto   agar SS (se hicieron dos repeticiones de cada tubo positivo). Se incubó a 37 C por 24 hr.

Se observaron los cultivos para identificar las colonias sospechosas para salmonella spp. Teniendo las siguientes características.

Agar Verde Brillante: colonias rojas o rosas rodeadas del medio rojo.

Agar Bismuto de Sulfito: colonias negras con o sin brillo metálico, rodeadas de un halo café.

---

<sup>33</sup> M.K. Refai. Manuals of food quality control, microbiological analysis. D-18,19,20. fig. 11. FAO food and nutrition paper. 1979.

Agar SS: colonias translucidas, transparentes u opacas y algunas veces con centro negro.

- **Identificación Bioquímica**

Se seleccionaron al menos 2 colonias sospechosas de cada placa, que se encontraban bien aisladas y se incubaron en 2 tubos, uno con agar triple azúcar y hierro (TSI) y otro con agar hierro lisina (LIA), por estría en la superficie y por picadura en el fondo. Se incubaron a 35°C durante 24 hr.

Se observó el crecimiento en los tubos y se consideraron positivos las colonias que dieron las siguientes reacciones:

Agar TSI: en el fondo del tubo se observa virado color amarillo debido a la fermentación de la glucosa, en la superficie del medio se intensifica el color rojo. En la mayoría de los casos se observa coloración negra a lo largo de la picadura debido a la producción de H<sub>2</sub>S.

Agar LIA: se observa coloración púrpura en todo el tubo, en ocasiones se observa la producción de H<sub>2</sub>S, con ennegrecimiento a lo largo de la picadura<sup>33</sup>.

### **3.6.3 METODOLOGIA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTOS EN LODOS Y/O BIOSÓLIDOS**

1. Se tomaron 2 g. de muestra, se colocó en un mortero con pistilo y se diluyó en 40-60 ml de agua destilada.
2. Se maceró la muestra por tres minutos.
3. Se Filtró con cedazo y trozo de gasa.
4. Se transvasó a tubo de ensaye de 13 \* 100 ml con rosca hasta el borde.
5. Se hizo la centrifugación a 2500 rpm por 5 minutos.
6. Se tiró el sobrenadante.
7. En el precipitado se agregó solución glucosada en ¾ partes del tubo de ensaye.
8. Se agitó la muestra con aplicador.
9. Se volvió a centrifugar por 5 minutos y luego se reposó por 5 –10 minutos.

---

<sup>33</sup>M.K. Refai. Op Cit. D-18,19,20. fig. 11. FAO food and nutrition paper. 1979.

10. Se tomó la muestra de la parte superior de la solución, con pipeta pasteur.

11. con un gotero se tomaron muestras y se montaron en portaobjetos, luego se le agregó 1 gota de lugol.

12. Se observó al microscopio en objeto de 10 X.

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

El análisis de materia orgánica únicamente se realizó en lodos estabilizados con cal (A1), y de acuerdo al resultado obtenido, se considera a este lodo residual como un portador de la misma “muy alto” según la tabla de valores de Etchevers et. al 1971., registrándose un valor de 12.27 % (cuadro 4.1),

Cuadro 4.1 Cantidad de materia orgánica presente en el tratamiento analizado.

Muestra	% Materia Orgánica	
	Valor	Clase
A1	12.27	Muy alto
A2	-----	-----
A3	-----	-----
A4	-----	-----

A1 = Lodo estabilizado con cal.                      A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

A2 = Lodo sin tratar.      A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

### 4.2 DETERMINACIÓN DE FOSFORO

En cuanto al análisis de Fósforo, el resultado del primer análisis (A1) con respecto al segundo (A2), tercero (A3) y cuarto (A4) análisis se observó una diferencia muy drástica, obteniendo valores en partes por millón de 1.76, 0.16, 0.07 y 0.13 respectivamente (cuadro 4.2 y gráfica 4.1); debido a que cuando se recolectaron muestras para el primer análisis, en ese periodo no hubo inoculación de fosfatos para el crecimiento bacteriano dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales; cuando se tomaron muestras para el segundo y tercer análisis sí hubo inoculación de fosfatos. Sin embargo, todos los valores obtenidos de los diferentes análisis son aptos para el aprovechamiento agronómico.

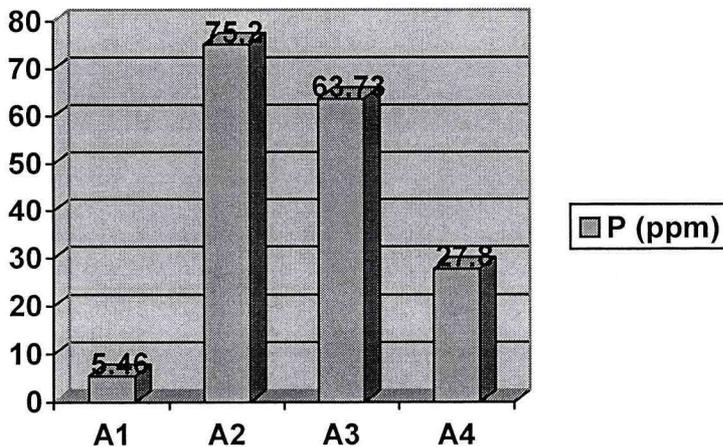
Cuadro 4.2 Cantidad de fósforo (P) y nitrógeno (N) presentes en cada una de las tratamientos

MUESTRA	% N Total		P (PPM)	
	valor	Clase	valor	clase
A1	1.76	Muy alto	5.46	medio
A2	0.16	Alto	75.2	Alto
A3	0.07	Bajo	63.73	Alto
A4	0.13	Medio	27.8	Alto

A1 = Lodo estabilizado con cal.                      A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

A2 = Lodo sin tratar.      A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

Gráfica 4.1 Cantidad de fósforo en ppm presente en cada uno de los tratamientos



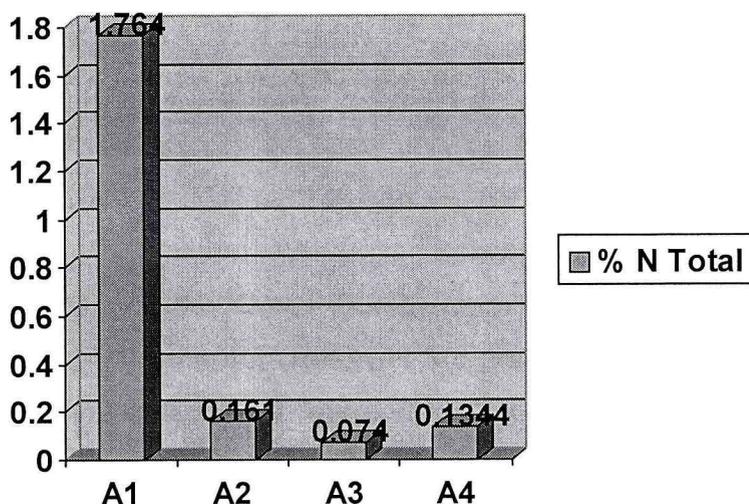
A1 = Lodo estabilizado con cal.                      A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

A2 = Lodo sin tratar.      A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

### 4.3 DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO

De los análisis de Nitrógeno realizados, de acuerdo a la metodología aplicada (método de Kjeldahl) todos los valores obtienen una clasificación distinta, donde el primero (A1) se caracterizó de clase “muy alto” con un valor de 1.76, el segundo (A2) de clase “alto” con un valor de 0.16, el tercero (A3) de clase “bajo” con un valor de 0.07 y se clasificó como “medio” el lodo tratado mezclado con borra y arcilla (A4) con un valor de 0.13. En lo que respecta al primer análisis (A1), se observa una gran diferencia con respecto a los demás, debido a que hubo inoculación de urea en los tanques de tratamiento para el crecimiento bacteriano (Cuadro 4.2 y gráfica 4.2).

