

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LODOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL  
EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:  
**KAREN ELIZABETH CAMPOS AGUILAR  
JOSÉ GUSTAVO CARDONA ANAYA  
ADRIANA MARCELA CENTENO PÉREZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
**INGENIERIO(A) QUÍMICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE 2016.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR INTERINO:

**LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN**

SECRETARIA GENERAL:

**DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE  
ALIMENTOS**

DIRECTORA:

**INGA. TANIA TORRES RIVERA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
**INGENIERO QUÍMICO**

Título:

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA  
Lodos procedentes de la industria textil en el  
SALVADOR**

Presentado por:

**KAREN ELIZABETH CAMPOS AGUILAR  
JOSÉ GUSTAVO CARDONA ANAYA  
ADRIANA MARCELA CENTENO PÉREZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

**INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

San Salvador, octubre de 2016.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

**INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la **Universidad de El Salvador**, por ser el alma mater que nos abrió las puertas para ser profesionales de bien en el país.

A la **Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos** y sus docentes que nos han guiado con profesionalismo en cada una de sus disciplinas y nos apoyaron.

A nuestra asesora **Inga. Eugenia Gamero**, por su colaborar con sus conocimientos y disposición a lo largo de este trabajo de graduación

Al **Ing. Marvin Ramírez** quien nos colaboró de buena voluntad con sus conocimientos y materiales en este trabajo de graduación.

## DEDICATORIA

Por Karen Aguilar:

*Una derrota no es el peor de los fracasos.  
No haberlo intentado es el peor de los fracasos.*  
**George Edward Woodberry**

A mis padres **Manuel Campos y Julia Olimpia Aguilar**, por haber sido durante toda mi época de estudiante y durante toda mi vida los pilares fundamentales para mantenerme en pie a pesar de los muchos tropiezos y momentos en los que sentía que ya no tenía fuerzas para seguir, gracias por estar siempre ahí y apoyarme son las personas más importantes de mi vida.

A mis hermanos **Alejandrina Campos y Manuel Campos**, por ser los mejores hermanos del mundo con defectos y virtudes, pero siempre juntos, por apoyarme siempre, hacerme sonreír con sus locuras y cariño, por demostrarme que la unidad de hermanos puede superar todos los obstáculos porque hemos descubierto que el amor de hermanos es inquebrantable y supera todo.

A mis abuelos, los que ya partieron pero que siempre están en mi mente y mi corazón **papá Manuel, papá Mauro, mamá María** y los que todavía tengo la dicha de contar con ellas **mamá Julita y mamá Julia** por siempre brindarme su apoyo, cariño y recibirme con una sonrisa.

A ti que hemos pasado tantas cosas juntos buenas y malas que, a pesar del tiempo, la distancia y muchas adversidades que se nos han presentado estas ahí para apoyarme y sacarme una sonrisa siempre aunque ande triste o cansada, infinitas gracias **Oscar Lazo**.

A **Gustavo y Adriana** por haber aceptado formar parte de esta bonita aventura, gracias porque a pesar de las adversidades que tuvimos hemos salimos adelante, muchísimas gracias, formamos un gran equipo

A mis **amigas/os** que formaron parte de esta maravillosa historia, gracias por su amistad, cariño, sus desvelos en días de estudio y los momentos de alegría, y enseñarme que siempre se puede contar con personas valiosas y con grandes amistades.

Por Gustavo Cardona:

Quiero agradecer a mi madre **Roxanna** por su cariño y por enseñarme a ser firme en la vida y a mi padre **José** por su afecto y enseñarme a tener una cultura general sobre el mundo, a ellos agradezco su sacrificio incondicional y por siempre estar allí para que yo alcanzara culminar esta dificultosa carrera universitaria, a mi hermana **Jessie** quien fue un apoyo en tiempos difíciles y quien siempre me ayudo de mil maneras en mi vida de estudiante.

Quiero agradecer a todos los **maestros y maestras** que me dieron todos los conocimientos científicos necesarios para enfrentar el mundo laboral, a mis **compañeros y amigos** quienes hicieron de este largo camino agradable.

Por Adriana Centeno:

El éxito parece estar conectado con la acción.  
La gente exitosa sigue moviéndose, comete errores, pero no renuncia.  
**Conrad Hilton**

Este logro lo dedico y agradezco a **Dios** todo poderoso y a la **Santísima Virgen María**, ya que siempre he confiado mis planes y metas a ellos y me han permitido obtener los medios necesarios para mi educación. En los momentos más difíciles y de soledad estoy segura de que han estado a mi lado y han guiado mis pasos por el camino correcto y me han concedido la gracia de su amor.

A mis padres **Rafael** y **Ofelia**, que me han apoyado en todas mis decisiones, sé que no fue fácil dejarme salir de casa para continuar mis estudios, pero ellos dijeron “Si” dándome la oportunidad de alcanzar mis metas, les agradezco infinitamente todo el esfuerzo y dedicación para hacer de mí una persona de bien.

A mi hermanito **Eduardo** por su amor y comprensión en todo momento. A mi tío **Santos** que siempre estuvo al pendiente de mí a lo largo de estos años.

A la **Ing. Eugenia Gamero** por su orientación y disposición al asesorar este trabajo de graduación, sus valiosos aportes y colaboración han permitido la culminación de este proceso que fue iniciado años atrás cuando apenas comenzaba a cursar las primeras materias de la carrera que me formarían como profesional.

A todos los maestros en general que han sido parte de mi formación y que con su vocación y conocimiento me han transmitido amor y pasión por mi carrera.

Al **Ing. Marvin Ramírez** por su apoyo y brindar su conocimiento y aportes de gran importancia para la realización de este trabajo de graduación.

A **mis amigos** y **compañeros** que compartieron su tiempo, amistad y conocimientos con mi persona, logrando que el paso por la universidad fuera más fácil de sobrellevar.

# RESUMEN

---

En la industria textil se incluyen múltiples procesos y actividades. Muchas instalaciones solo realizan una parte de las cuatro operaciones mayores de la industria textil y puede que utilicen solo un tipo de materia prima. Las cuatro operaciones son: la formación del hilo, formación del tejido, proceso húmedo y fabricación del producto.

En el proceso húmedo es donde se genera la mayor cantidad de agua residual por ejemplo en el rubro algodonero la mayor contaminación orgánica se concentra en las operaciones de desencolado y descruce, y es menor en los procesos de teñido y estampado, mientras que la contaminación inorgánica proviene del lavado con sales de sodio, mercerizado, blanqueo y teñido. Los efluentes de esta manufactura suelen ser alcalinos, coloreados y con una DBO comprendida entre los 300 y 1000 mg/l. Los principales contaminantes son: almidones y glucosa, ceras, pectinas, agentes humectantes, auxiliares, sulfuros, sulfitos, ácido acético, detergentes, hipoclorito, agentes reductores y colorantes no biodegradables. Los efluentes del acabado del algodón contienen fibras finas que ocasionan obstrucciones, diversos problemas mecánicos y de contaminación.

Así también en la industria de la lana el volumen de los efluentes líquidos depende considerablemente de las características del programa de teñido y de los métodos de enjuague utilizados. Dejando de lado los efluentes del lavado de lana cruda, los desechos más perjudiciales se producen en el lavado posterior al batanado, ya que no sólo contienen detergentes y soda cáustica, sino también aceites del cardado. Estos productos deben eliminarse completamente de la fibra y para ello se utilizan otros productos químicos que aumentan la carga contaminante total.

Estas aguas residuales tienen ciertas características especiales como son el olor, sólidos totales, temperatura, densidad, color, acidez, dureza, DBO y DQO entre otras, para controlar estas características y minimizar su impacto en el ambiente se

puede hacer uso de los diferentes tipos de procesos de tratamiento para aguas residuales como lo son: procesos físicos que dependen de las propiedades físicas de las impurezas como lo es el peso específico, tamaño de partícula, viscosidad, entre otros; procesos químicos estos dependen de las propiedades químicas de una impureza y los procesos biológicos que utilizan reacciones bioquímicas para quitar impurezas solubles o coloidales; los procesos biológicos aerobios incluyen el filtrado biológico y lodos activados.

De los procesos anteriormente dichos se generan lodos con ciertas características fisicoquímicas y microbiológicas que pueden o no impactar negativamente al medio ambiente. Si estas ciertas características proveen información suficiente como para conocer que el comportamiento del lodo no es agresivo al ambiente puede ser utilizado como fertilizante alternativo en la agricultura y/o la recuperación de suelos. Por otro lado, al obtener una respuesta negativa para estos usos, su disposición final puede ser el almacenamiento de los mismos a rellenos sanitarios autorizados en el territorio nacional.

Posteriormente se describe el proceso para el muestreo de lodos secos, presentación de resultados y análisis de los mismos para una muestra ejemplo de lodo proveniente de la industria textil, encontrándose elevados niveles de aluminio, nitrógeno, hierro y fosforo.

De acuerdo al muestreo realizado en la Industria Ejemplo se encontró que los valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se encuentran por debajo de los límites máximos establecidos según la NOM004–SEMARNAT-2002 y la EPA 1994. Para cumplir con la normativa internacional se propone un guía para la gestión ambiental de los lodos que se producen dentro de las plantas de tratamiento de aguas considerando la caracterización realizada y tomando como base la norma internacional ISO 14001:2004 para implementación de un sistema de gestión ambiental y el Waste Minimization Opportunity Assessment Manual (1988).

# INDICE

INTRODUCCION .....	1
CAPITULO I: ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TEORICOS.....	3
1.1. INDUSTRIA TEXTIL.....	3
1.2. ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL (JOVEL, MORALES & PIMENTEL, 2008).....	3
1.3. LA INDUSTRIA TEXTIL A NIVEL MUNDIAL.....	6
1.4. LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR (ECHEVERRIA, LOPEZ & MAJANO, 2007).....	8
1.5. CLASIFICACION DE LA INDUSTRIA TEXTIL .....	12
1.6. DESCRIPCION DEL PROCESO INDUSTRIAL TEXTIL (EPA OFFICE OF COMPLIANCE SECTOR NOTEBOOK PROJECT: PROFILE OF THE TEXTILE INDUSTRY, 1997).....	13
1.6.1. MATERIAS PRIMAS.....	15
1.6.1.1. FIBRAS NATURALES (QUIMINET, 2016) .....	15
1.6.1.1. FIBRAS CREADAS POR EL HOMBRE .....	15
1.6.2. PREPARACION DE LAS FIBRAS .....	15
1.6.2.1. FORMACION DEL HILO .....	16
1.6.2.2. HILADO.....	16
1.6.2.3. TEXTURIZACION .....	16
1.6.3. FORMACION DEL TEJIDO .....	16
1.6.3.1. URDIDO .....	16
1.6.3.2. TEJEDURIA .....	17
1.6.1.1. TEJIDO DE PUNTO .....	17
1.6.2. PROCESO HUMEDO.....	18
1.6.2.1. PREPARACION .....	18
1.6.2.2. TEÑIDO.....	18
1.6.2.3. ESTAMPADO.....	18
1.6.2.4. ACABADO.....	18
1.6.3. FABRICACION DEL PRODUCTO .....	19
1.6.3.1. CORTE Y CONFECCION DEL PRODUCTO .....	19
1.7. DESCRIPCION DE LA GENERACION DE AGUAS RESIDUALES .....	19
1.7.1. CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL (BOLAÑOS, 2010).....	21

1.7.2.	CARACTERISTICAS FISICAS (METCALF & EDDY, 1996) .....	21
1.7.2.1.	SOLIDOS TOTALES .....	21
1.7.2.2.	OLORES .....	21
1.7.2.3.	TEMPERATURA .....	24
1.7.2.4.	DENSIDAD.....	25
1.7.2.5.	COLOR.....	25
1.7.2.6.	TURBIEDAD.....	25
1.7.3.	CARACTERISTICAS DE TIPO QUIMICAS (BOLAÑOS, 2010).....	26
1.7.3.1.	ALCALINIDAD.....	26
1.7.3.2.	ACIDEZ .....	27
1.7.3.3.	DUREZA.....	27
1.7.3.4.	DEMANDA DE OXIGENO.....	27
1.7.4.	CARACTERISTICAS DE TIPO BIOLÓGICAS .....	27
1.7.4.1.	ORGANISMOS PATOGENOS .....	28
1.8.	PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.....	28
1.9.	GENERALIDADES DE LOS LODOS .....	29
1.9.1.	CLASIFICACION DE LODOS (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, 2014).....	29
1.9.2.	GENERACION Y MANEJO DE LODOS .....	30
1.7.3	PROCEDENCIA, CANTIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL LODO .....	33
1.7.3.1	PROCEDENCIA.....	33
1.7.3.2	CARACTERÍSTICAS.....	34
1.7.3.3	COMPOSICIÓN GENERAL .....	37
1.7.3.4	CONSTITUYENTES ESPECÍFICOS.....	39
1.7.3.5	CANTIDAD .....	40
1.8.	VARIACIONES DE LA PRODUCCIÓN DE LODO .....	43
1.9.	PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS .....	44
1.9.1.	ESPEADO .....	45
1.9.2.	ESTABILIZACION.....	45
1.9.3.	ACONDICIONAMIENTO DE LODO.....	46
1.9.4.	DESAGUADO .....	46
1.9.5.	REDUCCION .....	47
1.10.	TRATAMIENTOS PARA LODOS .....	47

1.10.1.	DIGESTION ANAEROBIA .....	47
1.10.2.	DIGESTION AEROBIA .....	48
1.10.3.	TRATAMIENTO QUIMICO .....	48
1.10.4.	INCINERACION.....	49
1.11.	DISPOSICION FINAL DE LODOS .....	49
1.11.1.	ENCAPSULAMIENTO .....	50
1.11.2.	FIJACION QUIMICA O SOLIDIFICACION (FQS).....	50
1.11.3.	COBERTURA FINAL DE RELLENOS SANITARIOS .....	51
1.11.4.	INCORPORACION A RELLENO SANITARIO.....	51
1.11.5.	USOS ALTERNATIVOS DE LOS LODOS.....	53
1.11.5.1.	AGRICOLA Y FORESTAL .....	53
1.11.5.2.	RECUPERACION DE SUELOS DEGRADADOS Y RECUPERACION DE PAISAJES.....	54
1.11.5.3.	OTROS USOS .....	54
1.12.	NORMATIVA Y PROBLEMÁTICA PARA EL PROCESO DE VERTIDO Y REUTILIZACIÓN DE LODO .....	56
	CAPITULO II: MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DE LODOS .....	58
2.1.	DEFINICION DE PARÁMETROS A ANALIZAR .....	58
2.1.1.	CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LODOS ORDINARIOS ....	59
2.1.2.	CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LODOS ESPECIALES.....	59
2.1.3.	ANÁLISIS FISICOQUIMICOS ESPECÍFICOS DE LODOS TIPO ESPECIAL .....	60
2.2.	DEFINICION DEL PROCEDIMIENTO DE MUESTREO (POTW SLUDGE SAMPLING AND ANALYSIS GUIDANCE DOCUMENT, 1989) .....	61
2.2.1.	MATERIAL Y EQUIPO DE MUESTREO.....	63
2.2.2.	IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO .....	64
2.2.3.	PREPARACION DE RECIPIENTES PARA ALMACENAR LAS MUESTRAS .....	66
	• TECNICAS DE PREPARACION DE FRASCOS DE MUESTREO.....	66
2.2.4.	RECOLECCION DE MUESTRAS .....	67
2.2.5.	ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.....	70
2.2.6.	ANALISIS DE LABORATORIO .....	72
2.3.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	77

2.3.1.	RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS .....	77
2.3.2.	RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	78
2.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	78
	CAPITULO III: PROPUESTA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LODOS .....	81
3.1.	GENERALIDADES DE LA PROPUESTA.....	81
3.2.	BASES PARA ELABORACIÓN DE PROPUESTA .....	82
3.3.	GUIA PROPUESTA PARA LA GESTION AMBIENTAL DE LODOS DE LA INDUSTRIAL TEXTIL EN EL SALVADOR.....	86
3.3.1.	CONSIDERACIONES PREVIAS A IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL.....	86
3.3.1.1.	RESPONSABILIDAD Y COMPROMISO DEL PRODUCTOR DE LODO .....	86
3.3.1.2.	ASPECTOS AMBIENTALES.....	88
3.3.1.3.	EVALUACION .....	89
3.3.1.4.	RECOLECCION DE DATOS E INFORMACION .....	89
3.3.1.5.	DIAGRAMAS DE FLUJO Y BALANCES DE MATERIA .....	90
3.3.1.6.	VISITAS DE CAMPO.....	91
3.3.2.	GUIA PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DE LODOS PARA LA INDUSTRIA EJEMPLO .....	93
3.3.2.1.	PROCESO DE SEPARACION .....	95
3.3.2.2.	PRUEBA DE JARRAS.....	95
3.3.2.3.	RECOLECCION DE LODO HUMEDO .....	99
3.3.2.4.	ESPESAMIENTO .....	99
3.3.2.5.	FILTRO PRENSA.....	99
3.3.2.6.	PATIOS DE SECADO .....	100
3.3.2.7.	RECOLECCION DE LODO SECO .....	101
3.3.2.8.	ALMACENAMIENTO TEMPORAL .....	103
3.3.2.9.	PESAJE DE LODOS .....	104
3.3.2.10.	TRANSPORTE .....	104
3.3.2.11.	DISPOSICION FINAL.....	104
3.4.	RECOMENDACIONES PARA MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS Y OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS.....	105

3.4.1. AGUA.....	105
3.4.2. ENERGIA.....	106
3.4.3. GESTION DE LOS RECURSOS .....	106
RECOMENDACIONES .....	108
CONCLUSIONES.....	109
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	110
<b>ANEXOS</b> .....	113
A. CLASIFICACION, PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y VALORES MAXIMOS PERMITIDOS DE LODOS (NORMA MEXICANA Y EPA 1994) .....	114
B. EXPORTACIONES E IMPORTACIONES DE TEXTILES DE ALGUNAS ECONOMIAS.....	115
C. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA PATOGENOS Y PARASITOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS (NORMA MEXICANA).....	128
D. SELECCION DE PUNTOS DE MUESTREO.....	129
E. RESULTADOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE LODOS ANALIZADAS EN FUSADES. ....	130
F. RESULTADOS OBTENIDOS DE MUESTRA ANALIZADA EN EL LABORATORIO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA. ....	131
G. RESULTADOS OBTENIDOS DE MUESTRA ANALIZADA EN DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA. ....	132
H. METODOLOGIAS PARA DETERMINACION DE PARAMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS .....	133
H.1. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO.....	133
H.2. DETERMINACION DEL AMONIACO .....	135
H.3. DETERMINACION DE FOSFORO TOTAL. ....	136
H.4. DETERMINACION DE COBRE.....	138
H.5. DETERMINACION DE PH .....	140
H.6. DETERMINACION DE ARSENICO .....	141
H.7. DETERMINACION DE PLOMO (EAA DE LLAMA AIRE – ACETILENO POR ASPIRACIÓN DIRECTA PARA LODOS Y SUELOS).....	143
H.8. SECADO A 105°C±5°C (LODOS Y SUELOS).....	145

H.9. DETERMINACION DE COLIFORMES FECALES POR EL MÉTODO DEL NUMERO MAS PROBABLE (NPM).....	147
H.10. DETERMINACION DE SALMONELLA SP (SEGÚN NORMATIVA BAM) .....	151
H.11. METODO DE FLOTACION DE SOLUCION SATURADA .....	153
H.12. METODO DIGESTIONES .....	156
H.13. METODO DE CALCULOS DE AMONIO .....	159
H.14. METODO REACTIVOS PARA LA DETERMINACION DE FOSFATOS .....	160
H.15. METODO PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE FOSFATOS .....	160
H.16. METODO DE CALIBRACION PARA LA DETERMINACION DE FOSFATOS .....	161
H.17. POTASIO EN FERTILIZANTES .....	161
H.18. METODO CALIBRACION PARA DETERMINACION DE AMONIO .....	166
I. MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL DE LODOS .....	168
J. REGISTRO DE INGRESO Y SALIDA DE LODOS EN ALMACENAMIENTO TEMPORAL .....	175
K. REGISTRO DE GENERACION DE LODOS .....	178

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1 PRINCIPALES EXPORTADORES E IMPORTADORES DE TEXTILES EN 2013.....	7
TABLA 1. 2 PRINCIPALES EXPORTADORES E IMPORTADORES DE TEXTILES EN 2013 (CONTINUACIÓN).....	8
TABLA 1. 3 CLASIFICACIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTIL .....	13
TABLA 1. 4 CLASIFICACIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTIL (CONTINUACIÓN).....	13
TABLA 1. 5 CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES DE PROCESOS TEXTILES DE LANA.....	20
TABLA 1. 6 PROPIEDADES QUÍMICAS DE AGUAS RESIDUALES DE TEXTILERAS DE ALGODÓN .....	20
TABLA 1. 7 ALGUNOS COMPUESTOS Y SU OLOR CARACTERÍSTICO .....	22
TABLA 1. 8 FACTORES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE OLORES .....	22
TABLA 1. 9 MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y EVACUACIÓN DE LODOS.....	31

TABLA 1. 10 MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y EVACUACIÓN DE LODOS (CONTINUACIÓN).....	32
TABLA 1. 11 PROCEDENCIA DE SÓLIDOS Y LODO EN UNA INSTALACIÓN CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	33
TABLA 1. 12 PROCEDENCIA DE SÓLIDOS Y LODO EN UNA INSTALACIÓN CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (CONTINUACION).....	34
TABLA 1. 13 CARACTERÍSTICAS DEL LODO PRODUCIDO DURANTE EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL .....	35
TABLA 1. 14 CARACTERÍSTICAS DEL LODO PRODUCIDO DURANTE EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL (CONTINUACIÓN) .....	36
TABLA 1. 15 CARACTERÍSTICAS DEL LODO PRODUCIDO DURANTE EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL (CONTINUACIÓN) .....	37
TABLA 1. 16 COMPOSICIÓN QUÍMICA GENERAL DEL LODO CRUDO Y DIGERIDO .....	38
TABLA 1. 17 COMPARACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE NUTRIENTES DE LOS FERTILIZANTES COMERCIALES Y EL LODO DE AGUA RESIDUAL .....	39
TABLA 1. 18 CONTENIDO TÍPICO DE METALES EN EL LODO DE AGUA RESIDUAL .....	40
TABLA 1. 19 DATOS TÍPICOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y LAS CANTIDADES DE LODO PRODUCIDO EN DIVERSOS PROCESOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.....	41
TABLA 1. 20 CONCENTRACIONES ESPERADAS DEL LODO PROCEDENTES DE DIVERSAS OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO .....	42
TABLA 1. 21 CONCENTRACIONES ESPERADAS DEL LODO PROCEDENTES DE DIVERSAS OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO (CONTINUACIÓN).....	43
TABLA 2. 1 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES.....	59
TABLA 2. 2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES.....	60
TABLA 2. 3 PARÁMETROS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LODOS ...	61
TABLA 2. 4 MATERIAL Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL MUESTREO DE LODOS .....	63
TABLA 2. 5 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y SUS RESPECTIVOS MÉTODOS .....	73
TABLA 2. 6 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y SUS RESPECTIVOS MÉTODOS (CONTINUACIÓN).....	74
TABLA 2. 7 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y SUS RESPECTIVOS MÉTODOS (CONTINUACIÓN).....	75
TABLA 2. 8 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y SUS RESPECTIVOS MÉTODOS .....	76
TABLA 2. 9 RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS ANALIZADOS.....	77