Gráfica 4.2 Cantidad de nitrógeno en (%) presente en cada uno de los tratamientos



A1 = Lodo estabilizado con cal.

A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

A2 = Lodo sin tratar.

A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

Cuadro 4.3 Valores para determinar pruebas de salinidad (pH, conductividad eléctrica, calcio + magnesio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) en cada uno de los tratamientos

MUESTRA	pH	mS/cm	Meq/litro				
		C.E.	Ca + Mg	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
A1	7.83	5.12	-----	4	2.5	16.75	111.24
A2	6.67	12.37	108	0	41.6	46.5	37.62
A3	6.86	7.22	18.3	0	14	37.33	24
A4	7.26	3.49	14	0.5	5.25	11.75	17.4

A1 = Lodo estabilizado con cal.

A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

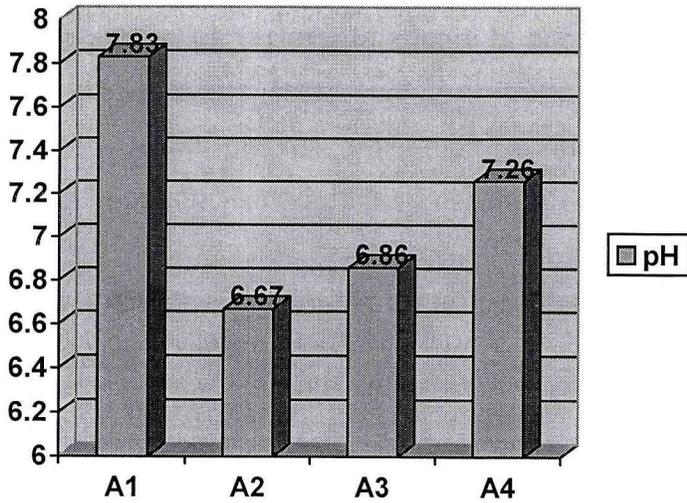
A2 = Lodo sin tratar.

A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

#### 4.4 DETERMINACIÓN DE pH.

Se determinó el pH de cada uno de los tratamientos, encontrándose los valores altos de 7.83 para el tratamiento A1( lodo estabilizado con cal) y 7.26 para el tratamiento A4 (lodo tratado mezclado con borra y arcilla), obteniéndose los valores más bajos para los tratamientos A2 y A3 (6.67 y 6.86 respectivamente) (cuadro 4.3 y gráfica 4.3). De acuerdo a los valores de pH obtenidos, están dentro de un rango de 6.67– 7.83; esto significa que los lodos con un pH alto aplicados al suelo probablemente provoquen problemas de deficiencias en la asimilación de algunos microelementos. Sin embargo, el lodo tratado mezclado con borra y arcilla (A4) obtuvo un valor medio de 7.26, pudiéndose considerar como mas aceptable para el aprovechamiento agronómico. (debido a que el rango de pH mas aceptables por los vegetales para la asimilación de nutrientes es de 6.6 a 7.3

Gráfica 4.3 Valores de pH presentes en cada uno de los tratamientos



A1 = Lodo estabilizado con cal.

A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

A2 = Lodo sin tratar.

A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

#### 4.5 DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

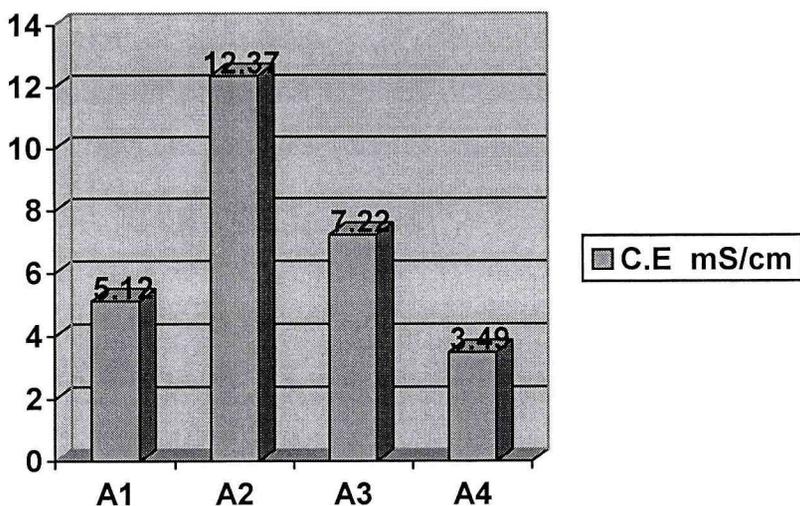
El valor de conductividad más alto se registró en el tratamiento A2 (lodo sin tratar) siendo de 12.37, seguido de los tratamiento A3 (lodo tratado con radiación solar) y A1 (lodo estabilizado con cal) con valores de 7.22 y 5.12 respectivamente, correspondiendo el valor más bajo al tratamiento A4 (Lodo mezclado con borra y arcilla) con un valor de 3.49. (cuadro 4.3 y grafica 4.4)

La conductividad eléctrica de los lodos se encuentra en un rango de 3.49 a 12.37 mS/cm, lo cual indica que los lodos de baja conductividad, es decir, el lodo tratado mezclado con borra y arcilla (A4), de acuerdo a la clasificación obtenida en la metodología aplicada se caracterizan como desechos ligeramente salinos, donde prosperan la mayoría de los cultivos y se restringen los rendimientos de los mas sensibles; y los lodos con valores mas altos (A1, A2, A3) son residuos moderadamente y fuertemente salinos de acuerdo a la clasificación obtenida en la metodología aplicada, que si son aplicado a suelos de uso agrícola pueden reducir el rendimiento o

crecimiento de diferentes vegetales, o prosperan solamente los cultivos tolerantes.<sup>34</sup>

La salinidad es un factor que impide la absorción de nutrientes (soluciones), lo cual provoca que éstos suelos no permitan el desarrollo y/o crecimiento adecuado de las plantas. Sin embargo, al disminuir con el tratamiento de lodo a una conductividad de 3.49 mS/cm es bastante positivo.

Gráfica 4.4 Valores obtenido de la conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos



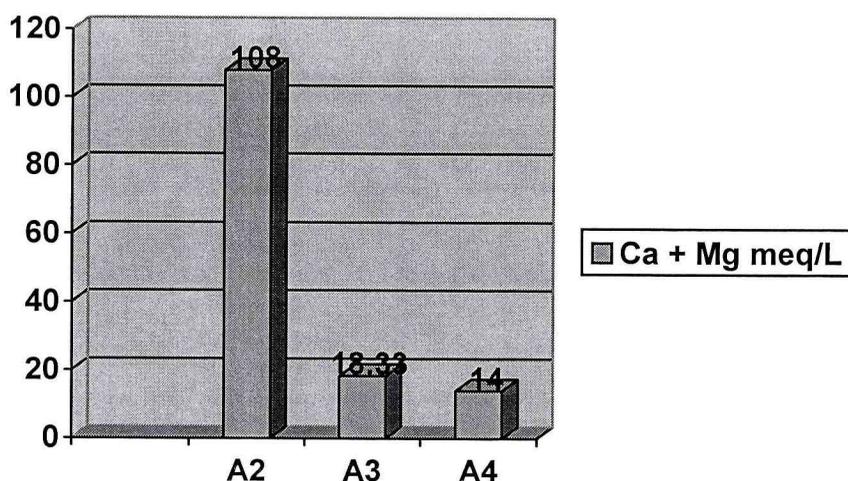
A1 = Lodo estabilizado con cal.      A3 = Lodo Tratado con radiación solar.  
A2 = Lodo sin tratar.      A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con borra y arcilla.