TABLA 2. 10 RESULTADOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS .....	78
TABLA 2. 11 CUADRO COMPARATIVO DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS CON VALORES DE REFERENCIA .....	79
TABLA 2. 12 CUADRO COMPARATIVO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS CON VALORES DE REFERENCIA.....	79
TABLA 2. 13 CUADRO COMPARATIVO DE NUTRIENTES ELEMENTALES EN ABONOS CON VALORES OBTENIDOS .....	80
TABLA 3. 1 TABLA DE ÍNDICE DE WILLCOMB.....	98
TABLA 3. 2 EQUIPO Y ESPECIFICACIONES PARA LA RECOLECCIÓN DE LODOS.....	102
TABLA A. 1 VALORES LÍMITE DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN LODOS. FUENTE: EPA 1994.....	114
TABLA A. 2 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES EN BIOSÓLIDOS.....	114
TABLA B. 1 EXPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013 .....	115
TABLA B. 2 EXPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013 (CONTINUACIÓN).....	116
TABLA B. 3 EXPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013 (CONTINUACIÓN).....	117
TABLA B. 4 EXPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013 (CONTINUACIÓN).....	118
TABLA B. 5 EXPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013 (CONTINUACIÓN).....	119
TABLA B. 6 EXPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013 (CONTINUACIÓN).....	120
TABLA B. 7 EXPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013 (CONTINUACIÓN).....	121
TABLA B. 8 IMPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013.....	122
TABLA B. 9 IMPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013.(CONTINUACIÓN).....	123
TABLA B. 10 IMPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013.(CONTINUACIÓN) .....	124
TABLA B. 11 IMPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013.(CONTINUACIÓN) .....	125
TABLA B. 12 IMPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013.(CONTINUACIÓN) .....	126
TABLA B. 13 IMPORTACIONES DE TEXTILES DE DETERMINADAS ECONOMÍAS, 1990-2013. (CONTINUACIÓN) .....	127

TABLA C. 1 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PATÓGENOS Y PARÁSITOS EN LODOS Y BIOSÓLIDOS.....	128
TABLA D. 1 SELECCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.....	129
TABLA G. 1 FORMATO PARA REGISTRO DE INGRESO Y SALIDA DE LODOS.....	175
TABLA G. 2 DATOS GENERALES PARA EL TRANSPORTE DE LODOS.....	176
TABLA G. 3 DATOS GENERALES PARA EL TRANSPORTE DE LODOS (CONTINUACIÓN).....	177
TABLA H. 1 FORMATO DE REGISTRO DE CALIDAD DE LODOS.....	178
TABLA H. 2 VALORACIÓN DE CALIDAD DE LODOS.....	179

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1 LANZADERA VOLANTE INVENTADA POR JOHN KAY EN 1973. (FUENTE: PAGINA WEB TIMERIME) .....	5
FIGURA 1. 2 MAQUINA HILADORA SPINNIG JENNY. (FUENTE: PAGINA WEB LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL).....	5
FIGURA 1. 3 EVOLUCIÓN DEL PIB EN LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR EN MILLONES DE DÓLARES. (FUENTE: INFORME DE MERCADO LABORAL PARA LA ESPECIALIDAD EN TEXTIL).....	10
FIGURA 1. 4 PRINCIPALES DESTINOS DE LAS EXPORTACIONES DE EL SALVADOR AL MUNDO. (FUENTE: INFORME DE MERCADO LABORAL PARA LA ESPECIALIDAD EN TEXTIL).....	11
FIGURA 1. 5 ESQUEMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTIL. (FUENTE: EPA OFFICE OF COMPLIANCE SECTOR NOTEBOOK PROJECT: PROFILE OF THE TEXTILE INDUSTRY, 1997).....	14
FIGURA 1. 6 EJEMPLOS DE TEJIDOS. (FUENTE: B.P. CORBMAN, TEXTILES: FIBER TO FABRIC; MCGRAW-HILL, INC., 1975) .....	17
FIGURA 1. 7 ESQUEMA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA) .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
FIGURA 2. 1 ESQUEMA DEL PROCESO DE MUESTREO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	62
FIGURA 2. 2 LODO DE LOS PATIOS DE SECADO DE LA INDUSTRIA EJEMPLO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	64
FIGURA 2. 3 PATIO DE SECADO DE LA INDUSTRIA EJEMPLO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	65

FIGURA 2. 4 PATIO DE SECADO DE LA INDUSTRIA EJEMPLO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	65
FIGURA 2. 5 CUARTEOS SOBRE SUPERFICIE DURA, LIMPIA Y NIVELADA. FUENTE: ASTM C702.....	69
FIGURA 2. 6 CUARTEOS SOBRE UNA LONA DE CUARTEO. FUENTE: ASTM C702.....	70
FIGURA 3. 1 PASOS DESCRITOS PARA ELABORACIÓN DE SISTEMA DE GESTIÓN, SEGÚN ISO 14001. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	82
FIGURA 3. 2 FASES PROPUESTAS POR EL WASTE MINIMIZATION OPORTUNITY ASSESSMENT (1988). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	84
FIGURA 3. 3 DIAGRAMA DE FLUJO DE GESTIÓN DE LODOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	87
FIGURA 3. 4 TÉCNICAS PARA MINIMIZAR RESIDUOS. FUENTE : WASTE MINIMIZATION OPORTUNITY ASSESSMENT (1988).....	93
FIGURA 3. 5 FLUJOGRAMA DE GESTIÓN DE LODOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	94
FIGURA 3. 6 EQUIPO PARA REALIZAR LA PRUEBA DE JARRAS. FUENTE: WWW.R-CHEMICAL.COM .....	97
FIGURA 3. 7 PRUEBA DE JARRAS FINALIZADA. FUENTE: WWW.R-CHEMICAL.COM .....	98
FIGURA 3. 8 FILTRO PRENSA. FUENTE: GEDAR, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. ....	100
FIGURA 3. 9 LECHO DE SECADO DE ARENA. FUENTE: HTTP://TESIS.USON.MX/DIGITAL/TESIS/DOCS/4314/CAPITULO8.PDF.....	101
FIGURA 3. 10 EQUIPO A UTILIZAR PARA REMOCIÓN DE LODO DEL PATIO DE SECADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	103

## INDICE DE ECUACIONES

MASA QUE ENTRA= MASA QUE SALE + MASA ACUMULADA (EC. 3. 1) .....	90
---	----

## INTRODUCCION

En El Salvador existen muchas industrias orientadas al proceso de transformación de materias primas en bienes de consumo, sean estos de consumo intermedio o de consumo final, es en este proceso de transformación en el que se utilizan una variedad de procesos químicos y físicos, de manera que la materia prima que ingresó ha sido tratada y cambiada para poder ser utilizada por el ser humano.

Una de las industrias de transformación reconocidas en el país son las industrias dedicadas al rubro textil, que son las encargadas de la fabricación de tejidos, tintura, estampado y en algunos casos la confección de prendas de vestir.

En la Industria textil se llevan a cabo procesos como limpieza y preparación de la materia prima, lavados, blanqueados, acabados, limpieza de equipos, entre otros, los cuales requieren grandes volúmenes de agua, que si bien permiten conseguir un producto útil y que cumpla con los requerimientos de calidad arrastran sustancias tóxicas que dañan el medio ambiente, interfiriendo en su calidad y en el uso de los recursos.

Los diferentes procesos de la industria textil generan aguas de residuales y que, al ser descargadas, sin previo tratamiento, agotarían el oxígeno disuelto presente en los cuerpos de agua, lo que traería como consecuencias la pérdida de biodiversidad y en la mayoría de los casos daños irreversibles a los ecosistemas acuáticos.

Como producto del tratamiento de las aguas residuales se producen desechos sólidos conocidos como lodo. Estos lodos que pueden contener materiales tanto orgánicos como inorgánicos, tales como metales pesados y microorganismos. Por lo tanto, es necesario disponerlos de manera adecuada, evitando así que estos causen daños ambientales y a la salud humana.

Actualmente los lodos generados por los sistemas de tratamiento de aguas residuales generalmente son estabilizados in situ, ya sea con hidróxido de calcio, u otras

sustancias y luego son almacenados temporalmente y llevados a un sitio de disposición final autorizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) tal como el relleno sanitario de Nejapa en el departamento de San Salvador.

La legislación ambiental salvadoreña, no incluye de manera específica el tratamiento, almacenamiento y disposición final adecuada de los lodos que resultan del tratamiento de las aguas residuales, cada empresa dispone de ellos o simplemente son almacenados.

Muchos de los recursos naturales se ven afectados, por la gestión inadecuada de los lodos residuales lo que repercute en la salud humana y en la degradación del medio ambiente lo que trae consigo una disminución de la calidad de vida.

# CAPITULO I: ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TEORICOS

## **1.1. INDUSTRIA TEXTIL**

La industria textil agrupa todas aquellas actividades dedicadas a la fabricación y obtención de fibras, hilado, tejido, tintado, y finalmente el acabado y confección (NATUREDUCA, 2016).

El sector textil y de confecciones es una de las industrias más importantes para la economía de Centroamérica debido a las divisas provenientes por sus exportaciones e inversiones y por los empleos que genera (LA PRENSA GRAFICA, 2015).

Cabe destacarse que la producción de la industria textil es ampliamente consumida y por caso todos los productos que de ella provienen son vendidos en importantes cantidades en todo el mundo. Además, por tal situación es una de las industrias que más trabajadores emplea, tanto en la producción directa de los productos como en los comercios afines. Las fibras son las materias primas más importantes y básicas que produce la industria textil, pudiendo ser su origen químico, petroquímico, que proveen de las fibras sintéticas.

## **1.2. ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL (JOVEL, MORALES & PIMENTEL, 2008)**

La industria textil fue la primera en desarrollarse de hecho la producción de telas era desde hacía siglos una importante actividad económica en Gran Bretaña tanto de tejidos elaborados a partir de lana.

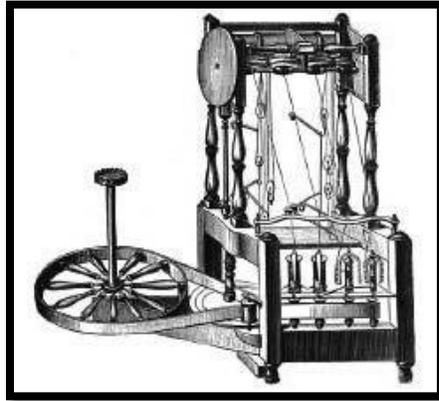
Parte importante de esa producción era exportada, siendo Gran Bretaña uno de los mayores productores textiles del mundo desde décadas, antes de iniciarse la completa industrialización del sector.

Precisamente la industrialización significó el paso progresivo de la producción artesana en el ámbito doméstico, mediante la utilización de herramientas o máquinas muy sencillas, a la producción de grandes factorías con decenas de telares movidos con energía hidráulica o por medio de máquinas de vapor.

A lo largo del siglo XVIII la industria textil conoció importantes innovaciones técnicas. La mayor parte de las cuales eran realizadas por artesanos sin especiales conocimientos científicos. El estudio de estas innovaciones ha sido interpretado desde distintos puntos de vista, el más sugerente de todos es aquel que considera unos inventos como respuesta a los desequilibrios creados por un inventor anterior.

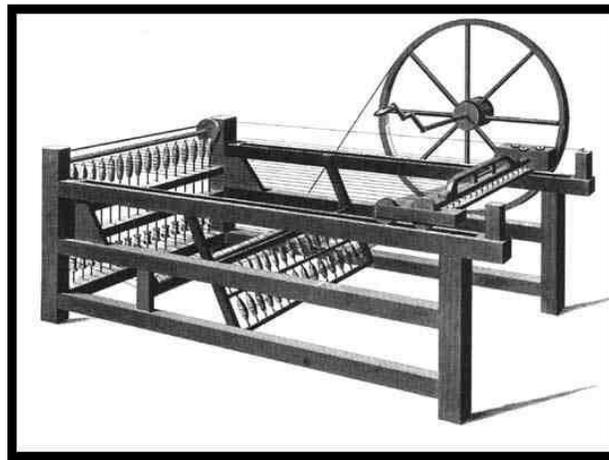
La historia de esos desequilibrios permite comprender uno de los aspectos esenciales de la industria moderna: la innovación continua y acelerada, frente a técnicas y herramientas artesanales que habían permanecido casi inmutables durante siglos.

En 1733 John Kay patentó un telar con lanzadera volante que permitía duplicar la capacidad de tejido de los artesanos ingleses, hasta entonces el proceso de hilado se realizaba con la rueca o con el torno de hilar: el trabajador con sus manos o accionando un pedal que hacía girar una rueda para mover un único huso donde se enrolla el hilo.



*Figura 1. 1 Lanzadera volante inventada por John Kay en 1733. (Fuente: Pagina web TimeRime)*

Ante la nueva demanda, la respuesta fue la maquina hiladora Spinnig Jenny que multiplicaba la capacidad de los hiladores, aunque aún utilizaba como energía la fuerza humana de los trabajadores.



*Figura 1. 2 Maquina hiladora Spinnig Jenny. (Fuente: Pagina web La Revolución Industrial)*

Pero probablemente el salto a un sistema industrial se dio con la invención de una máquina hiladora que utilizaba como fuerza motriz el agua, patentada por Richard Arkwright. Este invento exigía la concentración de numerosas máquinas y obreros trabajando a jornada completa bajo el techo de un edificio situado junto a una potente corriente de agua. Arkwright puede ser considerado el creador de la primera fábrica moderna.

La mecanización del hilado pronto puso de manifiesto sus ventajas a pesar de que muchos trabajadores observaban las nuevas máquinas con desconfianza. También, en este periodo iniciaron las primeras protestas obreras, pues pensaban que se les quitaban sus puestos de trabajo; en los últimos veinte años del siglo XVIII se emprendieron intentos por mecanizar otras labores textiles como el tejido.

El paso más importante se dio con la puesta en marcha de los primeros telares mecánicos movidos con máquinas de vapor. Ya hacia 1785 Cartwright había patentado un telar mecánico movido por fuerza hidráulica.

En los años siguientes, varios inventores perfeccionaron este telar hasta lograr aplicar la fuerza del vapor de una forma eficiente. La historia de las invenciones en la industria textil arroja luz sobre el nuevo mundo que surge con la industrialización; cuando un invento mejora la productividad de una rama de la industria, inmediatamente se hace sentir la necesidad en otras ramas para responder a la nueva demanda.

### **1.3. LA INDUSTRIA TEXTIL A NIVEL MUNDIAL**

La industria textil tiene una importante participación en la economía mundial, puesto que la fabricación de telas y prendas de vestir se ha vuelto una necesidad para el ser humano.

Según la Organización Mundial del Comercio (OMC) en su informe del año 2014 se presentan los siguientes valores para los principales exportadores e importadores a nivel mundial. En la tabla 1.1 y 1.2, en el año 2013 se observa a China como uno de los principales exportadores con un 34.8% en las exportaciones mundiales, seguido de la Unión Europea con un 23.6% de las exportaciones textiles a nivel mundial.

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR**

*Tabla 1. 1 Principales exportadores e importadores de textiles en 2013*

(Miles de millones de dólares y porcentajes)										
	Valor		Parte en las exportaciones e importaciones mundiales				Variación porcentual anual			
	2013		1980	1990	2000	2013	2005-13	2011	2012	2013
<b>Exportadores</b>										
China a	107		4.6	6.9	10.4	34.8	13	23	1	12
exportaciones extra-UE	23		-	-	9.9	7.5	2	15	-6	3
India	19		2.4	2.1	3.6	6.2	11	20	0	24
Estados Unidos	14		6.8	4.8	7.1	4.6	1	14	-3	3
Turquía	12		0.6	1.4	2.4	4.0	7	20	3	10
República de Corea	12		4.0	5.8	8.2	3.9	2	13	-3	1
Hong Kong, China	11		-	-	-	-	-3	0	-7	2
exportaciones locales b	0		1.7	2.1	0.8	0.1	-15	-19	-8	-11
re-exportaciones b	10		-	-	-	-	-3	0	-6	0
Taipei Chino	10		3.2	5.9	7.7	3.3	1	13	-7	0
Pakistán	9		1.6	2.6	2.9	3.1	4	16	-4	7
Japón	7		9.3	5.6	4.5	2.2	0	13	-3	-12
Vietnam b	5		...	...	0.2	1.6	27	23	3	23
Indonesia	5		0.1	1.2	2.3	1.5	4	16	-5	2
Tailandia	4		0.6	0.9	1.3	1.3	4	8	-14	10
Emiratos Árabes Unidos b, c	3		0.1	0.0	0.8	0.9	9	6	16	23
<b>Importadores</b>										
Unión Europea	78		-	-	35.2	24.2	1	14	-12	5
importaciones extra-UE	29		-	-	9.9	9.0	4	17	-14	7
Estados Unidos	27		4.5	6.2	9.8	8.4	2	8	2	4
China a, d	22		1.9	4.9	7.8	6.7	4	7	5	9
Vietnam b	11		...	...	0.8	3.3	15	24	4	17
Hong Kong, China	10		-	-	-	-	-3	-2	-6	1
importaciones definitivas, b	0		3.7	3.8	0.9	0.0	-20	...	...	...
Japón	9		3.0	3.8	3.0	2.7	5	28	-2	-3
Turquía	7		0.1	0.5	1.3	2.1	5	16	-15	5
Bangladesh b	6		0.2	0.4	0.8	1.9	12	48	-12	6
México a,	6		0.2	0.9	3.6	1.9	0	14	2	3
Indonesia	6		0.4	0.7	0.8	1.8	29	34	-1	4
República de Corea	5		0.7	1.8	2.1	1.6	5	17	-14	7
Canadá	5		2.3	2.2	2.5	1.4	1	8	2	-1
Rusia b	4		-	-	0.4	1.3	17	25	5	-6
Unión Europea	72		-	-	36.7	23.6	0	13	-10	3

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

*Tabla 1. 2 Principales exportadores e importadores de textiles en 2013 (continuación)*

(Miles de millones de dólares y porcentajes)										
	Valor		Parte en las exportaciones e importaciones mundiales				Variación porcentual anual			
	2013		1980	1990	2000	2013	2005-13	2011	2012	2013
<b>Importadores</b>										
Brasil	4		0.1	0.2	0.6	1.3	18	14	0	-2
India	4		0.1	0.2	0.4	1.1	8	22	-2	8
<b>Total de las 15 economías anteriores</b>	<b>193</b>		-	-	<b>70.0</b>	<b>59.8</b>	-	-	-	-
a Incluye importantes exportaciones e importaciones de las zonas de elaboración.										
b Incluye estimaciones de la Secretaría.										
c Principalmente reexportaciones.										
d En 2013, China notificó importaciones de textiles procedentes de China que representan 3.2 miles de millones de dólares.										

*Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.*

## **1.4. LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR (ECHEVERRIA, LOPEZ & MAJANO, 2007).**

Históricamente en El Salvador la industria textil se ha ubicado entre los sectores manufactureros más importantes de Centroamérica, aun durante la crisis experimentada a finales de los años setentas. Desde 1950, el sector ha tendido a ubicarse entre los primeros cuatro lugares de la industria salvadoreña, en cuanto a producción se refiere.

La industria textil, sin embargo, no creció con el mismo dinamismo que el sector de la confección, y no llegó a recuperarse hasta concluido el conflicto armado y firmado el acuerdo de paz entre el gobierno y la guerrilla. Se dio una modernización de la actividad, sustituyendo maquinaria y equipo obsoleto gracias a la repatriación de grandes capitales que habían salido del país. La industria textil ha sido durante los últimos cincuenta años una categoría industrial importante en Centroamérica.

La industria textil propiamente dicha, surge en El Salvador en 1885. En sus inicios se concretó a nivel de telares manuales, donde se procesaba el algodón, aunque estos fueron perdiendo importancia en el correr de los tiempos, debido a la introducción de la industria mecanizada.

El proceso de producción se fue tecnificando con la introducción del telar de mano, requiriendo la importación de hilos de mejor calidad, provenientes del Japón, ya que en esta época no se fabricaban en el medio.

Según la Organización Mundial del Comercio (OMC) y sus datos de las exportaciones e importaciones para determinados países (ver apéndice B). Para el caso de El Salvador al año 2013 la parte que corresponde al rubro textil de las exportaciones totales del país es de 5.8% y el porcentaje de importaciones sobre el total de importaciones para la economía del país es de 10.2%. Es claro que las importaciones superan la cantidad de exportaciones.

Según el informe de Mercado laboral para la especialidad en textil realizado en el año 2014 por el viceministerio de Ciencia y Tecnología, la Dirección Nacional de Educación en Ciencia, Tecnología e innovación y la Gerencia de Educación Media Técnica y Tecnología, debido a que la industria textil y confección es un sector altamente integrado, genera una gran cantidad de empleos e impulsa el crecimiento de la economía en general. En gran parte el crecimiento de este rubro se debe a que El Salvador cuenta con una Ley de Zonas Francas Industriales y Comerciales que rige y promueve el desarrollo del sector textil, a través de exenciones de impuestos sobre la renta, municipal y aduanero y la centralización de trámites que facilita el comercio.

En el 2011, en promedio, se crearon 73,488 empleos en el sector textil y confección, lo cual representa un crecimiento del 4.9% en comparación con el año anterior. Del total de ocupados en la industria textil y confección el 33% son hombres y el 66% son mujeres y gran porcentaje de estos en la industria textil de El Salvador tienen una educación básica y media y solamente el 2% posee estudios superiores. Al igual que en el resto de sectores económicos, el bajo nivel educativo con que cuenta la mayor parte de ocupados dentro del sector textil, produce que los salarios dentro de este campo no sean elevados. Sin embargo, toda la industria en general necesita personal especializado, como: ingenieros químicos, ingenieros industriales, ingenieros mecánicos y para la industria en específico, personal especializado en textiles.

El comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB) para el país durante los años de 1990 al 2011 viene dado como lo muestra la figura 1.3, Lo que nos indica un comportamiento positivo a lo largo de los años hasta el año 2011 que se ve reflejado en la economía del país. Este crecimiento es significativo y muestra la importancia que este sector tiene para la economía nacional.