<sup>34</sup> Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Interpretaciones agronómicas a partir de los datos de análisis físicos y químicos. México. 1985. pp 30-40.

#### 4.6 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN CALCIO-MAGNESIO

El valor más alto con respecto a las cantidades de calcio y magnesio se registró en el tratamiento A2 (lodo sin tratar), seguido del tratamiento A3 (lodo tratado con radiación solar) y A4 (lodo tratado mezclado con borra y arcilla) con valores de 108, 18.33 y 14 respectivamente, es conveniente mencionar que el valor que se presentó en tratamiento A2 es considerablemente superior a los valores registrados para los otros tratamientos (cuadro 4.3 y grafica 4.5). En base a estos resultados se determina que el riesgo de sodificación en los lodos no es alto debido a que predominan el magnesio y el calcio, estos elementos también pueden representar un problema cuando presentan valores altos, no obstante, los valores mas aceptables de la relación calcio magnesio (Ca + Mg) corresponden a los lodos del tratamiento A4 con 14 meq/lt.

Gráfica 4.5 Valores obtenido de la relación calcio magnesio en los diferentes tratamientos



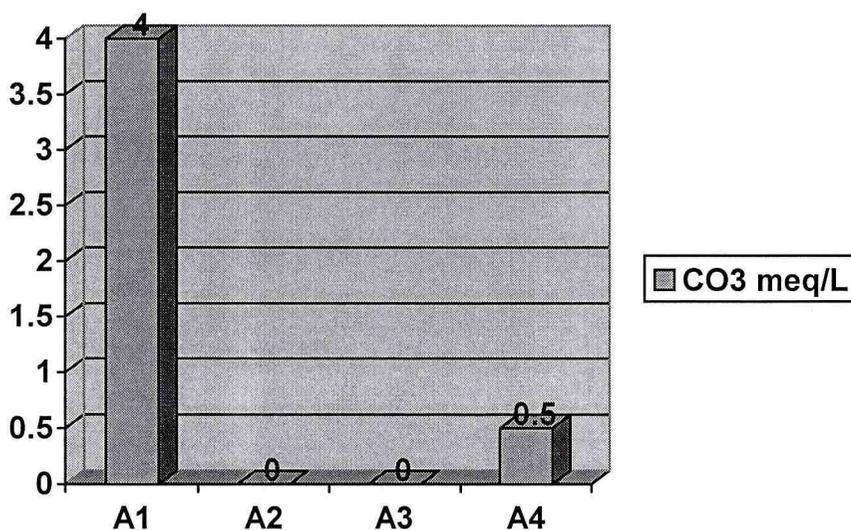
A2 = Lodo sin tratar. A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

## 4.7 DETERMINACIÓN DE CARBONATOS

El valor más alto con respecto a las cantidades de carbonatos presente en los lodos se registró en el tratamiento A1 (lodo sin tratar), seguido del tratamiento A4 (lodo tratado mezclado con borra y arcilla) con valores de 4 y 0.5 respectivamente, no obstante los demás tratamientos (A2 y A3) no presentaron valores para éste compuesto. Por lo tanto los valores de los carbonatos ( $\text{CO}_3$ ) presentes en el lodo residual son mínimas, y no perjudica en el desarrollo y/o rendimiento de los cultivos (cuadro 4.3 y gráfica 4.6).

Gráfica 4.6 Valores de carbonatos presentes en cada uno de los tratamientos



A1 = Lodo estabilizado con cal.

A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

A2 = Lodo sin tratar.

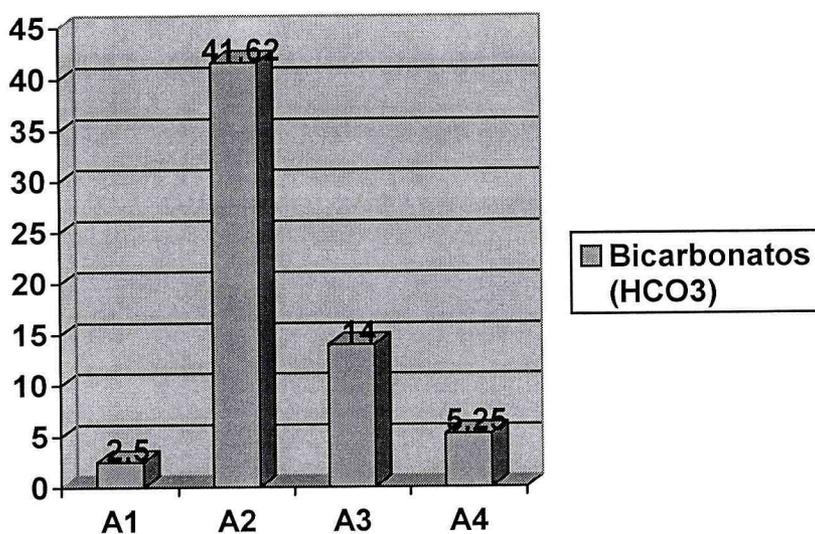
A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

## 4.8 DETERMINACIÓN DE BICARBONATOS

El valor mas alto obtenido en la determinación de bicarbonatos se registró en el segundo análisis (lodo sin tratamiento) con un valor de 41.62 meq/lit, seguido del tratamiento (A3, A4 y A1) con valores de 14, 5.25 y 2.5 respectivamente.

Con respecto a los bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ), los valores se encuentran en un rango de 2.5 a 41.6 meq/lit., dando los valores mas aceptables para el aprovechamiento en la agricultura en el primer análisis (A1) y en el cuarto análisis (A4), dado que algunos cultivos son sensibles y otros son resistentes a éste compuesto.<sup>34</sup>

Gráfica 4.7 Valores de bicarbonatos en meq/lit., presentes en cada uno de los tratamientos



A1 = Lodo estabilizado con cal.      A3 = Lodo Tratado con radiación solar.  
A2 = Lodo sin tratar.      A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

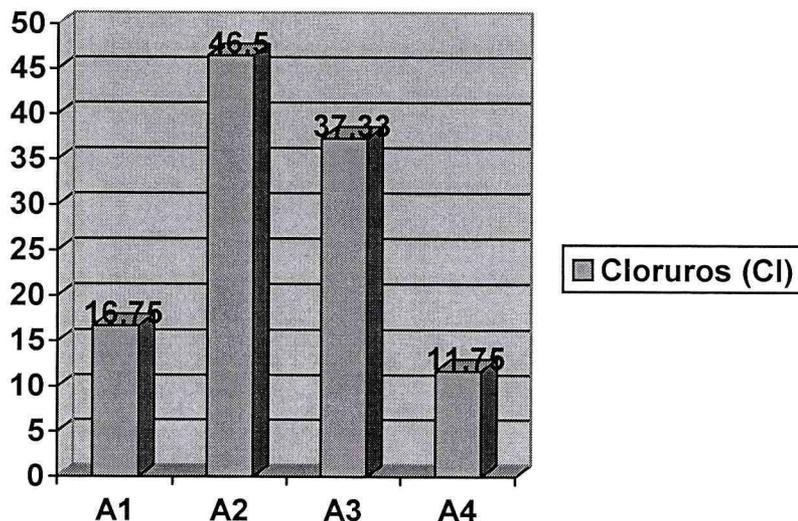
<sup>34</sup> ibidem. 1985. secretaria de agricultura y recursos hidráulicos