Según el informe Mercado laboral para la especialidad en textil, 2014 los principales destinos para las exportaciones del país para el sector textil son: un 77.8% hacia Estados Unidos, 3.7% Guatemala, 11.6% Honduras y un 6.9% para otros destinos.

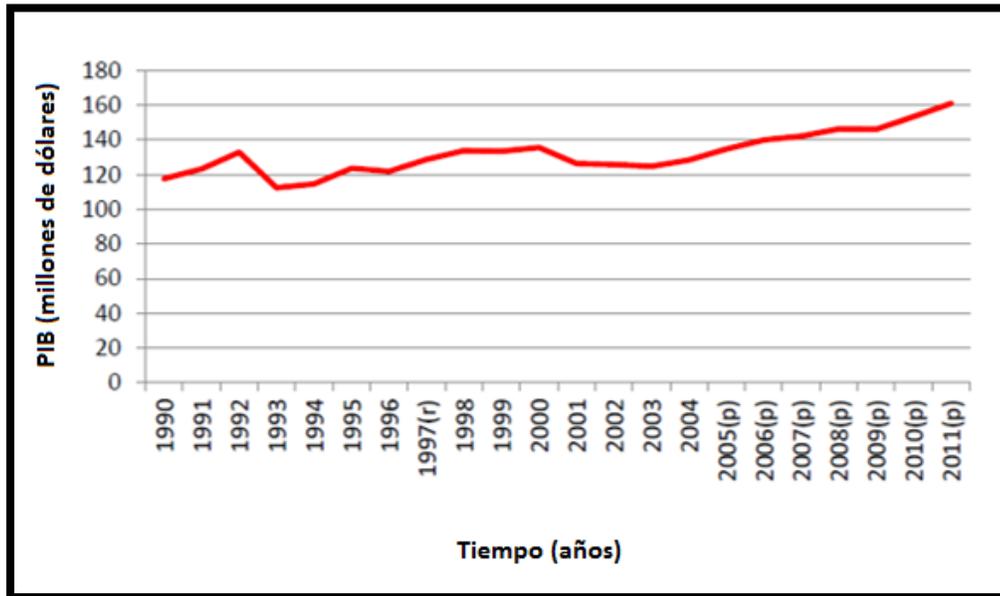


Figura 1. 3 Evolución del PIB en la industria textil en El Salvador en millones de dólares. (Fuente: Informe de Mercado Laboral para la Especialidad en Textil)

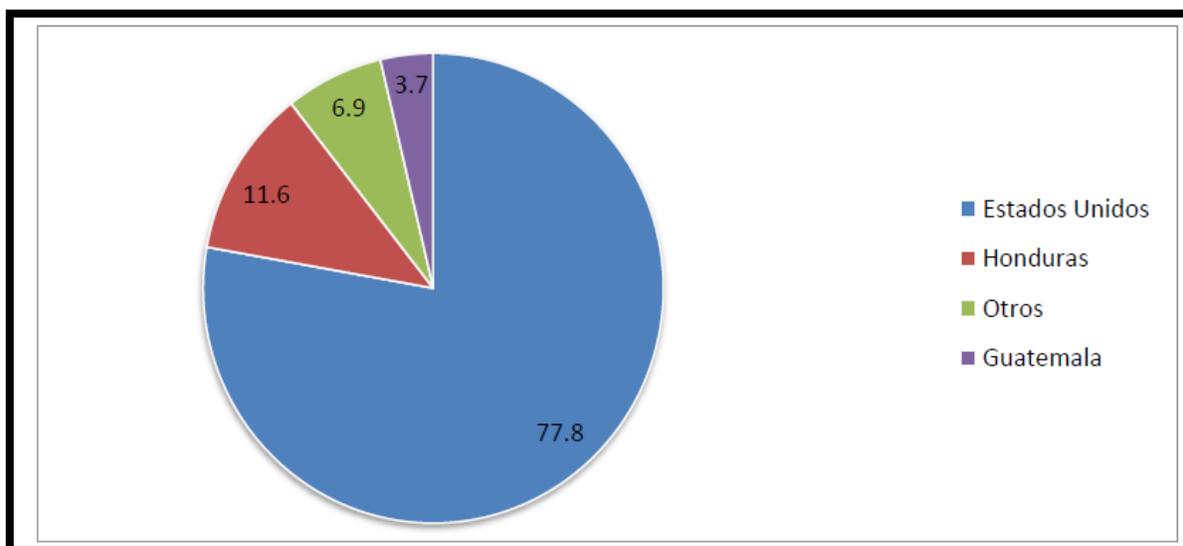


Figura 1. 4 Principales destinos de las exportaciones de El Salvador al mundo. (Fuente: Informe de Mercado Laboral para la Especialidad en Textil)

En las tablas 1.3 y 1.4 se muestran las industrias textiles establecidas en el país que utilizan procesos húmedos en su proceso de procesos de producción.

Tabla 1. 3 Industrias textiles en El Salvador que realizan procesos húmedos en su producción

Industria	Ubicación
Textiles San Andrés	San Juan Opico, La Libertad
Telas Sintéticas de Centroamérica	San Luis del carmen, La Libertad
textiles Lourdes Planta Lamatepec	San Juan Opico, La Libertad
Textiles Lourdes Planta Montecristo	San Juan Opico, La Libertad
textiles Lourdes Planta Balsamar	San Juan Opico, La Libertad
Textiles Lourdes Planta Joya de Cerén	San Juan Opico, La Libertad
Manufacturera textiles Matex	Ilopango, San Salvador
Fábrica Facalca Hiltex	Ahuachapán, Ahuachapán
Industrias Textiles Cuscatlán S.A de C.V	Ilopango, San Salvador
Incaltex	San Salvador, San Salvador
Lindotex S.A de C.V	San Marcos, San Salvador
Hilcasa	Apopa, San Salvador
Textufil S.A de C.V	Soyapango, San Salvador
Hang Chang Textil	San Marcos, San Salvador
Fábrica de Tejido y punto	Cuscatancingo, San Salvador
Textiles e Impresos S.A de C.V	Antiguo Cuscatlán, La Libertad
Mentex, S.A de C.V	San Salvador, San Salvador

Fuente: Salmerón, 2012.

*Tabla 1. 4 Industrias textiles en El Salvador que realizan procesos húmedos en su producción  
(Continuación)*

Industria	Ubicación
Nave Industrial Textilera MB Knitting Mills S.A de C.V	Guazapa, San Salvador
Textilera MB Knitting Mills S.A de C.V	Apopa, San Salvador
Hermano Textil S.A de C.V	San Marcos, San Salvador
Industrias Sintéticas de Centroamérica (INSINCA)	Apopa, San Salvador
Fábrica de Telas	Ilopango, San Salvador
Fábrica Textil Industrial Bolivar S.A de C.V	Santo Tomás, San Salvador
HBI El Salvador	San Juan Opico, La Libertad
HBI EL Salvador II Fase	San Juan Opico, La Libertad
Decotex International, Limitada de Capital Variable	Ciudad Arce, La Libertad
Productos Azteca, S.A de C.V	San Salvador, San Salvador
Brooklyn Manufacturing LTDA de C.V	San Marcos, San Salvador
Industrias San Jorge	San Salvador, San Salvador
Pettenati Centroamérica, S.A de C.V	Coatepeque, Santa Ana
Oceans Sky Apparel (SV) El Salvador	Comalapa, La Paz
Roo Hsing Garment Co. El Salvador, S.A de C.V	Ilopango, San Salvador
Industria Calcetinera Salvadoreña	El Porvenir, Santa Ana
George C. Moore, El Salvador Ltda. De C.V	Ciudad Arce, La Libertad
Darlington Fabrics El Salvador	Ciudad Arce, La Libertad
Industrias Unidad Sociedad Anónima	Ilopango, San Salvador

Fuente: Salmerón, 2012.

## **1.5. CLASIFICACION DE LA INDUSTRIA TEXTIL**

La industria textil en base a la clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU), codifica a las empresas de este sector especificando las diferentes actividades productivas de los países, con el fin de identificarlas en un solo lenguaje. La Dirección General de Estadísticas y Censos en El Salvador toma de base dicha clasificación (véase tablas 1.5 y 1.6).

*Tabla 1. 5 Clasificación de la industria textil*

CLASIFICACION	CODIGO	DESCRIPCION
Gran División	C	Industria Manufacturera
División	13	Fabricación de productos textiles
Agrupación	131	Hilatura, tejedura y acabado de productos textiles
Grupos	1311	Preparación e hilatura de fibras textiles
	1312	Tejedura de productos textiles
	1313	Acabados de productos textiles

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme De Todas Las Actividades Económicas (CIIU), rev.4, 2009.*

*Tabla 1. 6 Clasificación de la industria textil (Continuación)*

CLASIFICACION	CODIGO	DESCRIPCION
Agrupación	139	Fabricación de otros productos textiles
Grupos	1391	Fabricación de tejidos de punto y ganchillo
	1392	Fabricación de artículos confeccionados de materiales textiles, excepto prendas de vestir
	1393	Fabricación de tapices y alfombras
	1394	Fabricación de cuerdas, cordeles, bramantes y redes
	1395	Fabricación de otros productos textiles n.c.p

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme De Todas Las Actividades Económicas (CIIU), rev.4, 2009.*

## **1.6. DESCRIPCION DEL PROCESO INDUSTRIAL TEXTIL (EPA OFFICE OF COMPLIANCE SECTOR NOTEBOOK PROJECT: PROFILE OF THE TEXTILE INDUSTRY, 1997)**

La industria textil incluye múltiples procesos y actividades. Muchas instalaciones solo realizan una parte de las 4 operaciones mayores de la industria textil (Véase figura 1.5) y puede que utilicen solo un tipo de materia prima. Las cuatro operaciones son: la formación del hilo, formación del tejido, proceso húmedo y fabricación del producto.

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LADOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR

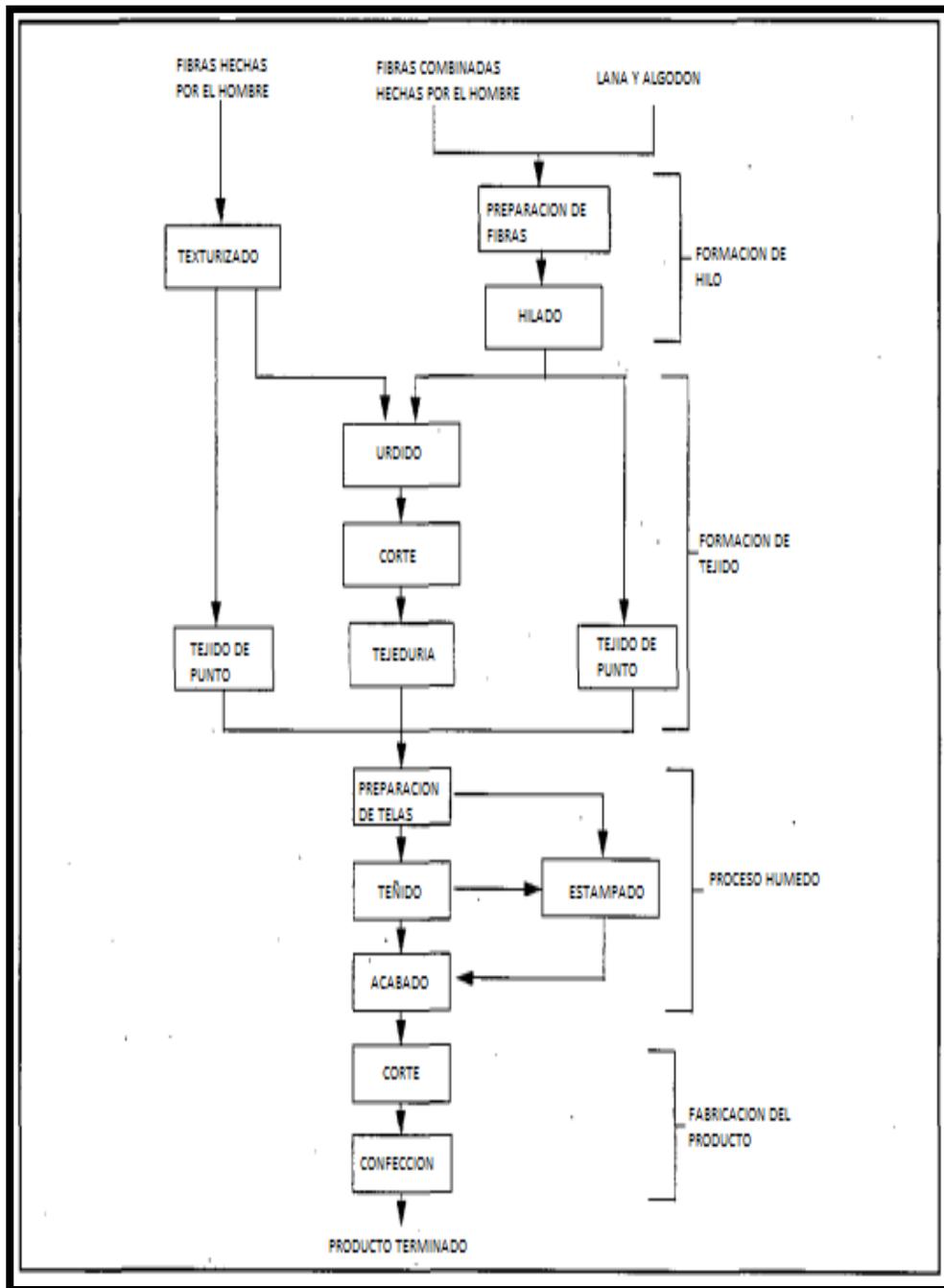


Figura 1. 5 Esquema del proceso de producción de la industria textil. (Fuente: EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the Textile Industry, 1997).

### **1.6.1. MATERIAS PRIMAS**

Dentro de las materias primas se pueden definir las fibras naturales y las que han sido creadas por el hombre, las cuales se detallan a continuación.

#### **1.6.1.1. FIBRAS NATURALES (QUIMINET, 2016)**

Estas fibras pueden ser obtenidas de una fuente 1) vegetal, tales como algodón y lino; 2) animal, tales como la lana que es adquirida de diferentes animales como las ovejas, cabras y llamas, y la seda obtenidas de un filamento proteico producido por el gusano de la seda. La mayoría de estas fibras se utiliza en telas textiles, aunque las fibras vegetales como tales se utilizan también para sogas.

#### **1.6.1.1. FIBRAS CREADAS POR EL HOMBRE**

A pesar de no estar clasificada bajo la Standard Interpretations Committee (SIC), la producción de las fibras creadas por el hombre incluye: 1) fibras celulósicas, tales como seda artificial y acetato, las cuales son fabricadas reaccionando químicos con la pulpa de madera; y 2) fibras sintéticas, tales como el polyester y nylon, las cual son sintetizadas de compuestos químicos orgánicos. (EPA Industrial Sector Notebook on Plastic Resins and Manmade Fibers, 1994).

### **1.6.2. PREPARACION DE LAS FIBRAS**

La formación del hilado se puede realizar una vez que las fibras textiles sean uniformes y tengan superficie cohesiva. Para lograr esto, las fibras naturales primero deben ser limpiadas para remover impurezas y luego se someten a una serie de pasos de cepillado y dibujado usados para procesar lana y algodón. A continuación de describirán los pasos principales usados para el algodón y la lana. A pesar de que el equipo usado para el algodón es diseñado de alguna manera diferente al usado con lana, la maquinaria opera esencialmente de la misma manera.

#### 1.6.2.1. FORMACION DEL HILO

Las fibras textiles son convertidas en hilos por medio de operaciones de torsión para enlazarlas. A pesar de que la mayoría de fibras son procesadas usando operaciones de hilado, los procesos de hilado variaran dependiendo si las fibras son naturales o sintéticas. Las fibras naturales tales como lana o algodón deben atravesar una serie de preparaciones antes de poder formar hilos.

#### 1.6.2.2. HILADO

Los hilados están compuestos de un solapamiento de fibras que están ligadas por medio del giro que se les da para formar el hilo. El hilo es primeramente alimentado por unos rodillos, los cuales pueden alargarlo y estirarlo a un más. Luego es alimentado a un huso de alta velocidad por medio de una guía de hilo que viaja hacia arriba y abajo del huso, la velocidad de este determina la cantidad de giros que se le dará al hilo, luego el hilo es recolectado en una bobina.

#### 1.6.2.3. TEXTURIZACION

Las fibras hechas por el hombre son usualmente texturizadas usando tratamientos químicos o mecánicos para impartir características similares a los hilos hechos de fibras naturales.

### **1.6.3. FORMACION DEL TEJIDO**

#### 1.6.3.1. URDIDO

La urdimbre es el conjunto de los hilos ordenados, plegados en forma paralela, con una longitud preestablecida. Posee además los elementos auxiliares que permiten que se conserve este orden de los hilos en las operaciones. Los parámetros que detallan a esta urdimbre son: el número de hilos, la longitud de los mismos, el colorido que forman, el ancho de la misma.

### 1.6.3.2. TEJEDURIA

Es realizada en telares modernos, los cuales contienen partes similares y realizan operaciones similares a las de los telares simples operados a mano. Los tejidos son formados por el entrelazamiento (Véase figura 1.6) de conjuntos de hilos orientados transversalmente.

#### 1.6.1.1. TEJIDO DE PUNTO

Los tejidos de punto deben ser construidos por el uso de agujas de enganche que entrelaza uno o más conjuntos de hilos a través de diferentes telares. Los telares pueden ser flojos o estar contruidos cercanamente, dependiendo del propósito de tejido. Los tejidos de punto pueden ser usados para calcetería, ropa interior, suéteres, pantalones, trajes, alfombras, y otros mobiliarios de hogar.

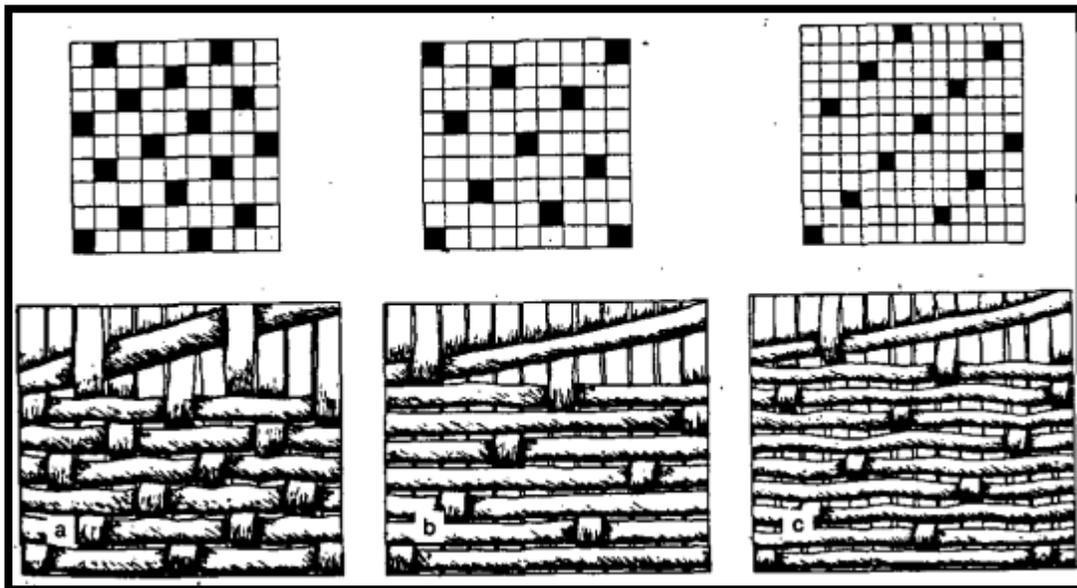


Figura 1. 6 Ejemplos de tejidos. (Fuente: B.P. Corbman, *Textiles: Fiber to Fabric*; Mcgraw-Hill, Inc., 1975)

## **1.6.2. PROCESO HUMEDO**

### **1.6.2.1. PREPARACION**

La mayoría de tejidos son teñidos o estampados, con la excepción de la mezclilla y ciertos estilos de tejidos de punto. La preparación, también conocida como pretratamiento, consiste en una serie de varios tratamientos y pasos críticos para obtener un buen resultado en posteriores procesos textiles de acabado. En la preparación el molino remueve impurezas naturales o químicos que puedan interferir con el teñido, estampado y acabado. Los tratamientos incluyen procesos como el desencolado, fregado y blanqueo.

### **1.6.2.2. TEÑIDO**

Las operaciones de teñido son utilizadas en varias etapas de la producción para agregar color y complejidad a los productos para incrementar el valor. Los teñidos usados en la industria textil son en su mayoría sintéticos, típicamente derivador del alquitrán de hulla y tinturas a base de petróleo.

### **1.6.2.3. ESTAMPADO**

Los tejidos son regularmente estampados con colores o patrones usando una variedad de técnicas y tipos de máquinas. De las técnicas más comunes es el de la pantalla rotatoria. Sin embargo, otros métodos con el directo, de descarga, de resistencia, de pantalla plana, y de rodillos de impresión son muy utilizados comercialmente. Las resinas aglutinantes son típicas en la industria para fijar los pigmentos a los tejidos.

### **1.6.2.4. ACABADO**

Este proceso engloba tratamientos químicos y mecánicos realizados sobre las fibras, hilos, o tejidos para mejorar la apariencia, textura y funcionamiento. Acabado mecánico puede incluir cepillado, planchado u otros tratamientos físicos usados para incrementar el lustre y tacto de las telas. La aplicación de acabados químicos a las telas puede

impartir una gran variedad de propiedades desde disminuir la carga estática hasta incrementar la resistencia al fuego.

### **1.6.3. FABRICACION DEL PRODUCTO**

Acabado de la ropa es producido en una gran variedad de prendas de vestir, de hogar y productos industriales. Los productos más simples son, bolsas, ropa de cama, toallas, mantas y pañales.

#### **1.6.3.1. CORTE Y CONFECCION DEL PRODUCTO**

Antes de los cortes, las telas deben ser cuidadosamente marcadas. La exactitud en el corte de las telas en capas es importante ya que cualquier defecto creado en este punto puede ser acarreado a través de todas las operaciones hasta el producto final.

## **1.7. DESCRIPCION DE LA GENERACION DE AGUAS RESIDUALES**

Dentro del rubro algodonero la mayor contaminación orgánica se concentra en las operaciones de desacolado y descruce, y es menor en los procesos de teñido y estampado, mientras que la contaminación inorgánica proviene del lavado con sales de sodio, mercerizado, blanqueo y teñido. Los efluentes de esta manufactura suelen ser alcalinos, coloreados y con una DBO (CEPIS, 1995) comprendida entre los 300 y 1000 mg/l. Los principales contaminantes son: almidones y glucosa, ceras, pectinas, agentes humectantes, auxiliares, sulfuros, sulfitos, ácido acético, detergentes, hipoclorito, agentes reductores y colorantes no biodegradables. Los efluentes del acabado del algodón contienen fibras finas que ocasionan obstrucciones, diversos problemas mecánicos y de contaminación.