#### 4.9 DETERMINACIÓN DE CLORURO

Los valores mas altos obtenidos de los análisis de cloro se encuentra en el segundo análisis (lodo sin tratamiento) y tercer análisis (lodo tratado con la radiación solar) con valores de 46.5 y 37.32 meq/lt respectivamente. Por otro lado los valores mas bajos se registraron en el primer análisis (lodo estabilizado con cal) y el cuarto análisis (lodo tratado mezclado con borra y arcilla) con valores de 16.75 y 11.75 meq/lt respectivamente (cuadro 4.3 y gráfica 4.8).

Los lodos obtuvieron valores de cloro (Cl) en un rango de 11.75 a 46.5 meq/lt., los cuales en la agricultura los valores mas altos van a tener una afectación mayor que los valores menores en cuanto a la asimilación de los nutrientes. Los niveles con concentraciones tóxicas para algunos cultivos son de 200 a 300 ppm.<sup>34</sup>

Gráfica 4.8 Valores de cloruros en meq/lt., presentes en cada uno de los tratamientos



A1 = Lodo estabilizado con cal.

A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

A2 = Lodo sin tratar.

A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

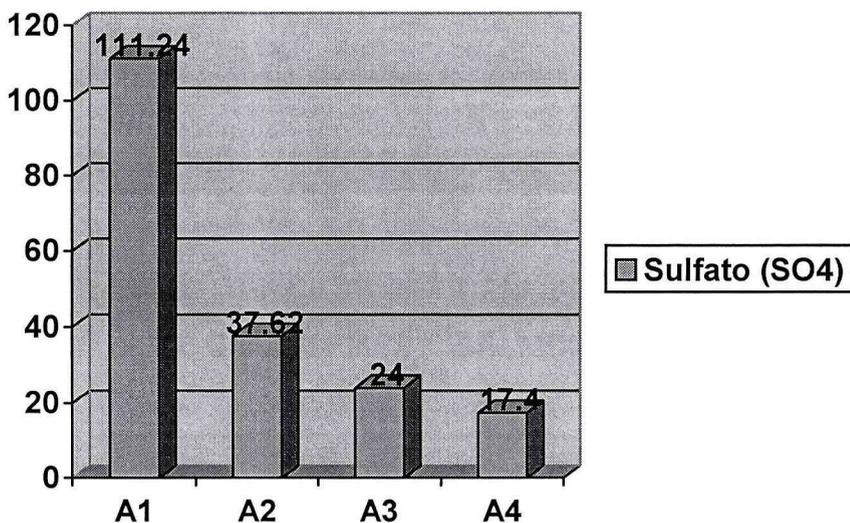
<sup>34</sup> ibidem. 1985. secretaría de agricultura y recursos hidráulicos

#### 4.10 DETERMINACIÓN DE SULFATO

De los diferentes análisis realizados, los valores mas altos se observaron en el primer análisis (lodo estabilizado con cal) con 111.24 meq/lit., seguido de los demás análisis (A1, A2 y A3) con valores de 37.62, 24 y 17.4 meq/lit respectivamente (cuadro 4.3 y gráfica 4.9).

El valor de sulfato ( $\text{SO}_4$ ) para los lodos residuales se presentó en un rango de 17.4 a 111.24 meq/lit., obteniendo el valor mas bajo, en el tratamiento A4 (el lodo tratado mezclado con borra y arcilla), donde los valores con altas concentraciones reduce la absorción del calcio por las plantas y aumenta el sodio y el potasio, también produce un desbalance catiónico en la planta.<sup>34</sup>

Gráfica 4.9 Valores de sulfatos en meq/lit., presentes en cada uno de los tratamientos



A1 = Lodo estabilizado con cal.

A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

A2 = Lodo sin tratar.

A4 = Lodo tratado (A3) y Mezclado con Borra y Arcilla.

<sup>34</sup> ibidem. 1985. secretaria de agricultura y recursos hidráulicos

#### 4.11 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Para los análisis microbiológicos se determinó la presencia de *Escherichia coli*, *Salmonella spp* y huevos de helmintos. Los análisis de *Escherichia coli* se realizaron en lodos sin tratamiento (A2) y lodos tratados con radiación solar (A3); mientras que los análisis de *Salmonella spp* y huevos de helmintos únicamente se realizaron en lodos sin tratamiento (A2).

Los lodos sin tratamiento (A2) excede los indicadores bacteriológicos de contaminación de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002., la media geométrica mas alta se ubica en un rango de valores de  $1.1 \times 10^6$  a  $2.4 \times 10^6$  NMP/g de coliformes totales. Los lodos tratados con la radiación solar (A3) son negativos, siendo inocuos; donde la media geométrica es de  $9.0 \times 10^3$  coliformes totales. Sin embargo únicamente los lodos sin tratamiento (A2) dieron positivo a la presencia de coliformes de origen fecal (*Escherichia coli*). Patógenos y parásitos como la *Salmonella spp* y *Huevos de helmintos*, no se dieron positivo en ninguna de las muestras de lodos analizadas (cuadro 4.4)

Cuadro 4.4 Resultado de los análisis microbiológicos de lodos

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN DE COLIFORMES	IDENTIFICACIÓN DE SALMONELLA SPP	IDENTIFICACION DE HUEVOS DE HELMINTOS
A2	Positivo	negativo	negativo
A2	Negativo	negativo	negativo
A2	Negativo	negativo	negativo
A2	Positivo	negativo	Negativo
A3	Negativo	-----	-----
A3	Negativo	-----	-----
A3	Negativo	-----	-----

A2 = Lodo sin tratar.

A3 = Lodo Tratado con radiación solar.

## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

1. Una vez obtenido el análisis de los resultados, se concluye que todas las muestras de lodos analizadas químicamente (análisis de fertilidad y salinidad) y microbiológicamente (presencia de coliformes fecales, *Salmonella spp* y huevos de helmintos) con diferentes características o pruebas de tratabilidad, los valores más viables para el aprovechamiento agronómico se identificaron en el lodo tratado mezclado con borra y arcilla, ya que éstos obtienen los valores más adecuados a la aportación de nutrientes y por ende menos contaminación a los suelos y acuíferos donde se disponen.
2. El tratamiento físico es el más adecuado para éstos biosólidos, que consisten en su secado al aire libre, con tratamiento de temperatura y mezclados con arcilla para mejorar sus características de salinidad; además de mejorar la textura del lodo y su coloración.
3. Comparación con la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, protección ambiental.- lodos y biosólidos.- especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de Agosto del 2003. Según resultados del análisis de metales pesados en los lodos, obtenidos de la empresa generadora de los mismos, se determinan que estos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles y todos caen dentro de la categoría de excelentes. De acuerdo a los resultados obtenidos, su calidad microbiológica y criterio de clasificación en función de patógenos y parásitos, contemplando únicamente Coliformes fecales, *Salmonella spp*, y huevos de helmintos; marcado en la Norma Oficial Mexicana antes mencionada, los lodos obtienen una categoría A, ya que los análisis mostraron una total ausencia de éstos microorganismos después de ser tratados con la temperatura del sol.