En la industria de la lana el volumen de los efluentes líquidos depende considerablemente de las características del programa de teñido y de los métodos de enjuague utilizados. Dejando de lado los efluentes del lavado de lana cruda, los desechos más perjudiciales se producen en el lavado posterior al batanado, ya que no sólo contienen detergentes y soda cáustica, sino también aceites del cardado. Estos productos deben eliminarse completamente de la fibra y para ello se utilizan otros productos químicos que aumentan la carga contaminante total.

El pH de los efluentes combinados de los procesos húmedos de una fábrica lanera suele ser ligeramente ácido. Algunas de las características encontradas para los efluentes provenientes del proceso lanero se muestran en la tabla 1.7.

*Tabla 1. 7 Características de aguas residuales de procesos textiles de lana*

Proceso	L agua/ kg lana	DBO mg/l	DQO mg/l	Sól. En suspensión mg/l	Sól. Disueltos mg/l	Grasas ml/l	pH
LAVADO	10-40	5000-25000	10000-45000	12500*	6600*	4000*	8-9
BATANADO	5-20	4000- 24000	6000- 43000	11000*	2800*	3300*	9-12
CARBONIZADO	30-80	200- 500	200-700	750*	1500-3000	-	3-10
TINTURA	10-20	200- 400	500-5000	-	-	-	6-8

*Fuente: CEPIS (1995)*

Las aguas tratadas provenientes del teñido de algodón presentan contenido de DBO medio, relación DQO/DBO >2 (poco biodegradable), alta coloración, levemente alcalino y presencia de sólidos disueltos (véase tabla 1.8).

*Tabla 1. 8 Propiedades químicas de aguas residuales de textileras de algodón*

PARAMETROS	VALORES
Color (DHE)	5-50
pH	6.89-10.7
DBO	(52-240) mg/l
DQO	(84-663) mg/l
Fenoles	(0.03- 0.056) mg/l

*Fuente: CEPIS (1995)*

### **1.7.1. CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL (BOLAÑOS, 2010)**

En la industria textil caracterizar el agua de una forma general no es una tarea sencilla debido a la gran diversidad de procesos que involucra. La variabilidad de productos químicos y colorantes que se emplean en esta industria complica el poder establecer un solo procedimiento para el tratamiento del agua residual. En la figura 1.7 se muestra un diagrama de tratamiento de aguas residuales poco complejo y efectivo que puede ser utilizado en diferentes tipos de industrias.

### **1.7.2. CARACTERISTICAS FISICAS (METCALF & EDDY, 1996)**

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

#### **1.7.2.1. SOLIDOS TOTALES**

Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

#### **1.7.2.2. OLORES**

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o

compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento. La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales. En la Tabla 1.9 se muestran algunas sustancias y sus olores característicos.

*Tabla 1. 9 Algunos compuestos y su olor característico*

<b>COMPUESTOS OLOSOSOS</b>	<b>CALIDAD DEL OLOR</b>
Aminas	Pescado
Amoniaco	Amoniacal
Diaminas	Carne descompuesta
Sulfuro de Hidrógeno	Huevos podridos
Mercaptanos (metilos, etilo, etc.)	Coles descompuestos
Mercaptanos (butilo, crotilo)	Mofeta
Sulfuros orgánicos	Coles podridas
Eskatol	Materia fecal

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

Para la completa caracterización de un olor, se sugieren cuatro factores independientes (Ver tabla 1.10): la intensidad, el carácter, la sensación de desagrado y la detectabilidad. No obstante, hasta hoy en día, el único factor que se ha tenido en cuenta en el desarrollo de normativas reguladoras de malos olores ha sido la detectabilidad. Los olores pueden medirse con métodos sensoriales, mientras que las concentraciones de olores específicos pueden determinarse con métodos instrumentales.

*Tabla 1. 10 Factores para la caracterización de olores*

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>
Carácter	Se refiere a asociaciones mentales hechas por el sujeto al percibir el olor. La determinación puede resultar muy objetiva.
Detectabilidad	El número de diluciones requerido para reducir un olor a su concentración de olor umbral mínimo detectable.
Sensación	La sensación de agrado o desagrado relativo del olor sentido por un sujeto.
Intensidad	La fuerza en la percepción de olor, se suele medir con un olfatómetro de butanol o se calcula según el número de diluciones hasta el umbral de detección cuando la relación es conocida.

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

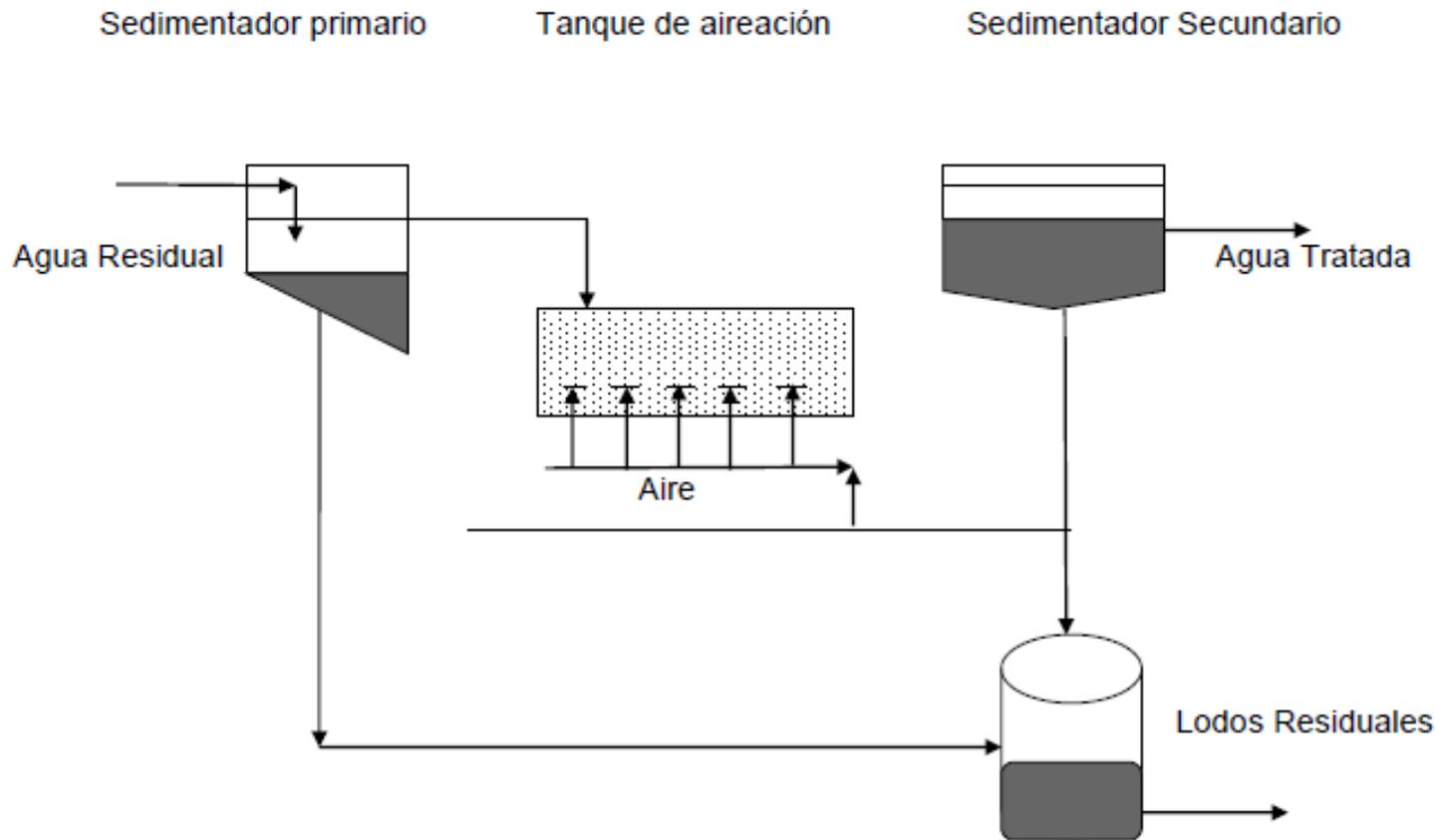


Figura 1. 7 Diagrama de proceso de aguas residuales. Elaboración propia

### 1.7.2.3. TEMPERATURA

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales.

Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. Dependiendo de la situación y la época del año, las temperaturas del efluente pueden situarse por encima o por debajo de las del afluente.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. Por ejemplo, el aumento de la temperatura del agua puede provocar cambios en las especies piscícolas. También es importante para industrias que emplean el agua para refrigeración, por ejemplo, donde es fundamental la temperatura de captación del agua.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

#### 1.7.2.4. DENSIDAD

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en  $\text{kg/m}^3$ . Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en lodos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual.

#### 1.7.2.5. COLOR

Históricamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

#### 1.7.2.6. TURBIEDAD

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La

medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión. Aun así, no es posible afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de un agua no tratada. No obstante, sí están razonablemente ligados la turbiedad y los sólidos en suspensión en el caso de efluentes procedentes la decantación secundaria en el proceso de lodos activados.

### **1.7.3. CARACTERISTICAS DE TIPO QUIMICAS (BOLAÑOS, 2010)**

Son de carácter más específico y son más útiles para evaluar las propiedades de una muestra.

#### **1.7.3.1. ALCALINIDAD**

Se debe a la presencia de carbonatos  $\text{CO}_3^{=}$ , bicarbonatos  $\text{HCO}_3^-$ , o hidróxido  $\text{OH}^-$ . El abastecimiento de agua en muchos casos se hace a través de la explotación de aguas subterráneas por medio de pozos, la cual ya trae una alcalinidad natural a causa del bicarbonato producto de la acción del agua subterránea en piedra caliza o yeso. Dentro del proceso productivo es necesario que el agua no exceda de ciertos valores de bicarbonato de sodio ya que estos pueden reaccionar con ciertos colorantes formando complejos metálicos causando problemas en la tintura, para evitar este problema se requiere el uso de secuestrantes metálicos. La alcalinidad es útil en el agua natural y en las aguas residuales ya que proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios de pH.

#### 1.7.3.2. ACIDEZ

Se produce debido a la gran cantidad de desechos industriales es probable encontrarse con algún tipo de acidez mineral por debajo de 4.5 unidades de pH.

#### 1.7.3.3. DUREZA

Se produce debido a la presencia de iones metálicos de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  y es el causante de la mayor parte de las incrustaciones en los sistemas de calentamiento y enfriamiento; para reutilizarla requerimos que el valor de dureza sea lo más bajo posible entre 50 y 60 ppm de  $\text{CaCO}_3$ .

#### 1.7.3.4. DEMANDA DE OXIGENO

Los compuestos orgánicos pueden oxidar de forma química o biológica para obtener productos finales más estables relativamente inertes tales como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . La indicación del contenido orgánico de un desecho se obtiene al medir la cantidad de oxígeno que se requiere para su estabilización.

- DBO: es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para que puedan descomponer la materia orgánica.
- DQO: es la cantidad de oxígeno necesaria para producir la oxidación química fuerte de sustancias de origen inorgánico y orgánico presentes en el agua.

#### **1.7.4. CARACTERISTICAS DE TIPO BIOLÓGICAS**

Estas dependerán de la carga orgánica y las cantidades de microorganismos presentes en el agua y se requiere una evaluación previa para no introducir esta carga al proceso productivo.

#### 1.7.4.1. ORGANISMOS PATOGENOS

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales, según Metcalf (1996), pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son, las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera. Debido al carácter infeccioso de estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales.

### **1.8. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

El tratamiento de aguas residuales es una serie de operaciones físicas, químicas y biológicas que remueven el material suspendido, coloidal o disuelto. Para el tratamiento de aguas residuales es necesario conocer los límites de descarga en los efluentes; estos varían según las normativas impuestas por cada país. Según Bolaños (2010), se utilizan diferentes tipos de tratamiento entre los cuales se tienen los preliminares, los cuales consisten en la eliminación de residuos fácilmente separables, seguido de los tratamientos primarios utilizados para la eliminación de los sólidos en suspensión y materiales flotantes. Posteriormente se utilizan los denominados tratamientos secundarios que comprenden procesos biológicos aerobios y anaerobios y fisicoquímicos como la floculación, para reducir en su mayor parte la DBO y DQO. Y por último podemos mencionar el tratamiento terciario que nos lleva a la reutilización del agua.

Hay tres tipos de procesos de tratamiento: procesos físicos, dependen de las propiedades físicas de las impurezas como lo es el peso específico, tamaño de partícula, viscosidad, entre otros; procesos químicos, dependen de las propiedades

químicas de una impureza; procesos biológicos, utilizan reacciones bioquímicas para quitar impurezas solubles o coloidales; los procesos biológicos aerobios incluyen el filtrado biológico y lodos activados.

## **1.9. GENERALIDADES DE LOS LODOS**

Según el Reglamento Especial de Aguas Residuales y Lodos (2011) se define por lodo a todo aquel residuo o desecho sólido, semi-sólido, provenientes de sistemas de tratamiento, de alcantarillado sanitario y plantas potabilizadoras; así como los lodos de procesos industriales, agroindustriales o de actividades especiales. Se entenderá como sinónimo el término “Fango”.

### **1.9.1. CLASIFICACION DE LODOS (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, 2014)**

Según el Anteproyecto de Reglamento especial de aguas residuales y lodos (2014) los lodos se clasifican:

- Por su Origen en: Tipo Ordinario o Tipo Especial (Peligrosos y No Peligrosos).
- Por su Naturaleza o Composición en: Orgánicos hidrófilos, minerales hidrófilos, minerales hidrófobos, aceitosos, fibrosos.
- Por su Calidad los lodos pueden ser clasificados como: a) Excelentes, b) Buenos y c) Deficiente, estableciéndose esta clasificación de acuerdo al cumplimiento de los valores máximos permisibles de los parámetros. Un lodo Excelente, es aquel que presenta valores por debajo del límite mínimo establecido, siendo categorizado en Clase 1; es Bueno, cuando los valores se encuentran entre el rango mínimo y máximo establecidos, siendo categorizado en Clase 2 y, es Peligroso, cuando supera en uno más los límites máximos de los parámetros establecidos, se categoriza en la Clase 3, lo cuales estarán regulados en el Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos.

### 1.9.2. GENERACION Y MANEJO DE LODOS

En el proceso de purificar las aguas residuales se genera otro problema: el lodo. Mientras mayor sea el grado de tratamiento se producirá un residuo mayor de lodo. Es entonces que la operación individual de disposición del lodo puede llegar a compleja e incurrir un costo elevado.

El lodo residual está conformado por todos aquellos materiales que entran en el agua residual sin tratar y todos aquellos sólidos que se generan mediante el tratamiento de estas aguas.

Los constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamientos incluyen basuras, arena, espumas y lodo. El lodo producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales suele ser un líquido o líquido semisólido con un contenido en sólidos, dependiendo de las operaciones y procesos de tratamiento, variable entre 0.25 y el 12 por 100 en peso según Metcalf (1996). De los constituyentes eliminados en el tratamiento, el lodo, es, con diferencia, el de mayor volumen y su tratamiento y evacuaciones es, quizás, el problema más complejo que se enfrenta.

Los problemas derivados del manejo de los lodos son complejos debido a que:

- a. El lodo está formado, principalmente, por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas.
- b. La fracción del lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente por la materia orgánica presente en aquella, aunque en forma diferente a la original, que también está sujeta a procesos de descomposición que la pueden hacer indeseables.
- c. Solo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida.

Los principales métodos empleados para el tratamiento y evacuación del lodo se indican en la Tablas 1.11 y 1.12. El espesamiento (concentración), acondicionamiento, deshidratación y secado del lodo, se utilizan para eliminar la humedad del mismo; la digestión, compostaje, incineración, oxidación con aire húmedo y los reactores de tubo vertical, se utilizan principalmente para tratar o estabilizar la materia orgánica contenida en el lodo.

*Tabla 1. 11 Métodos de tratamiento y evacuación de lodos*

<b>OPERACION UNITARIA, PROCESO UNITARIO O METODO DE TRATAMIENTO.</b>	<b>FUNCION</b>
<b>Operaciones de pretratamiento</b>	
Dilaceración	Reducción de tamaño
Desarenado	Eliminación de arenas
Mezclado	Mezclado
Almacenamiento	Almacenamiento
<b>Espesamiento</b>	
Por gravedad	Reducción de volumen
Por flotación	Reducción de volumen
Por centrifugación	Reducción de volumen
Por gravedad en filtros banda	Reducción de volumen
En tambor rotativo	Reducción de volumen
<b>Estabilización</b>	
Estabilización con cal	Estabilización
Tratamiento térmico	Estabilización
Digestión anaeróbica	Estabilización, reducción de masa
Digestión aerobia	Estabilización, reducción de masa
Compostaje	Estabilización, recuperación de productos
<b>Acondicionamiento</b>	
Acondicionamiento químico	Acondicionamiento del lodo
Tratamiento térmico	Acondicionamiento del lodo
<b>Desinfección</b>	
Pasteurización	Desinfección
Almacenamiento a largo plazo	Desinfección

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LODOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR**

*Tabla 1. 12 Métodos de tratamiento y evacuación de lodos (continuación)*

<b>OPERACION UNITARIA, PROCESO UNITARIO O METODO DE TRATAMIENTO.</b>	<b>FUNCION</b>
<b>Deshidratación</b>	
Filtro de vacío	Reducción de volumen
Centrifuga	Reducción de volumen
Filtro banda	Reducción de volumen
Filtro prensa	Reducción de volumen
Eras de secado	Reducción de volumen
Lagunaje	Almacenamiento, reducción de volumen
<b>Secado</b>	
Por pulverización	Reducción de peso, reducción de volumen
En horno rotativo	Reducción de peso, reducción de volumen
En horno de pisos múltiples	Reducción de peso, reducción de volumen
Evaporación de efecto múltiple	Reducción de peso, reducción de volumen
<b>Reducción térmica</b>	
Horno de pisos múltiples	Reducción de volumen, recuperación de energía
Horno de lecho fluidificado	Reducción de volumen
Incineración conjunta con residuos solidos	Reducción de volumen
Oxidación por vía húmeda	Estabilización, Reducción de volumen
Reactor vertical de pozo profundo	Estabilización, Reducción de volumen
<b>Evacuación final</b>	
Aplicación al terreno	Evacuación final
Distribución y comercialización	Usos beneficiosos
Fijación química	Usos beneficiosos, evacuación final
A vertedero	Evacuación final
Lagunaje	Reducción de volumen

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

### 1.7.3 PROCEDENCIA, CANTIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL LODO

Es necesario conocer la procedencia, cantidad y características de los sólidos y de los lodos a tratar para proyectarse lo mejor posible las instalaciones y evacuación del lodo.

#### 1.7.3.1 PROCEDENCIA

La procedencia de los sólidos producidos en las plantas de tratamiento varía en función del tipo de planta y del método de explotación. Las principales fuentes de sólidos y lodos y los tipos de sólidos y lodos generados, se indican en la Tabla 1.13 y 1.14.

*Tabla 1. 13 Procedencia de sólidos y lodo en una instalación convencional de tratamiento de aguas residuales*

OPERACION O PROCESO UNITARIO	TIPO DE SOLIDO O LODO	OBSERVACIONES
<b>DESBASTE</b>	Solidos gruesos	Los sólidos gruesos se eliminan mediante rejillas de limpieza mecánica y manual. En plantas de pequeñas dimensiones, las basuras se suelen triturar para su eliminación en los subsiguientes procesos de tratamiento.
<b>DESARENADO</b>	Arenas y espumas	A menudo no se incluyen instalaciones de eliminación de espumas en la eliminación de arenas.
<b>PRE AIREACION</b>	Arenas y espumas	En algunas plantas, no se incluyen instalaciones de eliminación de espuma en los tanques de pre aireación. Caso de que estos tanques no vayan precedidos de instalaciones para la eliminación de arenas, se pueden producir depósitos de arenas.
<b>DECANTACION PRIMARIA</b>	Lodo primario y espumas	Las cantidades tanto de lodo como de espuma dependen del tipo de red de alcantarillado y de la existencia de vertidos industriales.

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

*Tabla 1. 14 Procedencia de sólidos y lodo en una instalación convencional de tratamiento de aguas residuales (Continuación)*

<b>OPERACION O PROCESO UNITARIO</b>	<b>TIPO DE SOLIDO O LODO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>TANQUES DE AIREACIÓN</b>	Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos se producen por conversión de la DBO. Puede ser necesario incorporar alguna forma de espesamiento para concretar el caudal de lodo para el tratamiento biológico.
<b>SEDIMENTACION SECUNDARIA</b>	Lodo secundario y espumas	En la actualidad, según la EPA, es obligatoria la instalación de un sistema de eliminación de espumas en los tanques de sedimentación secundarios.
<b>INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE LODOS</b>	Lodos. Compostaje y cenizas.	Las características del producto final dependen de las del lodo tratado y de las operaciones y procesos utilizados. Las normas que regulan la evacuación de corrientes residuales son cada vez más exigentes.

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

Los procesos que se emplean para el espesado, digestión, acondicionamiento y deshidratación del lodo generado en los tanques de sedimentación primarios y secundarios, también constituyen fuentes generadoras de lodo.

### 1.7.3.2 CARACTERÍSTICAS

Para tratar y evacuar el lodo generado en las plantas de tratamiento de la manera más eficiente posible, es importante conocer las características de los sólidos y del lodo que se va a procesar. Las características varían en función del origen de los sólidos y del lodo, de la edad del lodo y del tipo de procesos a que han sido sometidos. En las Tablas 1.15, 1.16 y 1.17, se presentan algunas de las características físicas que presentan los lodos.

*Tabla 1. 15 Características del lodo producido durante el tratamiento del agua residual*

<b>SOLIDO O LODO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>RESIDUOS DEL DESBASTE</b>	Las basuras incluyen todo tipo de materiales orgánicos e inorgánicos de tamaño suficientemente grande para ser eliminados por las rejillas de barras. El contenido de materia orgánica varía dependiendo de la naturaleza del sistema y de la estación del año.
<b>ARENA</b>	Las arenas están constituidas, normalmente, por los sólidos inorgánicos más pesados que sedimentan con velocidades relativamente altas. Dependiendo de las condiciones de funcionamiento, la arena puede también contener cantidades significativas de materia orgánica, especialmente aceites y grasas.
<b>ESPUMAS/ GRASAS</b>	La espuma está formada por los materiales flotantes recogidos en la superficie de los tanques de sedimentación primarios y secundarios. Pueden incluir grasas, aceites minerales y vegetales, grasas animales, ceras, jabones, residuos alimenticios, pieles de hortalizas, cabellos, papel y algodón, colillas de cigarrillos, materiales de plástico, preservativos de goma, partículas de arena y materiales similares. El peso específico de la espuma es menor que 1.0, generalmente alrededor de 0.95.
<b>LODO PRIMARIO</b>	El lodo de los tanques de decantación primaria es generalmente gris y grasiento y, en la mayoría de los casos produce un olor extremadamente molesto. Puede digerirse fácilmente si se adoptan condiciones adecuadas de funcionamiento.