Según la categoría a la que pertenecen estos lodos (Tipo Excelente, Clase A) pueden ser utilizados en:

- ✓ Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación
- ✓ Usos urbanos sin contacto directo durante su aplicación
- ✓ Usos forestales
- ✓ Mejoramiento de suelos
- ✓ Usos agrícolas

## 5.2 RECOMENDACIONES

1. Los lodos son inocuos en cuanto a metales pesados y organismos microbiológicos de acuerdo a la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, sin embargo, se recomienda que sean utilizados como suelos tipo "C" para uso agrícola, forestal y mejoramiento de suelos; se considera esto por el color y la textura que presentan los lodos, aunque tratados y mezclados con arcilla se mejora el color y textura del mismo.
2. En cuanto al control adecuado de los lodos que se generan en las plantas tratadoras de aguas residuales, es conveniente cuantificar el volumen de lodo generado durante un periodo de tiempo; realizar análisis químicos y biológicos para determinar su calidad, buscar alternativas a su disposición final y atenuar o disminuir así un posible impacto negativo hacia el medio ambiente.
3. También es de suma importancia difundir con los agricultores o campesinos los grandes beneficios que conlleva la aportación de este tipo de lodo al suelo como un tipo de fertilizante orgánico; sin embargo, para que haya un convencimiento por parte del agricultor es necesario que éste establezca y/o visualice experimentos de comparación entre los fertilizantes orgánicos (lodos residuales) y fertilizantes químicos con diversos cultivos de interés para el productor.
4. No confinar los biosólidos; si no tratarlos al aire libre, en lugares diseñados para ello. Ya que con la simple exposición al sol es posible.

## CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Seoanez Calvo Mariano. Ingeniería Medioambiental aplicado a la industria y a la empresa. Madrid, España. Mundi-prensa. 1995. pp. 34-35. 451.
2. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Manejo de lodos Residuales En México. Jiutepec Morelos, México. ABES. 2000.
3. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México D.F., Marzo de 2005
4. Koenig, R.; D. Miner and K. Goodrich. Land application of biosolids a guide for farmers. AGWM- 02. 1998. Disponible en: <http://ext.usu.edu>. Capturado 21/09/05
5. Uribe M., H.R. y N. Chávez S. El uso de los biosólidos para mejorar la productividad de los suelos agrícolas. Cd. Juárez, Chih; Méx. Informe anual de actividades. CEDEL-INIFAP. 2000. pp 1
6. De la Peña, E., Calderón C. Resultados de la utilización del bioabono en diferentes cultivos de Cajamarca. Cajamarca, Perú. ITINTEC-UTC. 1983.
7. Uribe Montes Hugo Raúl, Orozco Hernández Gamaliel, Chávez Sánchez Noé Y Espino Valdez Ma. Socorro. Uso De Biosólidos Para Incrementar La Productividad En Alfalfa. Cd. Delicias, Chihuahua, México. Campo experimental Delicias. 2001. PP. 1
8. Noyola Robles A., Vega González E., Ramos Hernández J.G., Calderón Molgora C. G. Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales. Jiutepec. México. 3ª. Edición. IMTA. 2000. Módulo 5 pp. 1-56
9. Salgado Rodríguez Héctor. Aguas Residuales, origen, características y tratamiento. Guadalajara, jal. Méx. Revista Universidad De Guadalajara. N° 14. Ciencia, Ingeniería y Vida. 1999.
10. Luna Guido M.L., Vega Jarquín C., Franco Hernández M.O., Vásquez. Murrieta S., Trujillo Tapia N., Ramírez Fuentes E. y Dendooven L. Actividad microbiana en suelos. Texcoco, México. Departamento de

- Biotecnología y Bioingeniería del Cinvestav. XXX Aniversario de Biotecnología y Bioingeniería. 2002. Revista: Avance y Perspectiva vol. 21. pp. 330.
11. Kiely Gerard. Ingeniería Ambiental. 1ª edición. McGraw-Hill. Aravaca Madrid. España. 1999. Pp. 823 – 831.
  12. Castro Ruiz J.C., Estudio preliminar de aplicación de biosólidos en suelos para control de erosión y estabilización de taludes. Bogota, Colombia. Universidad de los Andes. 2003. Pp. 2-3
  13. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental- Lodos Y Biosólidos- Especificaciones Y Límites Máximos Permisibles De Contaminantes Para Su Aprovechamiento Y Disposición Final.
  14. Cardoso Vigueros L. y Tomasini Ortiz C., Características y efectos de los Residuos Peligrosos. México. SEMARNAT,CNA,IMTA. 2000.
  15. Cortez Cadiz Elvira del carmen. Fundamentos de Ingeniería para el Tratamiento de los Biosólidos Generados por la Depuración de Aguas Servidas de la Región Metropolitana. Santiago de Chile. Chile. Universidad de Chile. 2003. Pp 51.
  16. Mendoza Sánchez Lucila, Fernández Perrino Francisco Javier, Cisneros Ortiz Margarita E., Loyola Robles Adalberto, Cabirol Natalie. Estabilización de lodos municipales por digestión anaerobia Termófila. ABES. México. D.F. 2000. pp. 1
  17. Metcalf y eddy, Inc. Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. México, D.F. Mc Graw-Hill. 3a. Edición. 2002. Pp 1022.
  18. EPA 832-F-00-067. control de olores en el. manejo de biosólidos. Office of Water Washington, D.C. united Status Environmental protección Agency, 2000. pp. 1-22
  19. Llamas Armando y Treviño Arjona Belzahet. Aprovechamiento de biosólidos como una fuente de energía ecológica. Departamento de Difusión y Relaciones Externas. Dirección de Extensión y Vinculación

- del Campus Monterrey. 2004. Disponible en: A:\Revista -aprovec. de biosolidos para energia.htm. 27/10/05.
20. EPA-503-R-99-009. Biosolids Generation, use, and disponla in the unites. Office of Water Washington, D.C. 1999. <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/compost/biosolid.pdf>
  21. EPA 832-F-00-064. Aplicación de biosólidos al terreno. Office of Water Washington, D.C. united Status Environmental protección Agency. 2000.
  22. Jurado Guerra Pedro, Luna Luna, Miguel, Barretero Hernández Rodolfo. Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos. Chih., México. Tec Pecu Mex., 2004. 42 (3) pp. 379-395
  23. Cortina, J., Valdecantos, A., Fuentes, D., Casanova, G., Vallejo, V.R., Díaz Bertrana, J.M., Llavador, F., & Ruano Martínez, R. El uso de biosólidos en el sector forestal valenciano. Valencia, España. Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales. 2001. pp 65
  24. Valdés Méndez Wilfredo, Rodríguez Pérez Suyen, Cardenas Juan R. Utilización Del Lodo Residual Obtenido De La Digestión Anaeróbica De La Cachaza como bioabono para el Cultivo de Ajo Porro (*Allium Porrum* L.). Santiago de Cuba. Cuba. INTERCIENCIA. 1999. Pp. 226 Vol. 24 N° 4.
  25. Chirinos I. J. y Pereira N. Una alternativa de uso y manejo de lodos petroquímicos provenientes de sistemas de tratamiento de efluentes. Zulia, Venezuela. Universidad de Zulia. Facultad de Agronomía. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 1999. Vol.16 pp. 206-212.
  26. Departamento de Salud Ambiental del Condado de San Luis. Aguas Residuales Tratadas, lodos/biosolidos y aplicación al suelo. San Luis Obispo, EE.UU., Servicios de Salud Ambiental del Condado de San Luis Obispo.2001. pp 1.