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

*Tabla 1. 16 Características del lodo producido durante el tratamiento del agua residual (continuación)*

<b>SOLIDO O LODO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>LODO DE PRECIPITACION QUÍMICA</b>	El lodo procedente de los tanques de precipitación química con sales metálicas es generalmente color oscuro, aunque su superficie puede ser roja si contiene mucho hierro. El lodo con cal es gris marronoso. El olor del lodo químico puede ser molesto, pero no tanto como el del lodo de decantación primaria. Aunque es algo grasiento, los hidratos de hierro o aluminio contenidos en él lo hacen gelatinoso. Si se deja suficiente tiempo en el tanque se produce su descomposición, como en el caso del lodo de decantación primaria, pero a una velocidad menor. Produce gas en cantidades sustanciales y su densidad aumenta con el tiempo.
<b>LODO ACTIVADO</b>	El lodo activado tiene, generalmente, una apariencia floculenta de color marrón. Si el color es muy oscuro puede estar próximo a volverse séptico. Si el color es más claro de lo normal, puede haber estado aireado insuficientemente y los sólidos tienen tendencia a sedimentar lentamente. El lodo en buenas condiciones tiene un característico olor a tierra que no es molesto. Tiende a convertirse en séptico con bastante rapidez y luego adquiere un olor bastante desagradable de putrefacción. Se digiere solo o con lodos primarios frescos.
<b>LODOS DE FILTROS PERCOLADORES</b>	El humus de los filtros percoladores es pardusco, floculento y relativamente inodoro cuando está fresco. Generalmente, la descomposición se produce más lentamente que otros lodos crudos, pero cuando contiene muchos gusanos pueden convertirse rápidamente en molesto. Se digiere fácilmente

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

*Tabla 1. 17 Características del lodo producido durante el tratamiento del agua residual (continuación)*

<b>SOLIDO O LODO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>LODO DIGERIDO (AERÓBICO)</b>	El lodo digerido por vía aerobia varía de color marrón a marrón oscuro, y tiene apariencia floculenta. El olor de este tipo de lodo no es molesto: se suele clasificar como moho. El lodo aerobio bien digerido se deshidrata fácilmente en eras de secado.
<b>LODO DIGERIDO (ANAEROBIO)</b>	El lodo digerido por vía anaerobia es de color marrón oscuro-negro y contiene una cantidad excepcionalmente grande de gas. Cuando está totalmente digerido, no es molesto, siendo su olor relativamente débil y parecido al alquitrán caliente, goma quemada o lacre. Cuando se evacua a eras de secado en capas de poco espesor los sólidos son transportados, en primer lugar, a la superficie por la acción de los gases que contiene dejando en la parte inferior una lámina de agua relativamente clara, que se drena rápidamente, y permite que los sólidos sedimenten lentamente sobre el lecho. A medida que progresa el secado, los gases escapan dejando una superficie muy agrietada con un olor que recuerda el compost de jardín.
<b>LODO COMPOSTADO</b>	El lodo compostado suele ser marrón oscuro o negro, pero el color puede variar en el caso de que se utilicen en el proceso de materiales de soporte tales como compost reciclado o astilla de madera.
<b>LÍQUIDOS DE FOSAS SÉPTICAS</b>	El lodo de las fosas sépticas es negro. A menos que este bien digerido como consecuencia de un largo tiempo de almacenamiento, es molesto a causa del sulfuro de hidrogeno y otros gases que desprende.

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

### 1.7.3.3 COMPOSICIÓN GENERAL

En la Tabla 1.18 se incluyen algunos datos típicos de la composición química de los lodos crudos o digeridos. Muchos de los constituyentes químicos, incluidos los nutrientes, son de gran importancia a la hora de considerar la evacuación final del lodo tratado y del líquido extraído del lodo durante su tratamiento. Para el control del

proceso de digestión anaerobia del lodo, es importante llevar a cabo mediciones de pH, de la alcalinidad, y del contenido de ácidos orgánicos. En los casos en los que se considera la utilización de métodos de aplicación al terreno, o incineración, es necesario determinar el contenido de metales pesados, pesticidas e hidrocarburos. El contenido energético (térmico) del lodo es importante en aquellos casos en los que se considere el uso de procesos de reducción térmica tales como la incineración.

*Tabla 1. 18 Composición química general del lodo crudo y digerido*

CARACTERÍSTICAS	LODO PRIMARIO CRUDO		LODO PRIMARIO DIGERIDO		LODO ACTIVADO
	INTERVALO	VALOR TÍPICO	INTERVALO	VALOR TÍPICO	INTERVALO
Sólidos secos totales (ST), %	2.0-8.0	5.0	6.0-12.0	10.0	0.83-1.16
Sólidos volátiles(%ST)	6.0-8.0	65	30-60	40	59-88
Grasas y aceites (%ST)					
Soluble en éter	6-30	-	5-20	18	-
Extractable en éter	7-35	-	-	-	5-12
Proteínas (% de ST)	20-30	25	15-20	18	32-41
Nitrógeno ( N, % de ST)	1.5-4	2.5	1.6-6	3.0	2.4-5.0
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % de ST)	0.8-2.8	1.6	1.5-4.0	2.5	2.8-11.0
Potasio (K <sub>2</sub> O, % de ST)	0-1	0.4	0.0-3.0	1.0	0.5-0.7
Celulosa (%de ST)	8.0-15.0	10.0	8.0-15.0	10.0	-
Hierro (no como sulfuro)	2.0-4.0	2.5	3.0-8.0	4.0	-
Sílice ( SiO <sub>2</sub> , % de ST)	15.0-20.0	-	10.0-20.0	-	-
pH	5.0-8.0	6.0	6.5-7.5	7.0	6.5-8.0
Alcalinidad (Mg/l como CaCO <sub>3</sub> )	500-1500	600	2500-3500	3000	580-1100
Ácidos orgánicos (Mg/l como HAc)	200-2000	500	100-600	200	1100-1700
Poder calórico	23000-29000	25500	9000-13500	11500	18500-23000

Fuente: Metcalf & Eddy (1996)

#### 1.7.3.4 CONSTITUYENTES ESPECÍFICOS

Las características del lodo que afectan a su aptitud para la aplicación al terreno y usos beneficiosos incluyen el contenido en materia orgánica (normalmente medido como sólidos volátiles), nutrientes, patógenos, metales y compuestos orgánicos tóxicos. El valor del lodo como fertilizante se basa principalmente en su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, y se debería determinar en aquellos casos en los que el lodo se vaya a emplear como acondicionador de suelos. En la Tabla 1.19 se muestran los contenidos típicos en nutrientes comparados con los contenidos de los fertilizantes comerciales.

*Tabla 1. 19 Comparación entre los niveles de nutrientes de los fertilizantes comerciales y el lodo de agua residual*

APLICACIONES	NUTRIENTES (%)		
	NITROGENO	FOSFOROS	POTASIO
Fertilizantes para usos agrícolas típicos	5	10	10
Valores típicos para lodos de agua residual estabilizados	3.3	2.3	0.3

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

Los elementos de trazas contenidos en el lodo son aquellos compuestos químicos inorgánicos que, en pequeñas cantidades, pueden ser esenciales o perjudiciales, tanto para plantas como para animales. El término metales pesados se utiliza para hacer referencia a varios de los elementos de trazas presentes en el lodo. Las concentraciones de estos metales pesados pueden variar ampliamente como se muestra en la Tabla 1.20. La concentración de estos metales pesados puede limitar la tasa de aplicación del lodo al terreno y la vida útil del terreno de aplicación.

*Tabla 1. 20 Contenido típico de metales en el lodo de agua residual*

METALES	LODO SECO (mg/Kg)	
	INTERVALO	MEDIANA
Arsénico	1.1-230	10
Cadmio	1-3410	10
Cromo	10-99000	500
Cobalto	1.3- 2490	30
Cobre	84- 17000	800
Hierro	1000-154000	17000
Plomo	13-26000	500
Manganeso	32-9870	260
Mercurio	0.6-56	6
Molibdeno	0.1-214	4
Níquel	2- 5300	80
Selenio	1.7- 17.2	5
Estaño	2.6- 329	14
Cinc	101- 49000	1700

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

#### 1.7.3.5 CANTIDAD

En la Tabla 1.21 se aportan datos acerca de la producción de lodos en diferentes procesos y operaciones de tratamiento. En la Tabla 1.22 y 1.23 se indican las concentraciones asociadas a los lodos producidos en las diversas operaciones y procesos, aunque estos valores pueden variar ampliamente.

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LODOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR**

*Tabla 1. 21 Datos típicos sobre las características físicas y las cantidades de lodo producido en diversos procesos de tratamientos de aguas residuales*

PROCESOS DE TRATAMIENTO	PESO ESPECÍFICO DE LOS SÓLIDOS DEL LODO	PESO ESPECÍFICO DEL LODO	SÓLIDOS SECOS (Kg/ 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	
			INTERVALO	VALOR TÍPICO
Decantación primaria	1.4	1.02	110-170	150
Lodo activado (en exceso)	1.25	1.005	70-95	83
Filtros percoladores (en exceso)	1.45	1.025	60-95	70
Aireación prolongada( en exceso)	1.30	1.015	83-120	95
Laguna aireada (en exceso)	1.30	1.01	83-120	95
Filtración	1.20	1.005	12-25	18
Eliminación de algas	1.20	1.005	12-25	18
Adición de productos químicos a los clarificadores primarios para la eliminación del fosforo	-	-	-	-
Dosis baja de cal (350- 500 mg/l)	1.9	1.04	240-415	300
Dosis alta de cal ( 800- 1600 mg/l)	2.2	1.05	600- 1300	800
Nitrificación con cultivos en suspensión	-	-	-	-
Desnitrificación con cultivos en suspensión	1.20	1.005	12-30	18
Filtros de desbaste	1.28	1.02	-	-

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LODOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR**

*Tabla 1. 22 Concentraciones esperadas del lodo procedentes de diversas operaciones y procesos de tratamiento*

FUNCIONAMIENTO O APLICACIÓN DEL PROCESO	CONCENTRACIÓN DE SOLIDOS DEL LODO (% DE SOLIDOS SECOS)	
	INTERVALO	VALOR TÍPICO
Tanque de decantación primaria	-	-
Lodo primario	4.0-10.00	5.00
Lodo primario a ciclón	0.5- 3.0	1.5
Lodo primario y activado en exceso	3.0-8.0	4.0
Lodo primario y humus de filtros percoladores	3.0-8.0	4.0
Lodos primarios con adición de hierro para la eliminación de fosforo	0.5-3.0	2.0
Lodos primarios con adición de dosis bajas de cal para la eliminación de fosforo	2.0-8.0	4.0
Lodos primarios con adición de dosis altas de cal para la eliminación de fosforo	4-0-16.0	10
Espumas	3.0-10.0	5.0
Tanque de sedimentación secundaria	-	-
Lodo activado en exceso	-	-
Lodo activado en exceso, con decantación primaria	0.5-1.5	0.8
Lodo activado en exceso, sin decantación primaria	0.8-2.5	1.3
Lodo activado con oxígeno puro		
Lodo activado con oxígeno puro, con decantación primaria	1.3-3.0	2.0
Lodo activado con oxígeno puro, sin decantación primaria	1.4-4.0	2.5
Humus de filtro percolador	1.0-3.0	1.5
Lodo procedente de unidades de RBCs	1.0-3.0	1.5
Espesador por gravedad	-	-
Lodo primario únicamente	5.0-10.0	8.0
Primario y activado en exceso	2.0-8.0	4.0

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

*Tabla 1. 23 Concentraciones esperadas del lodo procedentes de diversas operaciones y procesos de tratamiento (continuación)*

FUNCIONAMIENTO O APLICACIÓN DEL PROCESO	CONCENTRACIÓN DE SOLIDOS DEL LODO (% DE SOLIDOS SECOS)	
	INTERVALO	VALOR TÍPICO
Primario y humus de filtro percolador	4.0-9.0	5.0
Espesador de flotación por aire disuelto	-	-
Únicamente lodo activado en exceso	-	-
Con adición de productos químicos	4.0-6.0	5.0
Sin adición de productos químicos	3.0-5.0	4.0
Espesador de centrifuga	-	-
Únicamente lodo activado	4.0-8.0	5.0
Espesador por gravedad en banda	-	-
Únicamente lodo activado en exceso con adición de productos químicos	3.0-6.0	5.0
Digestión aerobio	-	-
Lodo primario únicamente	5.0-10.0	7.0
Lodo primario y activado en exceso	2.5-7.0	3.5
Primario y humus de filtro percolador	3.0-8.0	4.0
Digestor aerobio	-	-
Lodo activado con exceso únicamente	2.5-7.0	3.5
Lodo activado en exceso y primario	1.5-4.0	2.5
Lodo primario únicamente	0.8-2.5	1.3

*Fuente: Metcalf & Eddy (1996)*

## **1.8. VARIACIONES DE LA PRODUCCIÓN DE LODO**

Se espera que la cantidad diaria de solidos que entra en una planta de tratamiento varíe dentro de un amplio intervalo de valores. Para asegurar que se dispone de suficiente capacidad para hacer frente a estas variaciones, en las instalaciones para el tratamiento y evacuación de lodo se debe tomar en cuenta:

- a. Las tasas medias y punta de operación de lodos
- b. La capacidad de almacenamiento potencial de las unidades de tratamiento de la planta.

En los tanques de aireación y de sedimentación se pueden almacenar, de forma temporal, cantidades limitadas de sólidos. La capacidad de almacenamiento se puede emplear para absorber las puntas de carga de corta duración.

En los casos en los que se emplean digestores de nivel variable, su gran capacidad de almacenamiento proporciona un efecto considerable de laminación de las puntas de carga de lodo digerido. En los sistemas de tratamiento de lodo en la que se utiliza digestión de lodos, el diseño se suele basar en la máxima carga mensual. En los casos en los que no se emplean digestores, el proceso de tratamiento de los lodos debe ser capaz de tratar los sólidos producidos en la semana máxima producción. Algunos componentes del sistema de tratamiento de lodos, tales como los bombeos o espesadores de lodo, pueden tener que ser diseñados basándose en las condiciones de máxima producción diaria. Las cantidades totales de lodo a tratar se determinan mediante una serie de balance de sólidos del proceso de tratamiento.

## **1.9. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS**

Según Davis & Masten (2005) los procesos básicos para tratar el lodo son cinco, y se describen a continuación:

- a. Espesado: separación de toda el agua posible por gravedad o flotación.
- b. Estabilización: conversión de los sólidos orgánicos a formas más refractarias o inertes para que se puedan manejar o usar como acondicionadores de suelo sin causar molestias ni riesgos a la salud, mediante procesos llamados digestión que son procesos de oxidación bioquímica.
- c. Acondicionamiento: tratamiento del lodo con reactivos o calor para que el agua se pueda separar con facilidad.
- d. Desaguado: Separar el agua sometiendo el lodo a vacío, presión o secado.

- e. Reducción: convertir los sólidos a una forma estable por oxidación en húmedo o incineración.

### **1.9.1. ESPESADO**

En esta etapa de tratamiento de lodos se pretende eliminar la mayor cantidad de agua que sea posible antes de llevar a cabo la etapa de desaguado o la digestión final del lodo. El espesado puede llevarse a cabo por cualquiera de los dos medios siguientes: flotación o espesado por gravedad.

El primero, el espesado por flotación, consiste en inyectar aire bajo presión en el lodo que puede oscilar entre 275 kPa y 550 kPa. Debido a la presión que se ejerce una cantidad grande de gas se disuelve en el lodo, cuando este pasa a un tanque abierto a presión atmosférica, gran parte de este gas sale de la solución en forma de pequeñas burbujas. Estas burbujas se fijan a partículas de sólidos del lodo y las hacen flotar a la superficie, es de esta manera que se forma una capa de lodo en la parte superior del tanque. Esta capa de lodo puede ser removida mediante otros mecanismos para seguir tratándola. Esta forma de espesado puede aumentar el contenido de sólidos desde 0.5 al 0.1% hasta 3 a 6% según Davis & Masten y puede ser muy efectiva si se usa en lodos activados.

El espesado por gravedad es de gran utilidad si se quieren tratar lodos primarios. Este proceso consiste en hacer llegar al lodo a un tanque muy parecido a un clarificador circular utilizados en sedimentación primaria y secundaria, luego se deja que los sólidos se asienten hasta el fondo, donde por medio de un mecanismo se hacen llevar a una tolva, de donde se retiran para dar un posterior tratamiento. Este tipo de tratamiento es más sencillo y poco costoso en términos económicos.

### **1.9.2. ESTABILIZACION**

Este tratamiento busca la descomposición bioquímica los sólidos orgánicos para que sean más estables, lo que quiere decir, menos olorosos y menos putrescibles, más fáciles de desaguar y reducir la masa del lodo. Según Davis & Masten se utilizan dos

procesos básicos de estabilización el de digestión anaeróbica donde se hace uso de tanques cerrados carentes de oxígeno y el de digestión aeróbica donde se inyecta aire al lodo.

### **1.9.3. ACONDICIONAMIENTO DE LODO**

En el acondicionamiento de lodo hay varios métodos disponibles y que facilitan la separación del líquido y los sólidos. Uno de los que se usan en forma generalizada es la adición de coagulantes como cloruro férrico, cal o polímeros orgánicos. También la ceniza del lodo incinerado puede ser utilizada como agente acondicionador. Los coagulantes químicos aglomeran los sólidos entre sí, permitiendo que se separen con más facilidad del agua. La utilización de polímeros orgánicos está siendo muy utilizada ya que son fáciles de manejar, requieren poco espacio de almacenamiento y son bastante efectivos. Otro método de acondicionamiento es someter al lodo a altas presiones y temperaturas lo que provoca que el agua aprisionada en los sólidos se libere mejorando así las características del desaguado.

### **1.9.4. DESAGUADO**

Hasta la época el método de desaguado más común ha sido la utilización de lechos de secado, muy utilizado en plantas pequeñas de tratamiento de aguas, por ser simples en su operación y mantenimiento.

Los lechos de secado de arena son el tipo más antiguo y de mayor uso. Para el diseño de estos lechos es necesario considerar la distribución de la tubería de drenaje, el espesor y tipo de capas de arena y grava y los materiales de construcción.

Cuando el espacio es limitado o las condiciones climáticas no permiten el uso de lechos de secado se pueden utilizar filtros de vacío de donde es posible obtener una torta del filtro que contiene los sólidos que se desean separar. El filtro prensa de banda continua son adecuados para muchos lodos mezclados normales. Una ventaja de este tipo de filtro es que no tienen problema de adhesión de los que a veces se presenta en los filtros rotatorios de vacío, además tienen menor consumo de energía.

### **1.9.5. REDUCCION**

Los lodos pueden ser utilizados como acondicionadores de suelo o dispuesto en un relleno sanitario más, sin embargo, si estas alternativas no están disponibles se puede recurrir a la incineración del lodo. Esta operación evapora por completo la humedad contenida en el lodo y quema los sólidos formando una ceniza estéril.

## **1.10. TRATAMIENTOS PARA LODOS**

Según la investigación de Salmerón (2012) las tecnologías de tratamiento para lodos residuales generados en las plantas de tratamiento se realizan utilizando alguno de los siguientes cuatro procesos:

### **1.10.1. DIGESTION ANAEROBIA**

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales. El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70 %) y dióxido de carbono (30 a 50 %), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70 %.

Por otro lado, la masa restante biodegrada por las bacterias puede utilizarse como abono para la fertilización de suelos así como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación.

### **1.10.2. DIGESTION AEROBIA**

Proceso de aireación prolongada (dotando al sistema de  $O_2$ ) para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia auto-oxidación, reduciendo así el material celular.

La digestión aerobia es un proceso mediante el cual los lodos provenientes del sedimentador primario o los lodos de los procesos aeróbicos de tratamiento, o una combinación de ellos son sometidos a aeración prolongada en un tanque separado y descubierto. En este punto es preciso advertir que no se debe confundir la digestión aeróbica, la cual se realiza en un tanque separado, con la aireación extensiva, la cual tiene lugar en el mismo tanque de aeración. El proceso de digestión aeróbica es generalmente utilizado para estabilizar el exceso de lodos provenientes de los lodos activados, o los lodos combinados producidos en plantas de tratamiento.

### **1.10.3. TRATAMIENTO QUIMICO**

Realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentación ácida. La cal es el reactivo que más se utiliza.

La estabilización con tratamiento químico alcalina con adición de cal presenta la ventaja de una inversión menos costosa y es más fácil de operar que los otros procesos. Sin embargo, este proceso tiene la gran desventaja de que los biosólidos producidos pueden regresar a su estado inestable si el pH cae después del tratamiento, lo que ocasiona el crecimiento de nuevos microorganismos.

Otros problemas son los olores y el costo de la cal o material alcalino, que además incrementa la masa de los biosólidos a disponer.

#### **1.10.4. INCINERACION**

Conduce a la combustión de materias orgánicas de los lodos, y es el proceso con el que se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas constituidas únicamente por materias minerales del lodo.

### **1.11.DISPOSICION FINAL DE LODOS**

Actualmente existen diferentes alternativas de manejo para dar un destino final seguro a los lodos resultantes de los procesos de tratamiento de aguas residuales. Según la calidad y el volumen de los lodos obtenidos, es posible optar por tratamientos finales en base a incineración, aplicación al terreno, disposición en mono rellenos y co-disposición en rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos. La aplicación de las alternativas tecnológicas disponibles para el tratamiento o destino final de los lodos debe ser acorde con los niveles de desarrollo y recursos disponibles en los diferentes países donde se aplique. A nivel mundial, durante varios años, el uso benéfico mediante la aplicación al terreno ha sido el método preferido para la disposición del lodo generado en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas. Esto debido a los nutrientes que poseen los lodos, que lo hace una excelente enmienda de suelo y, por consiguiente, su uso como fertilizante en la agricultura ha sido ampliamente difundido. Sin embargo, en el último tiempo, se ha generado una inquietud creciente acerca de los impactos a la salud que se asocian a la utilización de este método de tratamiento, lo que ha hecho que la co-disposición de lodos con residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios, se presente como una adecuada alternativa para la disposición de lodos (Blandon, 2010).

Según Blandón (2010) entre las alternativas adecuadas para la disposición final de lodos se tienen:

### **1.11.1. ENCAPSULAMIENTO**

El encapsulamiento es un proceso por medio del cual el residuo es incorporado dentro de un material que lo aísla del ambiente, sin que los componentes del residuo se fijen químicamente al material utilizado. Entre los materiales de encapsulamiento están el vidrio, el metal, el concreto y el plástico. El vidrio es inerte a la agresión de muchas sustancias químicas, pero es bastante frágil y el proceso de encapsulamiento requiere altas temperaturas. El metal, principalmente en forma de cilindros, es más práctico; sin embargo, se corroe fácilmente. El concreto armado ha sido utilizado para el encapsulamiento de residuos con Bifenilos Policlorados (PCBs) y otras sustancias orgánicas altamente tóxicas en casos donde no ha sido posible incinerarlos. El plástico, también utilizado como material de encapsulamiento, ha demostrado resultados positivos y mínimo incremento de volumen de los residuos a disponerse. Por ejemplo, se han desarrollado procesos en los cuales se solidifican los lodos mezclándolos con Cal, posteriormente se aglomeran con Polibutadieno y finalmente se les encapsula con Polietileno.

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

### **1.11.2. FIJACION QUIMICA O SOLIDIFICACION (FQS)**

La fijación química es un proceso a través del cual se detoxifica, inmoviliza, insolubiliza o se reduce la peligrosidad de un residuo. Se logra este efecto generalmente a través de una reacción química entre uno o más componentes del residuo y una matriz sólida. Se utiliza este proceso para tratar residuos peligrosos que se encuentran en forma líquida o en lodos para producir un sólido apto para su disposición en el suelo. Los sistemas más comunes de Fijación Química o Solidificación (FQS) involucran el uso de cemento solo, cemento con cenizas volátiles, cal con cenizas volátiles, y cemento con silicato de Sodio. El mecanismo químico de

fijación no es conocido del todo, sin embargo, existen indicaciones que, en el pH relativamente alcalino del cemento, los metales pesados se precipitan como hidróxidos insolubles, los que son inmovilizados dentro de la matriz sólida. El problema principal identificado con los sistemas de Fijación Química o Solidificación (FQS) es que son generalmente específicos para un residuo bajo determinadas condiciones. Es por esto que su aplicación debe estar precedida de pruebas piloto para determinar exactamente los parámetros de diseño. Así mismo, es importante tomar en cuenta que estos procesos requieren la adición de grandes cantidades de materiales solidificantes por lo cual el volumen del residuo se incrementa.

### **1.11.3. COBERTURA FINAL DE RELLENOS SANITARIOS**

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

### **1.11.4. INCORPORACION A RELLENO SANITARIO**

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

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

El lodo en muchos casos debe ser deshidratado mecánicamente después de su acondicionamiento con cal, cloruro de hierro o polímeros. La experiencia práctica, ha demostrado que para lodos con contenidos de materia seca sobre el 35 %, es posible realizar un efectivo proceso de mezclado con residuos sólidos urbanos (RSU) y la relación lodo residuos no es muy crítica. Este contenido de materia seca puede ser fácilmente alcanzado deshidratando previamente los lodos. El vertido de residuos se puede realizar de diferentes maneras; puede ser aplicado capa por capa y mezclarlo con posterioridad, o puede ser aplicado como un paquete premezclado en el relleno sanitario. Algunos autores sugieren que la estabilidad de un relleno sanitario decrece fuertemente si el lodo se dispone como una capa horizontal continua. La disposición de paquetes de lodo con basura, perpendiculares a la potencial línea de corte, mejora la estabilidad. La reducida información sobre aspectos geotécnicos de la co-disposición de lodos y residuos sólidos urbanos (RSU), destaca la importancia que tiene para esta alternativa de disposición final, la humedad, método de disposición, compactación alcanzada, resistencia al corte, deformabilidad y estabilidad de taludes, tanto para los lodos como para la mezcla de lodos y residuos sólidos urbanos (RSU). En general, se consideran proporciones bajas de biosólidos respecto de estos residuos y no se han establecido criterios geotécnicos para la relación entre la humedad de disposición y la resistencia al corte o la estabilidad.

### **1.11.5. USOS ALTERNATIVOS DE LOS LODOS**

Existen una gran variedad de usos alternativos que se le pueden dar a los Lodos, según Blandón (2010) algunos de estos usos son:

#### **1.11.5.1. AGRICOLA Y FORESTAL**

Los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales constituyen una fuente de materia orgánica alternativa a otros insumos orgánicos utilizados tradicionalmente como abonos. La materia orgánica de un suelo es el componente más global que contribuye significativamente a mantener su capacidad productiva; influye en características físicas tales como porosidad, estado de agregación de las partículas, densidad aparente, etc., y proporciona una reserva estable de nutrientes para las plantas y organismos en el medio edáfico, modificando ciertas propiedades químicas de éste durante su mineralización. Los suelos agrícolas y forestales sufren un desequilibrio en el mantenimiento de niveles estables de materia orgánica (MO) debido a diversas razones (excesivo laboreo, producción intensiva, uso de fitosanitarios, deforestaciones irracionales, incendios forestales, pastoreo inadecuado, etc.), ocasionando una disminución de la fertilidad natural.

Como consecuencia de ello se presentan problemas ambientales tales como mayor erosión, poca infiltración y menor capacidad de almacenamiento de agua, dificultad para el desarrollo radical y deficiente establecimiento de poblaciones microbianas benéficas. En este sentido, han reportado que el uso de lodos como fuente de materia orgánica mejora las propiedades tanto físicas como químicas del suelo agrícola en cuanto a incrementos en los niveles de materia orgánica, disminución de la densidad aparente, mayor formación y estabilidad de agregados, mejor retención de humedad, incremento en el tamaño de poros, etc. Además, aporta cantidades significativas de nitrógeno y fósforo que contribuye a disminuir el consumo de fertilizantes químicos. Los lodos han sido utilizados en silvicultura para incrementar la productividad forestal, para reforestar y para estabilizar áreas deforestadas o perturbadas por la minería, la construcción, los incendios, el sobrepastoreo, erosión u otros factores. Junto a los

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

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

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

#### 1.11.5.3. OTROS USOS

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

- **FABRICACIÓN DE LADRILLOS**

Existen estudios sobre la valorización de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales en la fabricación de ladrillos. La introducción de lodos en el proceso resulta muy atractiva porque determinados materiales cerámicos disponen de gran capacidad de inertización de metales pesados. Durante la cocción, los compuestos orgánicos del lodo: celulosa, lignina, grasas, microorganismos patógenos, etc. se destruyen y en su lugar se crean unos poros cerrados que darán lugar a sus propiedades de aislamiento térmico. Los componentes inorgánicos (arcillas, tierras, metales pesados, etc.), quedan insertados en la matriz vítrea del cuerpo cerámico y, por tanto, inmovilizados.

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

- I. Importante ahorro energético durante la cocción cerámica en función de la presencia de materia combustible en la matriz cerámica aportada por los lodos (en cualquier caso, el balance total energético debe tener en cuenta también el proceso de secado).
- II. Ahorro del consumo de agua por la aportación de los lodos (contienen un promedio del 70 % de humedad).
- III. Poder calorífico de los lodos, que aproximadamente se sitúa en las 3400 kcal/kg. El máximo porcentaje de lodos que se podría mezclar con la arcilla cerámica se sitúa en torno al 40 %, aunque con esta cantidad, la adherencia de la mezcla es pobre y la textura superficial del ladrillo irregular. Así, las proporciones óptimas están entre el 10 % y el 20 %.

- **FABRICACIÓN DE HORMIGÓN**

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

- **UTILIZACIÓN DE CENIZAS**

El hecho de adicionar ciertos porcentajes de cenizas producto de la incineración de lodos digeridos que varían entre un 5 y un 50 %, genera en los ladrillos ciertas propiedades variables que pueden afectar positivamente las cualidades de los mismos haciéndolos más porosos y menos densos favoreciendo sus cualidades como aislante

térmico y acústico, pero por otro lado también afecta su resistencia al esfuerzo mecánico debido a una mayor porosidad se reduce su resistencia afectando negativamente las utilidades dichos ladrillos.

## **1.12. NORMATIVA Y PROBLEMÁTICA PARA EL PROCESO DE VERTIDO Y REUTILIZACIÓN DE LODO**

Para la selección de métodos adecuados, para el tratamiento, reutilización y evacuación de lodos, es necesario tener en cuenta las normativas que controlan la evacuación de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La Environmental Protection Agency (EPA) ha propuesto nuevas normas que establecen limitaciones cuantitativas sobre la presencia de contaminantes y prácticas de digestión para:

- I. Aplicación del lodo a terrenos agrícolas y no agrícolas
- II. Distribución y comercialización del lodo
- III. Vertido a vertederos específicos para lodos
- IV. Evacuación en superficie
- V. Incineración

Se propone que para las plantas de tratamiento con caudales superiores a 40000 m<sup>3</sup>/d, la necesidad de realizar un seguimiento mensual de las concentraciones de los contaminantes sujetos a limitaciones específicas. Como consecuencia de la incertidumbre provocada por la posibilidad de que se introduzcan importantes cambios en las normas que afectan al lodo, actualmente resulta complicado evaluar el impacto sobre la planificación y diseño de instalaciones nuevas, así como sobre la explotación y ampliación de las instalaciones existentes. Por lo tanto, es obligatorio conocer y cumplir las normativas de lodos, tanto las actuales como las propuestas para el futuro. Las tendencias futuras de las normativas de lodos estarán centradas en el control en

el origen, de metales pesados y compuestos tóxicos, como los PCBs y los pesticidas, que no se ven afectados por los procesos de tratamiento biológicos.

En el país se encuentra en trámite de revisión el reglamento especial de aguas residuales y lodos que pretende desarrollar las disposiciones de la Ley del Medio Ambiente, relacionadas a la gestión de las aguas residuales y lodos, y que mediante el adecuado manejo, tratamiento, uso, reúso y disposición final espera contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico y del suelo.

Debido a la ausencia de normas, reglamentos o leyes en el país que regulen estos mecanismos de gestión de lodos existe una problemática, en las industrias en general, que poseen plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que los lodos obtenidos en muchas ocasiones son almacenados en lugares y recipientes inadecuados, o bien sus características particulares no son aprovechadas y son enviadas al relleno sanitario para su disposición final.

# CAPITULO II: MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DE LODOS

Según el Anteproyecto de Reglamento Especial de Aguas Residuales y Lodos (2014), el muestreo de los lodos, deberá efectuarse con muestras compuestas, para lo cual pueden ser adoptadas metodologías y protocolos de muestreo propuestos por organismos internacionales que sean reconocidos, y que apliquen al área de interés, siempre y cuando, estos procedimientos aseguren la representatividad e integridad de las muestras. La metodología de muestreo adoptada ha sido tomada de la EPA 1989.

## **2.1. DEFINICION DE PARÁMETROS A ANALIZAR**

Los lodos deben caracterizarse a fin de orientar los tratamientos de estabilización, usos, coprocesamiento, disposición final y/o confinamiento, para realizar la actividad antes señalada, se deberá tomar en cuenta la información sobre todos los lodos generados, identificación de usos o coprocesamiento, si se puede aplicar, y del sitio de disposición o confinamiento.

Las caracterizaciones son las siguientes: microbiológica, fisicoquímica y de peligrosidad.

Los parámetros a considerar para la caracterización microbiológica de lodos de tipo ordinario y especial del sector agropecuario y agroindustrial, están orientados a la reducción del potencial de atracción de vectores, presencia de patógenos, protección de la salud de las personas, el medio ambiente y las restricciones potenciales para su uso.

### 2.1.1. CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LODOS ORDINARIOS

Los lodos ordinarios que sean generados en plantas de tratamiento de aguas residuales ordinarias y que no tengan mezcla de aguas residual de tipo especial; así como los generados en sistemas sanitarios y/o tanques sépticos, realizarán además de los análisis microbiológicos referidos en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Parámetros microbiológicos y valores máximos permisibles

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
		Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> 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

Fuente: Norma Mexicana- 004- SEMARNAT- 2002.

### 2.1.2. CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LODOS ESPECIALES

La caracterización fisicoquímica de los lodos de tipo especial, tales como los generados durante el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinaria que tengan mezcla de aguas residual de tipo especial, los provenientes de plantas potabilizadoras, lodos de alcantarillado sanitario o cualquier otro lodo especial generado como residuo o desecho, de cualquier actividad o proceso, con características y efectos similares, requerirán una caracterización de los parámetros establecidos en las Tabla 2.2 los cuales no deben exceder los valores máximos.

*Tabla 2. 2 Parámetros fisicoquímicos y valores máximos permisibles*

<b>Requerimiento de análisis</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Valores mínimos y máximos permisibles Según Norma Mexicana</b>	<b>Valores mínimos y máximos permisibles Según EPA (1994)</b>
Arsénico	mg/Kg	41 – 75	41-75
Cadmio	mg/Kg	39 – 85	39-85
Cobre (Cu)	mg/Kg	1500 – 4300	1500-4300
Cromo (Cr)	mg/Kg	1200 – 3000	1200- 3000
Mercurio	mg/Kg	17 – 57	17 – 57
Níquel	mg/Kg	420 – 420	420 – 420
Plomo	mg/Kg	300 - 840	300 - 840
Zinc	mg/Kg	2800 - 7500	2800 - 7500
Molibdeno	mg/Kg	-	75

*Fuente: Norma Mexicana- 004- SEMARNAT- 2002.*

### **2.1.3. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS ESPECÍFICOS DE LODOS TIPO ESPECIAL**

La caracterización fisicoquímica (véase tabla 2.3) puede incluir, dependiendo de la naturaleza de la actividad, otros parámetros de calidad, con el objeto de determinar y controlar la presencia de contaminantes y definir la opción de uso, coprocesamiento, tratamiento y/o confinamiento o disposición final de los lodos de tipo especial.

Los análisis tanto microbiológicos como fisicoquímicos que se realizaron fueron determinados por el tipo de industria que se estudia, así como por las sustancias que se utilizan para la realización de sus procesos productivos.

*Tabla 2. 3 Parámetros para la caracterización de las muestras de lodos*

<b>Caracterización</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Expresado en</b>
<b>FISICOQUIMICA</b>	Plomo	Ppm
	Arsénico	Ppm
	Humedad	%
	Cenizas	%
	pH	
	Cobre	ppm
	Nitrógeno	ppm
	Potasio	ppm
	Fosforo	ppm
	Hierro	ppm
	Aluminio	ppm
	Cromo	ppm
	Azufre	ppm
<b>MICROBIOLOGICA</b>	Coliformes Fecales	NMP
	Helminths y vermiformes viables (Ova helmíntica y vermiformes)	NMP
	Salmonella sp	NMP

*Fuente: Elaboración propia.*

## **2.2. DEFINICION DEL PROCEDIMIENTO DE MUESTREO (POTW SLUDGE SAMPLING AND ANALYSIS GUIDANCE DOCUMENT, 1989)**

El muestreo consiste en obtener una porción del volumen de lodos generados, la cual debe conservar la integridad de todos sus constituyentes desde el momento en que es tomada la muestra (parte representativa de un universo o población finita obtenida para conocer sus características) y hasta el final de su análisis o determinación en el laboratorio. El tiempo en que éstas permanecen estables dependerá de sus características y método de preservación utilizado. El muestreo constituye una parte integral y fundamental para evaluar la calidad de los lodos, para su depósito final.

El tamaño y número de muestras dependen de las fuentes generadoras, así como de los procesos utilizados para su estabilización. Es importante considerar la selección del sitio de muestreo, la homogeneidad y representatividad de la muestra, el grado de degradación, el volumen, tipo de análisis y la accesibilidad al sitio seleccionado para el muestreo.

La caracterización de lodos es importante para determinar el uso o disposición del lodo que podría convertirse en una amenaza a la salud pública o el medio ambiente. Por lo tanto, como regla general, el muestreo de lodos se debe extraer de un punto de muestreo apropiado de manera que pueda ser representativa.

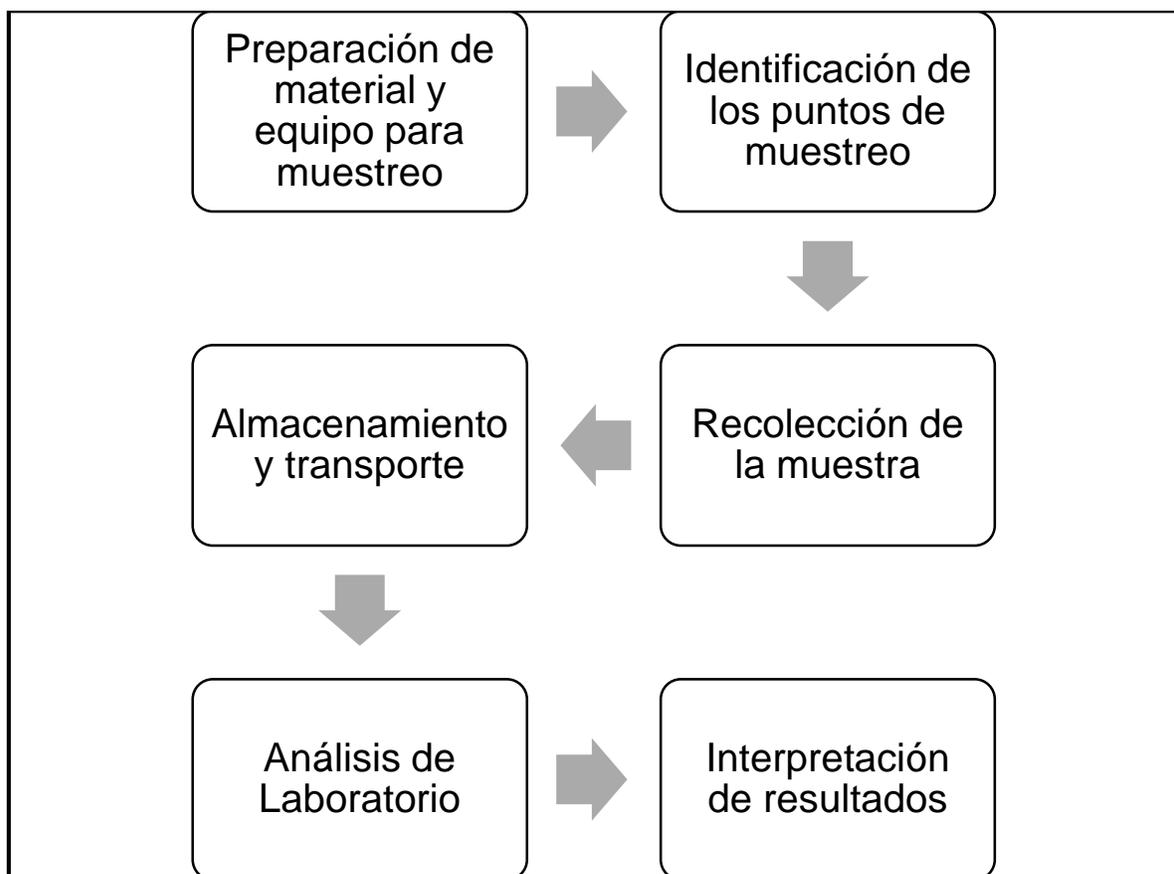
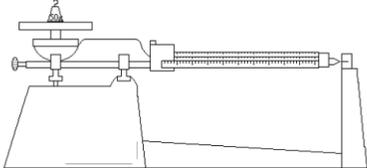
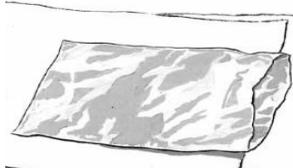


Figura 2. 1 Esquema Del Proceso De Muestreo. Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1. MATERIAL Y EQUIPO DE MUESTREO

El equipo y materiales necesarios deben ser obtenidos y preparados, si es necesario, con anticipación y de acuerdo al método que se pretende utilizar para la recolección de muestras. Para realizar este muestreo se consideraron adecuados los indicados en la Tabla 2.4.

Tabla 2. 4 Material y equipos utilizados para el muestreo de lodos

Material y Equipo	Ilustración
Balanza: utilizada para la medición del peso de las muestras que se van a obtener.	
Bolsas de polietileno: requeridas para la recolección de la muestra en los diferentes puntos.	
Botas y guantes: como parte de la seguridad para quien realiza el muestreo.	
Pala Curva: para homogenizar las muestras recolectadas en los diferentes puntos.	
Frascos de boca ancha: utilizada para el transporte de la muestra	
Papel y marcadores: Rotular los frascos de contenedores de muestras.	

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2. IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

El punto de muestreo se ubicó en los patios de secado de lodos que es el lugar en el cual se deponen los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales de la industria ejemplo como se muestra en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4.



*Figura 2. 2 Lodo de los patios de secado de la industria ejemplo. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 2. 3 Patio de secado de la Industria Ejemplo. Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 2. 4 Patio de secado de la Industria Ejemplo. Fuente: Elaboración propia.*

### 2.2.3. PREPARACION DE RECIPIENTES PARA ALMACENAR LAS MUESTRAS

El almacenamiento de muestras se tomó a bien realizarse en recipientes plásticos de boca ancha (tarros), los cuales se lavaron con agua destilada para evitar contaminación, siguiendo las técnicas siguientes:

- TECNICAS DE PREPARACION DE FRASCOS DE MUESTREO

Según la Norma NOM-014-SSA1-1993 la preparación de los recipientes para la toma de muestras es:

#### I. Para análisis bacteriológico

Frascos de vidrio de boca ancha con tapón esmerilado o tapa roscada, o frascos de polipropileno; resistentes a esterilización en estufa o autoclave o bolsas estériles con cierre hermético.

Para la toma de muestra deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120° C durante 15 min. Antes de la esterilización, con papel resistente a ésta, debe cubrirse en forma de capuchón el tapón del frasco.

#### II. Para análisis físico-químico.

Envases de plástico o vidrio inertes al agua de 2 litros de capacidad como mínimo, con tapones del mismo material que proporcionen cierre hermético.

Los envases deben lavarse perfectamente y enjuagarse a continuación con agua destilada o desionizada.

### III. Material y equipo

- Termómetro con escala de -10 a 110°C.
- Potenciómetro o comparador visual para determinación de pH.
- Hielera con bolsas refrigerantes o bolsas con hielo.
- Agua destilada o desionizada.
- Solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 100 mg/l.
- Torundas de algodón

#### **2.2.4. RECOLECCION DE MUESTRAS**

Pasos realizados para la recolección de muestras de lodos secos:

1. Situar los puntos de muestreo. Del anexo D, tabla D.1 se seleccionó como punto de muestreo los patios de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales, ubicando cuatro puntos lo largo de este.
2. En el muestreo se consideró la profundidad total del lecho esta fue de entre 6-7 cm, variando la altura de la muestra de lodo según su distribución en el lecho filtrante.
3. Haciendo uso del material mencionado en la tabla 2.3 se procedió a la toma de muestras de los puntos señalados anteriormente.
4. Como se recomienda en el método del cuarteo (Ver 2.2.4.1), procedimiento 2, se utilizó una lona para homogenizar la muestra.
5. Luego se introdujeron las muestras homogenizadas en los frascos rotulados, destinados para su análisis microbiológico y fisicoquímico.
6. Las muestras fueron colocadas en una hielera manteniendo una temperatura aproximada de 4°C y fueron llevadas a los diferentes laboratorios para ser analizadas.