27. Uribe Montes Hugo R. uso de biosolidos en la agricultura. Cd. Delicias Chihuahua. Mex. NTEC. 2002. Disponible en: [www.inifap.gob.mx/logros/algodón.pdf](http://www.inifap.gob.mx/logros/algodón.pdf). Capturado 25/10/05.
28. Melbourne Water. La Planta de Tratamiento de Aguas del Occidente. Melbourne, Australia. Información esencial. 2005. disponible en: [http://library.melbournewater.com.au/content/publications/lote/Spanish/western\\_treatment\\_plant.pdf](http://library.melbournewater.com.au/content/publications/lote/Spanish/western_treatment_plant.pdf). Pp. 4.
29. FiBL. Manual de Capacitación en Agricultura Orgánica para los Trópico. IFOAM.2004. (<http://.fibl.net/español/publicaciones/manual/index.php#1>)
30. Lutens Alberto y Salazar Lea Plaza Juan Carlos. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. ARGENTINA. Instituto de Suelos.CRN – CNIA – INTA. 2000. <http://soils.usda.gov/sqi/files/KitSpanish.pdf>
31. Quintero Rodríguez, M. P.; Andrade Couce, M. L.; De Blas Varela, E. Efecto De La Adición De Un Lodo Residual Sobre Las Propiedades Del Suelo. Vigo, España. Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. 1998. pp 1-10.
32. Republicano Ayuntamiento de Gómez Palacio Durango. Plan de Desarrollo 2004-2007. Gómez Palacio, Durango. 2004. pp 13-39. (<http://www.gomezpalacio.gob.mx/infraestructura.html>).
33. M.K. Refai. Manuals of food quality control, microbiological analysis. Rome, FAO food and nutrition paper. Food and agriculture organization united nations. 1979. D-18,19,20. fig. 11.
34. secretaria de agricultura y recursos hidráulicos. Interpretaciones agronómicas a partir de los datos de análisis físicos y químicos. México. 1985. pp 30-40.

**APÉNDICE I.**  
**RESULTADO DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS**

Resultado del análisis de materia orgánica únicamente en el primer análisis (A1)

Muestra	% M.O.	Clase
LS1	13.261	Muy alto
LS2	12.095	Muy alto
LS3	13.407	Muy alto
LS4	12.387	Muy alto
LS5	13.261	Muy alto
FP1	13.990	Muy alto
FP2	10.784	Muy alto
FP3	9.035	Muy alto
<b>promedio</b>	<b>12.27</b>	<b>Muy alto</b>

A1 = lodo estabilizado con cal

Resultado de los diferentes análisis de fósforo (P)

- **Primer Análisis (A1)**

Muestra	P (ppm)	Clase
LS1	3.70	Bajo
LS2	4.07	Bajo
LS3	3.58	Bajo
LS4	6.75	Medio
LS5	7.17	Medio
FP1	7.23	Medio
FP2	5.96	Medio
FP3	5.22	Bajo
<b>promedio</b>	<b>5.46</b>	<b>Medio</b>

A1 = lodo estabilizado con cal

- Segundo Análisis (A2)

Muestra	P (ppm)	Clase
LST1	56	Alto
LST2	67.2	Alto
LST3	63.2	Alto
LST4	114.4	Alto
<b>Promedio</b>	<b>75.2</b>	<b>Alto</b>

A2 = lodo sin tratar

- Tercer Análisis (A3)

Muestra	P (ppm)	Clase
LT1	60.8	Alto
LT2	64.0	Alto
LT3	66.4	Alto
<b>Promedio</b>	<b>63.73</b>	<b>Alto</b>

A3 = lodo tratado con radiación solar

- Cuarto análisis (A4)

Muestra	P (ppm)	Clase
M1	20.8	Alto
M2	34.8	Alto
<b>Promedio</b>	<b>27.8</b>	<b>Alto</b>

A4 = lodo tratado (A3) mezclado con borra y arcilla

Resultado de los diferentes análisis de nitrógeno total (N)

• **Primer Análisis (A1)**

Muestra	% N Total	Clase
LS1	2.128	Muy alto
LS2	1.54	Muy alto
LS3	1.792	Muy alto
LS4	1.652	Muy alto
LS5	1.344	Muy alto
FP1	2.156	Muy alto
FP2	1.764	Muy alto
FP3	1.736	Muy alto
FP4	1.764	Muy alto
<b>Promedio</b>	<b>1.764</b>	<b>Muy alto</b>

A1 = lodo estabilizado con cal

• **Segundo Análisis (A2)**

Muestra	Nitrógeno Total (%)	Clase
LST1	0.224	alto
LST2	0.3528	Muy alto
LST3	0.0364	Muy bajo
LST4	0.0308	Muy bajo
<b>promedio</b>	<b>0.161</b>	<b>Alto</b>

A2 = lodo sin tratar

• **Tercer Análisis (A3)**

Muestra	Nitrógeno Total (%)	Clase
LT1	0.0224	Muy bajo
LT2	0.028	Muy bajo
LT3	0.1736	Alto
<b>Promedio</b>	<b>0.074</b>	<b>Bajo</b>

A3 = lodo tratado con radiación solar

- **Cuarto análisis (A4)**

Muestra	Nitrógeno Total (%)	Clase
<b>M1</b>	0.1288	Medio
<b>M2</b>	0.14	Medio
<b>Promedio</b>	<b>0.1344</b>	<b>Medio</b>

A4 = lodo tratado (A3) mezclado con borra y arcilla

Resultado de parámetros para determinar salinidad (pH, CE, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>)

- **Primer Análisis (A1)**

Muestra	PH	Clase	Muestra	PH	Clase
<b>LS1</b>	<b>7.35</b>	Neutro	<b>FP1</b>	<b>8.94</b>	Fuertemente alcalino
<b>LS2</b>	<b>7.26</b>	Neutro	<b>FP2</b>	<b>8.16</b>	Medianamente alcalino
<b>LS3</b>	<b>7.37</b>	Neutro	<b>FP3</b>	<b>8.24</b>	Medianamente alcalino
<b>LS4</b>	<b>7.42</b>	Medianamente alcalino	<b>FP4</b>	<b>8.15</b>	Medianamente alcalino
<b>LS5</b>	<b>7.66</b>	Medianamente alcalino			
<b>Promedio</b>			<b>7.83</b>		

Muestra	mS/cm	Meq / L			
		CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
LS	7.01	5	0	26.5	136.26
FP	3.24	3	5	7.0	86.22
<b>Promedio</b>	<b>5.125</b>	<b>4</b>	<b>2.5</b>	<b>16.75</b>	<b>111.24</b>

A1 = lodo estabilizado con cal

- Segundo Análisis (A2)

muestra	pH	Clase
LST1	6.88	Neutro
LST2	7.03	Neutro
LST3	6.53	Moderadamente ácido
LST4	6.27	Moderadamente ácido
<b>Promedio</b>	<b>6.67</b>	<b>Neutro</b>