#### 2.2.4.1. METODO DEL CUARTEO

Según la norma ASTM C702 se usa cualquiera de los procedimientos descritos a continuación o una combinación de ambos.

##### A. PROCEDIMIENTO 1

Colocar la muestra original sobre una superficie dura, limpia y nivelada, donde no haya posibilidad de pérdida de material o adición accidental de material extraño.

Mezclar el material a fondo, volteando la totalidad de la muestra por tres veces. Con la última vuelta, palear la totalidad de la muestra, formando una pila cónica, depositando cada palada sobre la precedente.

Aplanar cuidadosamente la pila cónica hasta lograr darle un espesor y diámetro uniforme presionando el cono hacia abajo desde su ápice, con una pala a manera de lograr que cada cuarto de la pila resultante, contenga su material original. El diámetro debe ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor.

Dividir la masa aplanada en cuatro cuartos iguales, con una pala o paleta y remover los dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino y limpiar con cepillo los espacios liberados. En seguida, mezclar y cuartear nuevamente el material remanente, hasta que la muestra se reduzca al tamaño deseado (Ver Fig. 2.5).

##### B. PROCEDIMIENTO 2

Como alternativa al procedimiento 1, cuando la superficie del piso es dispareja, colocar la muestra de campo sobre una lona y mezclarla a fondo con una pala como se indica en procedimiento 1, o alternativamente, levantando cada esquina de la lona, y pasándola sobre la muestra hacia la esquina diagonal opuesta, causando el rolado del material.

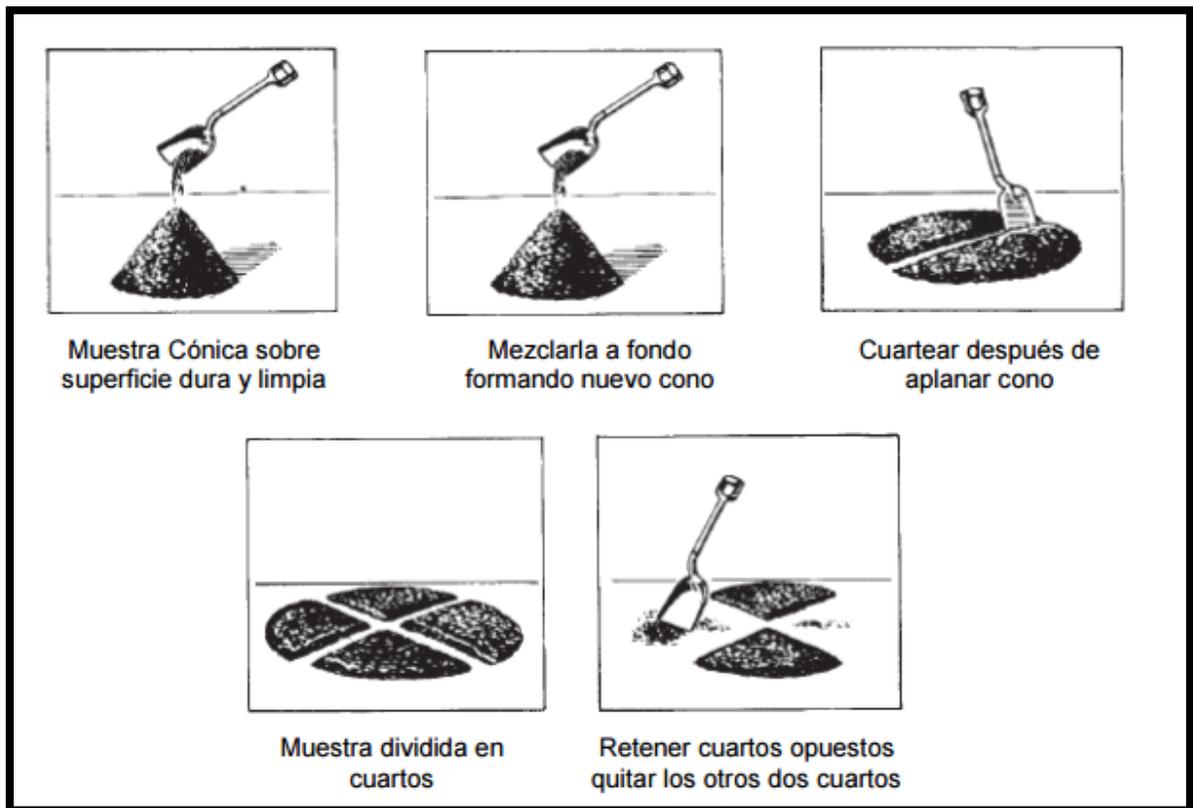
Aplanar la pila como se describe en procedimiento 1, dividir la muestra como se indica en procedimiento 1, o si la superficie bajo la lona no está pareja, insertar un tubo o palo

recto bajo la lona y bajo el centro de la pila, y luego levantar ambos extremos del tubo o palo, dividiendo la muestra en dos partes iguales.

Sacar el tubo o palo dejando un dobléz en la lona entre las dos porciones.

Insertar el tubo o palo bajo el centro de la pila y a ángulo recto de la primera división y doblar otra vez, levantando ambos extremos del tubo o palo dividiendo la muestra en cuatro partes iguales.

Remover los dos cuartos diagonalmente opuestos, teniendo el cuidado de limpiar los finos sobre la lona. Sucesivamente, mezclar los cuartos remanentes y subdividirlos en la forma indicada hasta que la muestra sea reducida al tamaño deseado ver figura 2.6.



*Figura 2. 5 Cuarteos sobre superficie dura, limpia y nivelada. Fuente: ASTM C702.*

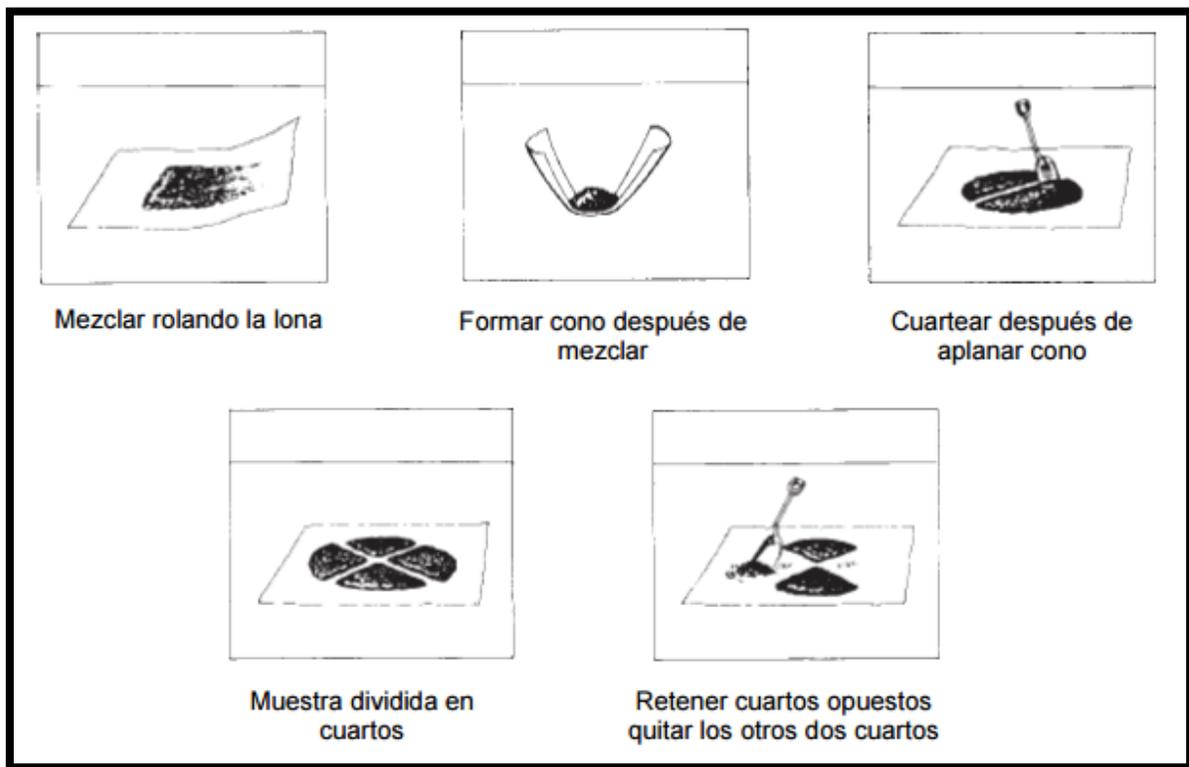


Figura 2. 6 Cuarteos sobre una lona de cuarteo. Fuente: ASTM C702.

## 2.2.5 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Una muestra apropiada es lo suficientemente pequeña para ser transportada y manipulada en el laboratorio, pero lo suficientemente grande para representar las características de todo el material.

Luego de ser recolectadas las muestras en la industria ejemplo, se almacenaron por 2 días en refrigeración a 4°C y luego se entregaron a los laboratorios donde se analizaron los lodos. El tamaño de la muestra fue de 1 kilogramo.

Según la propuesta de Reglamento Especial para Aguas residuales y lodos debe documentar el levantamiento de las muestras a través de una cadena de custodia para muestras de laboratorio.

El procedimiento de cadena de custodia comprende cuatro etapas, según se detallan:

1. **Registro durante la toma de muestra:** Comprende el llenado de formularios de cadena de custodia: Datos de campo, ubicación y sitios de muestreo, fecha y hora de recolección, responsable del muestreo, identificación de la muestra, tipo de matriz de aguas residuales o lodo, parámetros de campo y solicitados, tipo de muestreo que comprende el número de muestras simple colectadas por muestra compuesta, conservación de la muestra, sello o precinto y condiciones de transporte; así como, información relevante de las condiciones ambientales durante el muestreo.
2. **Ingreso de muestras al laboratorio:** Con la entrega de muestras en el laboratorio, este deberá realizar una lista de chequeo del estado y recepción de la muestra condiciones: Identificación de la muestra, del sello, tipo contenedor, condiciones de transporte, condiciones de la muestra y frascos, temperatura de la muestra, matriz y tipo de muestra, etc., firma de formularios de entrega por el responsable del muestreo y de la persona que hace la recepción de la muestra.
3. **Asignación:** Comprende la custodia de muestras dentro del laboratorio asignación del analista, generación del informe de resultados obtenidos, firma del o de los analistas, sellado de los documentos generados.
4. **Remisión de Informe:** Se completará al remitir el informe y/o entrega de resultados a la persona natural o jurídica que solicitó el análisis de la muestra. Este documento debe contener la información relacionada con el método de análisis, límite de detección y cuantificación del método, incertidumbre del análisis, referencia de preparación de la muestra y quien realizó el análisis de la misma.

Al completar las etapas de recolección y análisis de la muestra junto al informe de resultados se debe acompañar todos los registros generados durante el proceso, los cuales constituirán la cadena de custodia.

### **2.2.6. ANALISIS DE LABORATORIO**

Las muestras fueron llevadas y entregadas a dos diferentes laboratorios de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, Laboratorio de química agrícola donde se analizaron parámetros fisicoquímicos y el laboratorio de Investigación y diagnóstico para análisis de parámetros microbiológicos.

Otra parte de las muestras fueron llevadas al Laboratorio de la Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES).

En el anexo H se muestran las metodologías para la determinación de algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

En las tablas 2.5, 2.6 y 2.7 se muestran algunas definiciones de los parámetros fisicoquímicos considerados a analizar y sus respectivos métodos de análisis.

En la tabla 2.8 se muestran los parámetros microbiológicos realizados con su respectivo método y definición.

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LODOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR**

*Tabla 2. 5 Definición de parámetros fisicoquímicos y sus respectivos métodos*

<b>Parámetro</b>	<b>Definición de parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Definición de método</b>
pH	La concentración de ion Hidrogeno es un parámetro de calidad de lodos de gran importancia, los lodos con concentraciones de ion hidrogeno inadecuados presentan dificultades de tratamiento con procesos biológicos.	Métodos potenciométricos	Se puede describir la potenciometría simplemente como la medición de un potencial en una celda electroquímica. Es el único método electroquímico en el que se mide directamente un potencial de equilibrio termodinámico y en el cual esencialmente no fluye corriente neta. El instrumental necesario para las medidas potenciométricas comprende un electrodo de referencia, un electrodo indicador y un dispositivo de medida de potencial.
Nitrógeno	Este es importante para el crecimiento de las plantas por lo que recibe el nombre de nutrientes o bioestimuladores, es uno de los elementos que en la mayoría de los casos es uno de los principales elementos nutritivos, puesto que este es absolutamente básico para la síntesis de proteínas.	Método de Kjeldahl	Es definido como la suma de amonio libre y compuestos orgánicos nitrogenados que son convertidos a una sal de amonio $(NH_4)_2SO_4$ , después de la digestión de la muestra en medio ácido y en presencia de un catalizador. El amonio es destilado en medio alcalino y recuperado nuevamente para su cuantificación.
Fosforo	Al igual que el nitrógeno el fosforo es importante para el crecimiento de las plantas por lo que recibe el nombre de nutrientes o bioestimuladores, es uno de los elementos que en la mayoría de los casos es uno de los principales elementos nutritivos	Método Bray 1	El método conocido como Bray 1 se trata de una extracción con una solución mezcla de $NH_4F$ 0,03N y $HCl$ 0,025N, que se basa en el efecto solubilizador del $H^+$ sobre el P del suelo y la capacidad del ión $F^-$ de bajar la actividad del $Al^{+3}$ , evitando la readsorción de los fosfatos en el sistema de extracción
Metales pesados	Son constituyentes importantes de muchos lodos, también se encuentran unidades a nivel de trazas, debido a su toxicidad la presencia de estos metales en cantidades excesivas interferirá con gran número de usos de estos lodos. Es por ello que a menudo resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de dichas sustancias. Las cantidades de muchos de estos elementos pueden determinarse en concentraciones muy bajas.		

*Fuente: Elaboración propia.*

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LODOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR**

*Tabla 2. 6 Definición de parámetros fisicoquímicos y sus respectivos métodos (Continuación)*

<b>Parámetro</b>	<b>Definición de parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Definición de método</b>
Cobre		Espectroscopia de absorción atómica de llama de aire	Es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución.
Hierro		Espectroscopia de absorción atómica	Es una técnica muy relacionada con la fotometría de llama ya que se utiliza una llama para atomizar la disolución de la muestra de modo que los elementos a analizar se encuentran en forma de vapor de átomos.
Plomo		Espectroscopia de absorción atómica de llama de aire	Es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución.
Cromo		Espectrofotometría	Es la medida de la absorción o de la emisión de la radiación electromagnética, al pasar a través de una sustancia, en función de su longitud de onda, para la cualificación y determinación de la naturaleza de esta.
Azufre	El ion sulfato se encuentra de forma natural tanto en las aguas de abastecimiento como en los lodos. Para la síntesis de proteínas es necesario disponer de azufre. Los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el normal desarrollo de los procesos biológicos.	Método gravimétrico	El método se basa en la precipitación del azufre que se encuentra en forma de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en el lodo, mediante la adición de cloruro de bario, para formar sulfato de bario. El precipitado que se forma se seca y se pesa. Se calcula el contenido de $\text{S-SO}_4^{2-}$ a partir de ese peso

*Fuente: Elaboración propia.*

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LODOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR**

*Tabla 2. 7 Definición de parámetros fisicoquímicos y sus respectivos métodos (Continuación)*

<b>Parámetro</b>	<b>Definición de parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Definición de método</b>
Arsénico	Es un elemento esencial para la vida y su deficiencia puede dar lugar a diversas complicaciones. La ingesta diaria de 12 a 15 µg puede obtenerse sin problemas con la dieta diaria de carnes, pescados, vegetales y cereales, siendo los peces y crustáceos los que más contenido de arsénico presentan, generalmente en forma de arsenobetaína, menos tóxica que el arsénico inorgánico	Espectroscopia de absorción atómica electrotermia	La espectrofotometría de absorción atómica electrotrémica, se basa en el mismo principio que la atomización directa en llama, con la diferencia que en este caso se emplea un atomizador calentado eléctricamente (horno de grafito) en lugar del quemador de llama.
Humedad	La humedad juega un rol fundamental en el comportamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del lodo. El contenido de humedad del lodo puede cambiar rápidamente, pudiéndose incrementar en minutos u horas. En contraste, la fase de secamiento puede tomar semanas o meses.	Técnicas de secado Tiene como objetivo el proceso de secado de lodos, reducir los costos de transporte hasta el sitio de disposición final, manejar fácilmente el lodo y aumentar el valor calórico para su incineración.	Consiste en el retiro del agua del lodo reduciendo así su contenido de humedad hasta alcanzar aproximadamente el 85% de humedad. Tiene como objetivo el proceso de secado de lodos, reducir los costos de transporte hasta el sitio de disposición final, manejar fácilmente el lodo y aumentar el valor calórico para su incineración.
Cenizas	Es el producto de la combustión del lodo, compuesto por sustancias inorgánicas no combustibles, como sales minerales. Parte queda como residuo en forma de polvo depositado en el lugar donde se ha quemado el lodo y parte puede ser expulsada al aire como parte del humo.	Método de análisis de la AOAC	El método se basa en la destrucción de la materia orgánica presente compuesta por calcinación y determinación gravimétrica del residuo.
Potasio	El potasio disponible define los grados de deficiencia, suficiencia o exceso de este elemento en relación para su disponibilidad para los cultivos	Método de Olsen (fotometría de llama)	Determinación por fotometría de llama del potasio extraído mediante una solución de Bicarbonato de sodio 0.5M con un pH de 8.5
Aluminio	Este metal fue considerado durante muchos años como inocuo para los seres humanos. La exposición al aluminio por lo general no es dañina, pero la exposición a altos niveles puede causar serios problemas para la salud.	Método gravimétrico	Estos métodos siguen la separación por precipitación con amoníaco, 8-hidroxiquinolina, fosfatos y varios ácidos orgánicos usados en medio alcalino siendo el primero el más común.

*Fuente: Elaboración propia.*

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LODOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR**

*Tabla 2. 8 Definición de parámetros microbiológicos y sus respectivos métodos*

<b>Parámetro</b>	<b>Definición de parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Definición de método</b>
Recuento de coliformes fecales	Los microorganismos coliformes constituyen un grupo heterogéneo con hábitat primordialmente intestinal para la mayoría de las especies que involucra. El grupo de bacterias coliformes totales comprende todos los bacilos Gramnegativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h. a 35°C ± 1°C.	Método de recuento por dilución en tubo.	Se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a 35°C ± 1°C durante 48 h., utilizando un medio de cultivo que contenga sales biliares. Esta determinación consta de dos fases, la fase presuntiva y la fase confirmativa.
Identificación de Salmonella sp	Es un bacilo Gram-negativo anaerobio facultativo perteneciente a la familia Enterobacteriaceae. Aunque los miembros de este género son capaces de moverse por medio de flagelos peritricos, existen variantes no móviles, S. enterica serovar Pullorum y S. enterica serovar Gallinarum, así como cepas no móviles debido a la presencia de flagelos disfuncionales	Metodología utilizada de acuerdo a la BAM.	Basado en el manual analítico bacteriológica de
Parasitológico (huevos de helmintos)	El helminto, que significa gusano, se refiere a especies animales de cuerpo largo o blando que infectan el organismo de otras especies. Los helmintos son unos organismos pluricelulares complejos que tienen forma alargada y simetría bilateral. Su tamaño es mucho mayor que el de los parásitos protozoarios y habitualmente son macroscópicos, con un tamaño que oscila de menos de 1 mm a 1 m o más.	Método de flotación de solución saturada.	Los métodos de flotación fecal se utilizan para separar los parásitos en todos sus estadios (huevos, quistes, larvas) de otros objetos, basados en sus diferentes densidades. La densidad es el peso de un parásito u otro objeto por unidad de volumen, se expresa en forma de gravedad específica. Para obtener un resultado preciso al realizar una flotación fecal, es necesario utilizar la solución correcta.

*Fuente: Elaboración propia.*

## 2.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 2.3.1. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los análisis fisicoquímicos (véase tabla 2.9) fueron realizados en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y Laboratorio de FUSADES, en donde se obtuvieron los siguientes datos:

*Tabla 2. 9 Resultados de parámetros fisicoquímicos analizados*

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Humedad	3.15%
pH	7.40
Cenizas	25.67%
Cobre (Cu)	85ppm
Nitrógeno	21,300ppm
Fósforo	1200ppm
Potasio	350ppm
Hierro	2600ppm
Plomo	2.21ppm
Arsénico	1.07ppm
Aluminio	18525.39ppm
Cromo	19.82ppm
Azufre	141.18ppm

*Fuente: Elaboración propia.*

### 2.3.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Los análisis en el área microbiológica (véase tabla 2.10) se realizaron en el Laboratorio de Investigación y Diagnostico de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, donde los resultados obtenidos fueron:

*Tabla 2. 10 Resultados obtenidos de análisis*

PARAMETRO	VALOR
Recuento de coliformes totales	<2NMP/100 mL
Recuento de coliformes fecales	<2 NMP/100 mL
Identificación de Salmonella Sp	Negativo
Huevos de helmintos	No se observan

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al comparar los resultados obtenidos con los valores de referencia y mostrados en el apartado anterior se obtienen las siguientes tablas de resultados. En el anexo E, F y G se muestran los los resultados obtenidos de los análisis realizados a la muestra de lodo obtenida.

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LODOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR**

*Tabla 2. 11 Cuadro comparativo de parámetros microbiológicos con valores de referencia*

Análisis de resultados	Análisis microbiológicos	Valor de Referencia NMP/g (base seca)			Valor reportado	Clasificación (Excelente, Bueno y/o Deficiente)
		A	B	C		
<b>Lodo Estabilizado</b>	Coliformes fecales	<1000	<1000	<2000000	<2 NMP	Excelente
	Huevos de Helmintos y Vermiformes	<1	<10	<35	Negativo	Excelente
	Salmonella	<3	<3	<300	Negativo	Excelente

*Fuente: Elaboración propia.*

De la tabla anterior se puede concluir que las muestras de lodos recolectadas están por debajo los valores de referencia para lodos de tipo especial. Clasificándose como un lodo excelente dentro de este aspecto de caracterización.