MUESTRA	mS/cm	Meq/litro				
	C.E.	Ca + Mg	CO <sup>=</sup> <sub>3</sub>	HCO <sup>-</sup> <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sup>=</sup> <sub>4</sub>
LST1	18.046	198	0	89.5	99	0
LST2	8.61	20	0	6.5	20	59.6
LST3	8.80	44	0	3	8	77
LST4	14.04	170	0	67.5	59	13.9
<b>Promedio</b>	<b>12.37</b>	<b>108</b>	<b>0</b>	<b>41.625</b>	<b>46.5</b>	<b>37.62</b>

A2 = lodo sin tratar

- Tercer Análisis (A3)

muestra	pH	Clase
LT1	6.9	Neutro
LT2	6.95	Neutro
LT3	6.74	Neutro
<b>Promedio</b>	<b>6.86</b>	<b>Neutro</b>

MUESTRA	mS/cm	Meq/litro				
	C.E	Ca + Mg	CO <sup>=</sup> <sub>3</sub>	HCO <sup>-</sup> <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sup>=</sup> <sub>4</sub>
LT1	6.67	21	0	14	38	14.7
LT2	7.50	18	0	16	43	16
LT3	7.50	16	0	12	31	32
Promedio	7.223	18.33	0	14	37.33	24

A3 = lodo tratado con radiación solar

- Cuarto análisis (A4)

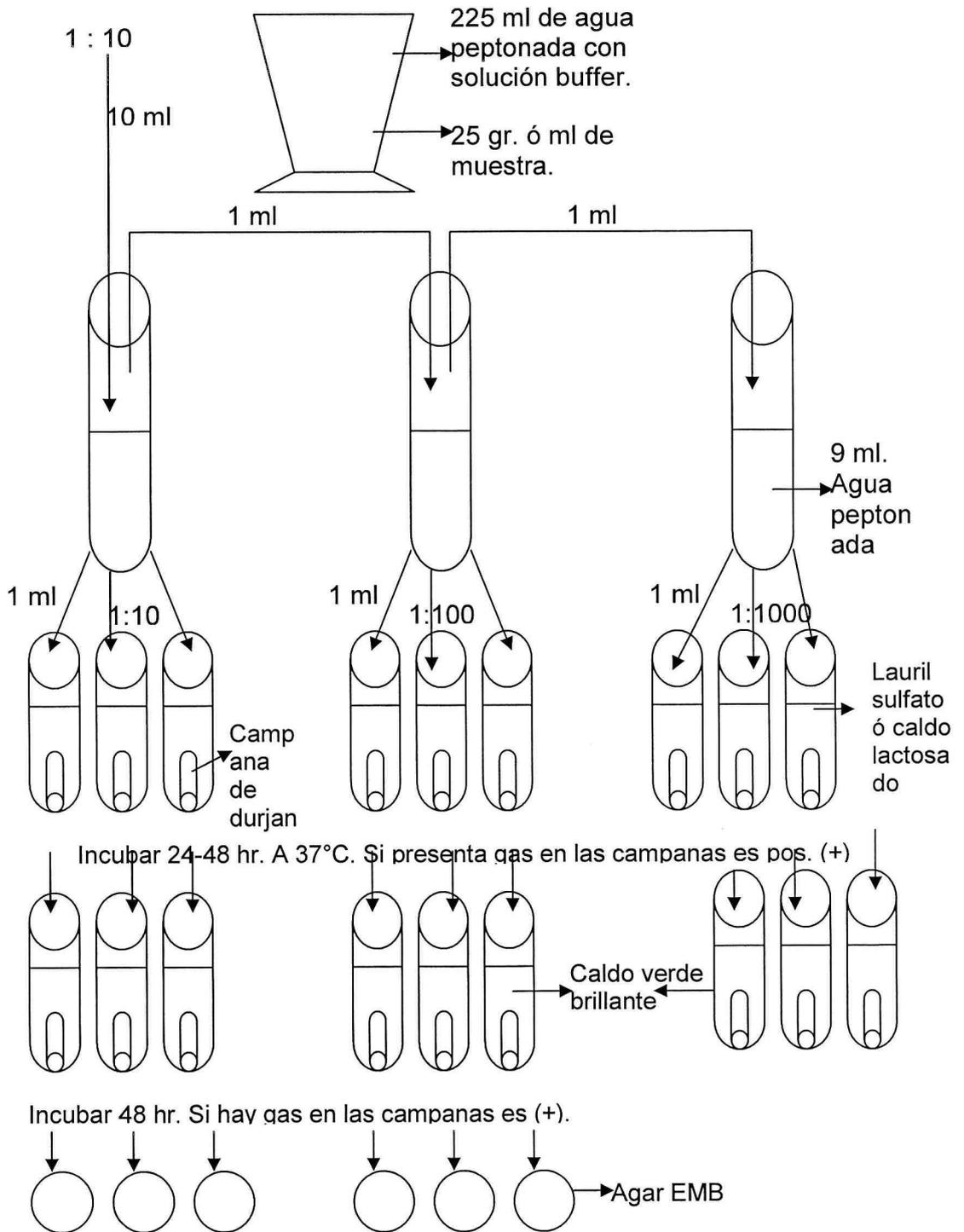
Muestra	pH	Clase
M1	7.24	Neutro
M2	7.28	Neutro
Promedio	7.26	Neutro

MUESTRA	MS/cm	Meq/litro				
	C.E	Ca + Mg	CO <sup>=</sup> <sub>3</sub>	HCO <sup>-</sup> <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sup>=</sup> <sub>4</sub>
M1	3.27	14	1	4	11.5	16.2
M2	3.71	14	0	6.5	12	18.6
promedio	3.49	14	0.5	5.25	11.75	17.4

A4 = lodo tratado (A3) mezclado con borra y arcilla

**APÉNDICE II.**  
**RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE**  
***ESCHERICHIA COLI Y SALMONELLA SPP***

# ESQUEMA SECUENCIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE *ESCHERICHIA COLI*.



Incubar 24 hr. A 37°C. Si hay crecimiento de bacterias de apariencia Verde metálica, son sospechosas; por lo tanto hacer pruebas bioquímicas con: INDOL +/-, MR+, VP-, C-. Para confirmar.

Tubos positivos (con caldo lactosado o lauril sulfato) del segundo y tercer análisis, para cuantificar coliformes totales y fecales

- Segundo Análisis (A2)

Muestras	Tubos positivos y negativos en tres series									Coliformes Totales por g ó ml.	Coliformes fecales (E.Coli)
	-1			-2			-3				
LST 1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	> 2 400	Positivo
LST 2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	> 2 400	Negativo
LST 3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	> 2 400	Negativo
LST 4	+	+	+	+	+	+	-	+	+	1 100	Positivo

A2 = lodo sin tratar

- Tercer Análisis (A3)

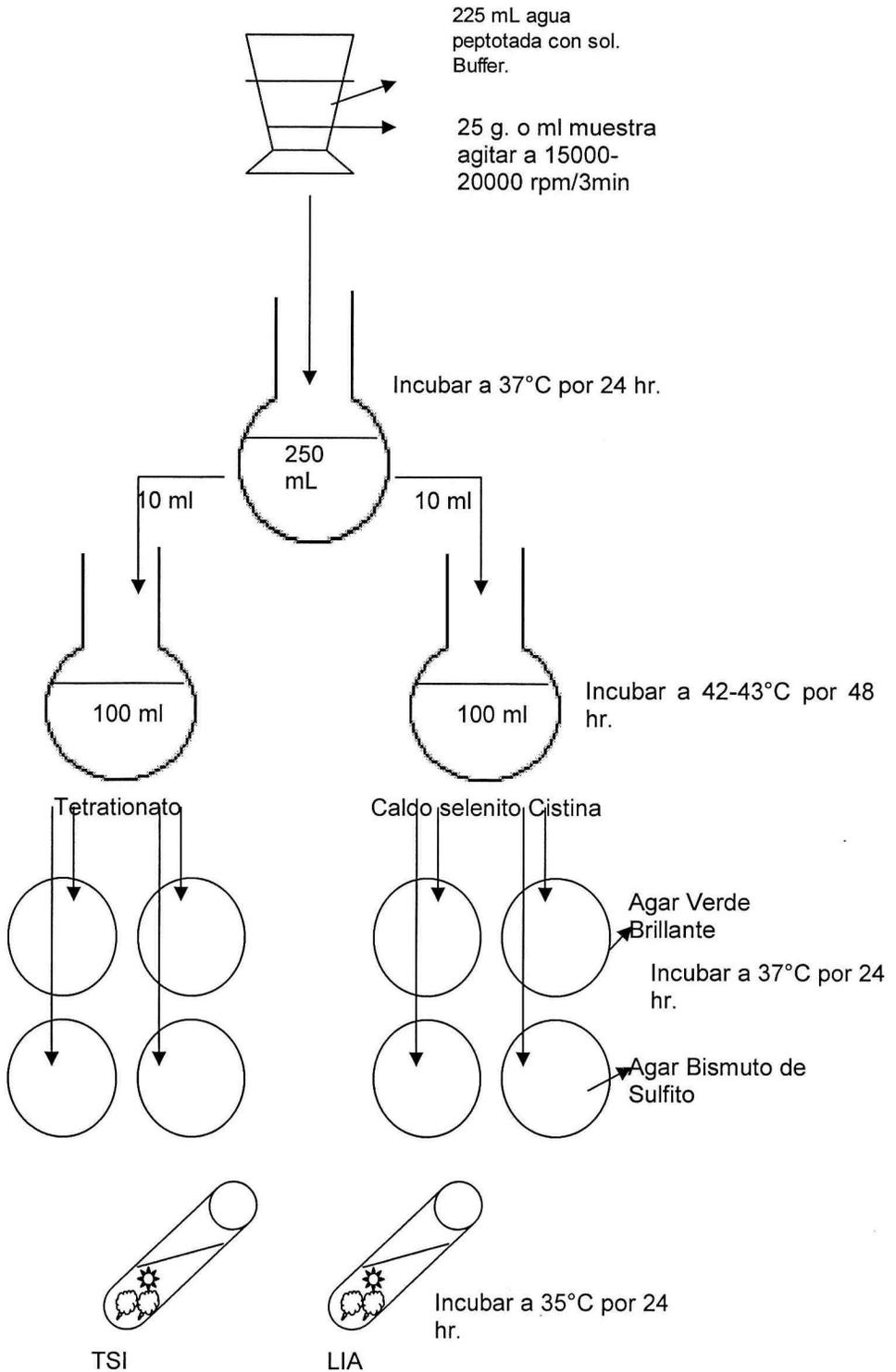
Muestras	Tubos positivos y negativos en tres series									Coliformes Totales por gr. ó ml.	Coliformes fecales (E.Coli)
	-1			-2			-3				
LT 1	+	-	+	-	-	-	-	-	-	9	Negativo
LT 2	-	-	-	-	+	-	-	-	-	3	Negativo
LT 3	+	+	-	-	+	-	-	-	-	15	Negativo
<b>Promedio de tubos positivos en tres series</b>										9	Negativo

A3 = lodo tratado con radiación solar

Cuadro para la cuantificación de coliformes del número mas probable (NMP) por gramo o mililitro de muestra, usando 3 tubos

Número de Tubos Positivos.			NMP por gr. ó ml.	Limite de Confianza al 95%	
1: 10	1:100	1:1000		inferior	superior
0	0	0	< 3		
0	0	1	3	< 0.5	9
0	1	0	3	< 0.5	13
1	0	0	4	< 0.5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	150
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	380
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1 300
3	3	1	460	71	2 400
3	3	2	1 100	150	4 800
3	3	3	> 2 400		

# ESQUEMA SECUENCIAL PARA LA DETECCIÓN DE *SALMONELLA* SPP



## PREPARACIÓN DEL MEDIOS DE CULTIVO Y SOLUCIONES

- Agua peptonada con solución buffer

Disolver 34 g de fosfato monopotásico dihidrogenado ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) en 500 ml de agua destilada, ajustar el pH a 7.2 con hidróxido de sodio (NaOH) 1 N. obteniendo así la solución stock.

Tomar 1.25 ml de solución stock y aforar a un litro de agua destilada; y posteriormente disolver 15 g de agua peptonada en la aforación. Esterilizar en autoclave a 121 °C durante 15 minutos.

- Otros medios de cultivo

La preparación del caldo lauril sulfato-triptosa, caldo lactosado, caldo y agar verde brillante, agar EMB, caldo de tetrionato, caldo selenito cistina, agar bismuto de sulfato, así como los medios de cultivo para las pruebas bioquímicas para la identificación de coliformes y salmonella; Comúnmente se basan en las instrucciones que existen en las etiquetas de presentación de cada medio.

**APÉNDICE III.**  
**GLOSARIO**

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

**ALMACENAMIENTO:** acción de mantener en un sitio los lodos y biosólidos, hasta su aprovechamiento o disposición final.

**APROVECHAMIENTO:** Es el uso de los biosólidos como mejoradores o acondicionadores de los suelos por su contenido de materia orgánica y nutrientes, o en cualquier actividad que represente un beneficio.

**ATRACCION DE VECTORES:** Es la característica de los lodos y biosólidos para atraer vectores como roedores, moscas, mosquitos u otros organismos capaces de transportar agentes infecciosos.

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

**COLIFORMES FECALES:** Bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Bacilos cortos gram negativos no esporulados, también conocidos como coliformes termotolerantes. Pueden identificarse por su tolerancia a temperaturas de 44 – 45°C. Tienen la capacidad de fermentar la lactosa a temperatura de 44.5°C. Incluyen el género Escherichia y algunas especies de Klebsiella.

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

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

**DISPOSICIÓN FINAL:** La acción de depositar de manera permanente lodos y biosólidos en sitios autorizados.

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

**ESTABILIZACIÓN ALCALINA:** Es el proceso mediante el cual se añade suficiente cal viva (óxido de calcio CAO) o cal hidratada (hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) o equivalentes, a la masa de lodos y biosólidos para elevar su pH.

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

**HUEVOS DE HELMINTOS VIABLES:** Huevos de helmintos susceptibles de desarrollar e infectar.

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

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

**SALMONELLA SPP:** Bacilos móviles por sus flagelos, que fermentan de manera característica glucosa y manosa sin producir gas, pero no fermentan lactosa ni sacarosa. La mayoría produce sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ). A menudo, son patógenos para el hombre y los animales cuando se ingieren, ocasionando fiebre tifoidea y enterocolitis (conocida también como gastroenteritis).

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