*Tabla 2. 12 Cuadro comparativo de parámetros fisicoquímicos con valores de referencia*

Requerimiento de análisis	Unidad de medida	Rango (Mínimos y Máximos)		Valor Obtenido	Excelente, Bueno y Deficiente
		Norma Mexicana	EPA 1994		
Humedad	%			3.15	
pH	Unidades			7.40	
Arsénico	mg/Kg	41-75	41-75	1.07	Excelente
Aluminio	mg/Kg	-		18,525.39	
Cobre (Cu)	mg/Kg	1500-4300		85	Excelente
Cromo total (Cr)	mg/Kg	1200-3000	1200-3000	19.82	Excelente
Plomo	mg/Kg	300-840	300-840	2.29	Excelente
Nitrógeno total	mg/Kg			21,300	
Fósforo total	mg/Kg			1,200	
Hierro	mg/Kg			2,600	

*Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla anterior se ha comparado los valores obtenidos de los análisis con los valores de referencia. Algunos de los elementos analizados no están comparados con norma, ya que dichas normas no poseen estos valores. Sin embargo los análisis fueron realizados ya que se estudia la posibilidad de utilizar el lodo que se analiza como

material fertilizante para suelos agrícolas. Los valores para arsénico, cobre, cromo y plomo se encuentran muy por debajo de los valores máximos permisibles según la normativa.

En la tabla 2.13 se comparan los porcentajes obtenidos de los análisis realizados para los elementos del nitrógeno, fosforo y potasio con los valores típicos de fertilizante para uso agrícola, según esto los valores el porcentaje de fosforo y potasio son bastante bajos, con 0.12% y 0.035% respectivamente. El valor de nitrógeno presente el en lodo es más elevado con un 2.13% de un 5% en un fertilizante común

*Tabla 2. 13 Cuadro comparativo de nutrientes elementales en abonos con valores obtenidos*

<b>Composición</b>	<b>Fertilizantes comunes agrícolas (%)</b>	<b>Lodos textiles (%)</b>	<b>Lodos textiles (ppm)</b>
Materia orgánica	0	-	-
Nitrógeno	4	2.13	21300
Fosforo	5	0.12	1200
Potasio	6	0.035	350
Azufre	5	0.0141	141.18
Boro	0.01	-	-
Manganeso	0.01	-	-
Cobre	0.002	0.0085	85
Hierro	0.02	0.260	2600
Molibdeno	0.001	-	-
Zinc	0.002	-	-
Calcio		-	-
Magnesio	0	-	-
Acidos húmicos	0	-	-
Acidos fluvicos		-	-
Aminoácidos libres		-	-

*Fuente: Elaboración propia.*

# CAPITULO III: PROPUESTA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LODOS

## 3.1. GENERALIDADES DE LA PROPUESTA

Según Salmerón (2012) el Sistema de Gestión Ambiental de Lodos (SGAL), es una herramienta que proporciona orden y consistencia para que las industrias u organizaciones orienten las preocupaciones ambientales a través de la distribución de recursos y de la asignación de responsabilidades, y de la evaluación continua de las prácticas, los procedimientos y los procesos. Por tanto, ofrecen un proceso estructurado para obtener un mejoramiento continuo, cuyo grado y extensión será determinado por la misma organización.

Los sistemas de gestión ambiental traen beneficios que buscan establecer armonía entre los intereses económicos de las empresas y el Medio Ambiente, es entonces que se busca que las partes interesadas aseguren un compromiso para mejorar el desempeño ambiental de la industria que genera desechos. Otro beneficio importante es que se mejora la imagen de la organización y su participación en el mercado ya que se busca revertir en la manera de lo posible la contaminación generada puesto que cada industria es consciente de los daños que estos desechos pueden provocar. También se busca optimizar los insumos y recursos con que se dispone conservándolos y utilizándolos de manera efectiva.

Algunas ventajas que provee la aplicación de un sistema de gestión ambiental:

- Permite conocer la legislación medioambiental y su cumplimiento.
- Llevar un control eficiente de los recursos, consiguiendo un ahorro en el consumo de agua, energía y materias primas.

- Mejora la eficacia de los procesos productivos y reduce la cantidad de residuos generados.
- Reduce el riesgo de accidentes medioambientales.
- Mejora la calidad de servicios prestados y su eficacia en el desarrollo de actividades mediante la documentación de procedimientos e instrucciones de trabajo.
- Mejora la imagen de la empresa.

### 3.2. BASES PARA ELABORACIÓN DE PROPUESTA

La ISO 14001 es una norma que presenta la guía que provee la base para el desarrollo un Sistema de Gestión Ambiental, este sistema incluye los aspectos ambientales significativos que la organización puede identificar y sobre los cuales puede ejercer control.

Esta norma internacional se basa en la metodología conocida como Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA). En la figura 3.1 se muestran los pasos para desarrollar el sistema de gestión ambiental, los principales se detallan a continuación.



Figura 3. 1 Pasos descritos para elaboración de Sistema de Gestión, según ISO 14001. Fuente: Elaboración propia.

- **Política Ambiental:** La política ambiental surge como base para el compromiso que la empresa y sus directivos pretenden determinar, estableciendo las medidas medioambientales a considerar dentro de sus procesos productivos.
- **Planificación:** Dentro de este paso están contemplados los aspectos ambientales, los requisitos legales y los objetivos, metas y programas. Se deben tomar en cuenta los aspectos ambientales de las actividades, productos y servicios que se pueden controlar, aquellos sobre los que se pueda intervenir dentro del alcance definido del sistema de gestión ambiental (SGA), teniendo en cuenta los desarrollos nuevos o planificados, o las actividades, productos y servicios nuevos o modificados. También se debe determinar aquellos aspectos que tienen o pueden tener impactos significativos sobre el medio ambiente. Es necesario asegurarse de que los aspectos ambientales significativos se tengan en cuenta en el establecimiento, implementación y mantenimiento de su sistema de gestión ambiental.

Dentro de los requisitos legales se debe garantizar el cumplimiento de las leyes, normas y reglamentos vigentes impuestos en cada país o en su caso las establecidas de carácter internacional. Según 14001 los objetivos y metas deben ser medibles cuando sea factible y deben ser coherentes con la política ambiental, incluidos los compromisos de prevención de la contaminación, el cumplimiento con los requisitos legales aplicables y otros requisitos que la organización suscriba, y con la mejora continua.

- **Implementación y operación:** Esta etapa contempla los Recursos, funciones, responsabilidad y autoridad, Comunicación, Documentación, Control de documentos, Control operacional, Preparación y respuesta ante emergencias.
- **Verificación:** Cuando se implementa un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) es necesario seguir de cerca el desarrollo de las actividades descritas para que de la implementación del sistema se pueda obtener los mayores logros posibles,

esto se logra haciendo uso de elementos que verifiquen y provean información del comportamiento de la puesta en marcha del sistema.

- **Revisión por la dirección:** Las revisiones realizadas por la dirección de la textilera son motivo de mejora continua del SGA. En estas revisiones se evalúan los resultados de las auditorias y evaluaciones del cumplimiento legal, el desempeño ambiental logrado por la textilera, cumplimiento de objetivos y metas y las oportunidades de mejora al SGA.

El Waste Minimization Oportunity Assessment (1988), presenta una guía que permite identificar alternativas para minimizar los residuos generados en las industrias. En este caso se va a dar importancia a los procesos que generan lodos especiales y que provienen de la industria textil. En la figura 3.2 se muestra un diagrama general que presenta las cuatro fases contenidas en el Waste Minimization Oportunity Assessment (WMOA).

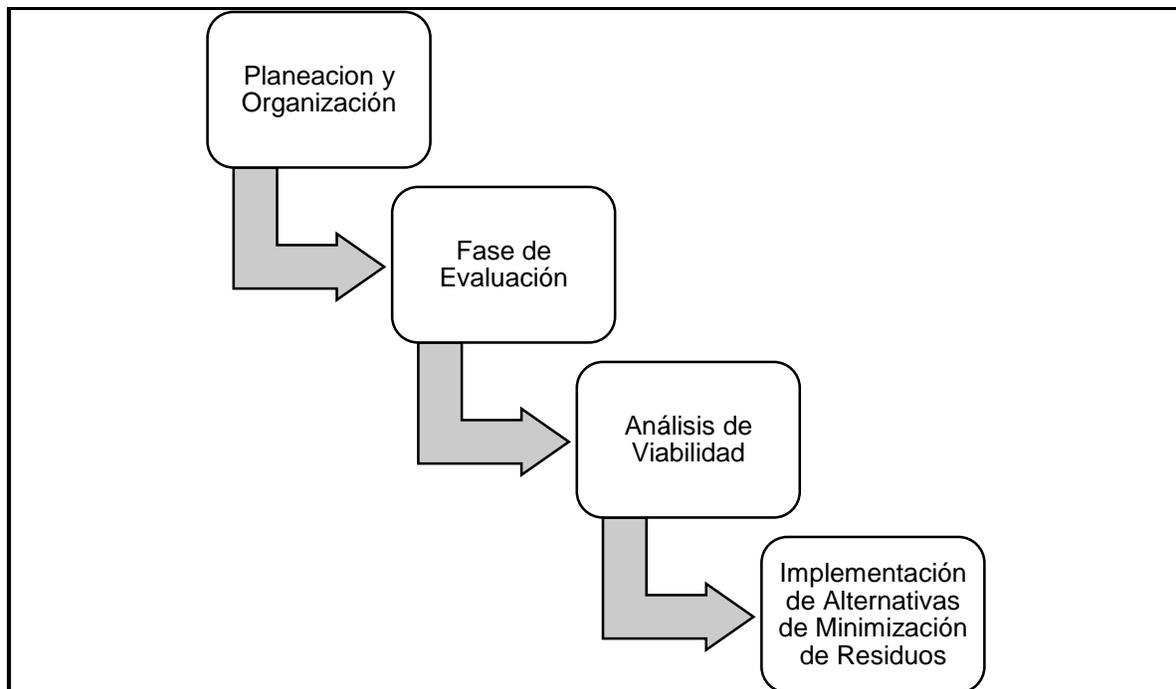


Figura 3. 2 Fases propuestas por el Waste Minimization Oportunity Assessment (1988). Fuente: Elaboración propia.

- **Planeación y organización:** Esta primera fase incluye la realización de actividades como: lograr un compromiso por parte de la gerencia, creación de una política ambiental, involucrar a los empleados, conformar un equipo de trabajo, fijar objetivos de reducción de residuos. Esta fase considera importante involucrar a los empleados ya que los procesos operativos son diversos y se necesita de sus aportes para trabajar en la minimización de residuos. La formalidad y alcances del programa pueden variar de lugar a lugar dependiendo del tamaño de la empresa, de la complejidad de los procesos y los residuos generados.
- **Fase de evaluación:** Con la fase de evaluación se pretende proporcionar la información necesaria para el desarrollo de alternativas para minimizar los residuos que se generan dentro de la organización. Esta etapa incluye actividades como: Recolección de datos e información, registro de corrientes de residuos, diagramas de flujo, priorización de corrientes de residuos y/o evaluación de operaciones que las generan, inspecciones al lugar de generación de residuos, generación de alternativas.
- **Análisis de viabilidad:** De la fase de evaluación se obtienen alternativas, de las cuales es necesario realizar la respectiva evaluación técnica, evaluación económica para la mejor selección de opciones que se deben implementar para obtener los resultados esperados. En esta fase es donde se llevan a cabo las evaluaciones antes dichas, ya que del análisis depende que se implementen o no las alternativas estudiadas.
- **Implementación:** Esta es la fase final, en donde se lleva a cabo la implementación de los aspectos estudiados y analizados anteriormente. Se debe proceder a la instalación de equipo si fuera necesario, elaboración e implementación de procedimientos. También es importante evaluar que las alternativas implementadas proyecten los resultados esperados para eso es

necesario medir la reducción de los residuos, si estos se reducen es muestra de la efectividad del programa.

### **3.3. GUIA PROPUESTA PARA LA GESTION AMBIENTAL DE LODOS DE LA INDUSTRIAL TEXTIL EN EL SALVADOR.**

#### **3.3.1. CONSIDERACIONES PREVIAS A IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL**

En la figura 3.3 se presenta un proceso general de gestión de lodos. En este capítulo se desarrolla una guía de implementación que incluye elementos básicos y necesarios como el aporte de la dirección de la empresa y su compromiso y responsabilidades con el medio ambiente así como también la necesidad de involucrar a las personas relacionadas con los diferentes procesos que generan las corrientes de desechos y lodos, de los cuales se pretende conseguir una gestión ambiental adecuada. En el anexo I, se presenta una propuesta de manual para un Sistema De Gestión Ambiental De Lodos para una industria de tipo textil según se ha considerado en este trabajo.

##### **3.3.1.1. RESPONSABILIDAD Y COMPROMISO DEL PRODUCTOR DE LODO**

Conseguir el compromiso y responsabilidad del productor de los desechos es el primer paso a implementar un Sistema de Gestión Ambiental de Lodos (SGAL). Tener y mantener un firme compromiso con el Medio Ambiente mejora la disposición a colaborar con el fin y lograr buenos resultados. Para comenzar con este compromiso, una manifestación clara es el establecimiento de una política ambiental adecuada y alcanzable que confirme el compromiso e interés por la implementación del sistema de gestión ambiental y que permita la mejora continua de los procesos.

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
PARA LODOS PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN EL SALVADOR**

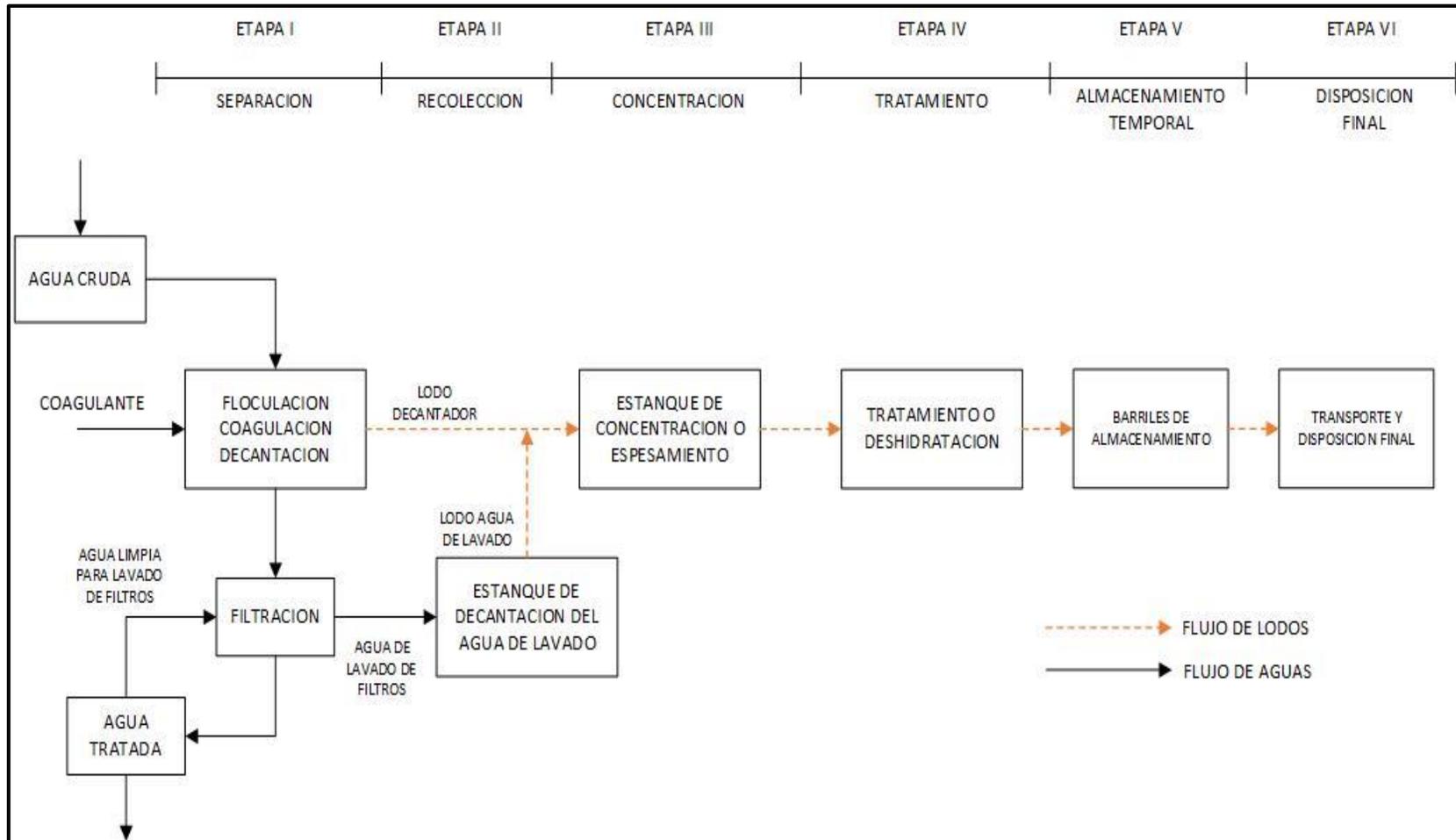


Figura 3. 3 Diagrama de Flujo de gestión de lodos. Fuente: elaboración propia.

Lograr este compromiso por parte de la dirección es un paso importante ya que es el conductor para la implementación y mejoramiento del sistema de gestión. También se debe:

- I. **Involucrar a los empleados y lograr un compromiso con la causa** es un factor de gran importancia al implementar un SGAL, ya que los empleados están directamente relacionados con los diferentes procesos generadores de las corrientes de desechos, y se necesita de su colaboración para obtener mejores resultados.
- II. **Conformar un equipo de trabajo**, que tenga como función el velar por el mejoramiento de los aspectos ambientales que involucran los diferentes procesos.
- III. **Capacitaciones constantes** tanto a los miembros de la gerencia como a los empleados. Estas deben estar orientadas sobre el papel que cada uno va a desempeñar, así como también se deben dar a conocer aspectos en materia legal que incluye la normativa vigente a la que obedecen las emisiones provenientes de la planta, esto incluye normativa legal nacional e internacional si aplica. También se debe facilitar al personal el conocimiento para saber identificar oportunidades de mejora dentro de los procesos productivos de manera que con las diferentes aportaciones de los empleados se pueda lograr que la implementación del programa consiga mayor éxito.

#### 3.3.1.2. ASPECTOS AMBIENTALES

En los aspectos ambientales se consideran las condiciones identificadas como situaciones problemáticas generales en las industrias textiles, entre ellas están:

- Deficiente o nula caracterización fisicoquímica, microbiológica o de peligrosidad de los lodos.
- Incumplimiento del aspecto legal en las emisiones provenientes de la Industria Textil.
- Personal no capacitado involucrado en la gestión de lodos y procesos relacionados.

- Almacenamiento incorrecto de lodos, lo que incluye el espacio y los recipientes o materiales utilizados para su almacenamiento temporal o permanente.
- Disposición temporal de los lodos.
- Manejo y transporte para su disposición final externa, si es fuera de la industria productora del lodo, o disposición final interna si tiene lugar dentro de las instalaciones de la industria productora.

#### 3.3.1.3. EVALUACION

Para llevar a cabo la evaluación de las actividades generadoras de residuos y lodos es necesario dar respuesta a algunas interrogantes como las siguientes y otras que resulten necesarias:

- ¿De qué operaciones o procesos provienen las corrientes de desecho que se tratan en la planta de tratamiento de aguas residuales?
- ¿Qué cantidad de aguas residuales son tratadas diariamente en la planta?
- ¿Qué materias primas usadas generan las aguas residuales?
- ¿Cuál es el contenido de las materias primas generadoras de desechos?
- ¿Cuál es la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas?
- ¿Qué se hace con el agua tratada? ¿Qué control recibe? ¿Qué contienen?
- ¿Qué se hace con los lodos obtenidos? ¿Cómo se disponen? ¿Qué contienen?
- ¿Qué tipo de registros se utilizan en esta etapa?
- ¿Es posible mejorar estas acciones? ¿Cómo?

#### 3.3.1.4. RECOLECCION DE DATOS E INFORMACION

Para llevar a cabo la evaluación es necesario recolectar datos e información, esto puede hacerse apoyándose en registros. Los registros que se posean sirven para identificar y caracterizar las corrientes de desechos.

Ejemplo de información y datos necesarios son los siguientes:

- Diagramas de flujos de procesos.
- Manuales de procedimientos.
- Especificaciones y hojas de datos de equipos.
- Desechos clasificados como peligrosos.
- Inventario de emisiones (agua, aire, lodos).
- Análisis de desechos (aguas residuales, aguas tratadas, lodos).
- Materias primas utilizadas.
- Hojas de datos de materias primas.
- Cantidades de materias primas utilizadas.

#### 3.3.1.5. DIAGRAMAS DE FLUJO Y BALANCES DE MATERIA

Los diagramas de flujo son básicos para identificar y organizar información necesaria para la evaluación. Los balances de materia sirven para cuantificar entradas y salidas de materias primas, efluentes, emisiones y acumulaciones. Estos instrumentos permiten identificar las corrientes de residuos y lo que se está haciendo con ellos.

Un ejemplo de diagrama de flujo se muestra en la figura 3.1 en la cual se define el proceso de tratamiento de aguas residuales y de gestión de los desechos generados.

El balance de materia matemáticamente viene dado por:

$$\text{Masa que entra} = \text{Masa que sale} + \text{Masa acumulada} \quad (\text{Ec. 3. 1})$$

De la consideración matemática anterior se obtienen cantidades de lo que se quiere encontrar. La información para realizar este tipo de evaluación puede encontrarse en registros que contengan:

- Cantidad de materia prima utilizada en el proceso.
- Cantidad de agua residual que entra a la planta de tratamiento.
- Cantidad de lodos que se producen en la planta de tratamiento.
- Cantidad de agua tratada que se obtiene.

- Análisis de aguas residuales, aguas tratadas y lodos.

#### 3.3.1.6. VISITAS DE CAMPO

Es recomendable realizar visitas a los lugares donde son generadas las corrientes de desechos para familiarizarse con los procesos. Por ejemplo, conocer el camino que recorren las aguas residuales antes de llegar a la planta de tratamientos, el tratamiento que reciben dentro de la planta (tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario), los productos obtenidos de la planta (agua tratada, lodo) y la disposición final y/o temporal que se da a los mismos. Este conocimiento permite generar alternativas para la minimización de residuos y realizar una gestión ambiental adecuada.

#### 3.3.1.7. PRIORIZAR CORRIENTES DE DESECHOS

Gestionar ambientalmente los desechos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas también incluye la búsqueda de opciones para minimizarlos. Idealmente todas las corrientes de desechos y procesos de producción deberían de ser evaluadas y corregidas, sin embargo en la práctica esto difícilmente se logra todo al mismo tiempo, por eso es necesario concentrarse en identificar, evaluar, priorizar, y corregir las corrientes de desechos y procesos más importantes.

Algunos criterios a tomar en cuenta a la hora de priorizar las corrientes de desecho y operaciones son las siguientes:

- Presupuesto disponible para tratamiento y disposición de residuos.
- Cantidad de residuos
- Peligrosidad de los residuos
- Facilidad de reducción
- Potencial de riesgo ambiental
- Cumplimiento legal
- Entre otros

### 3.3.1.8. ALTERNATIVAS DE MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS

A partir de la evaluación y priorización es posible generar alternativas para la reducción de residuos, para ello se pueden considerar diferentes técnicas que incluyen el reuso, reciclaje y opciones de reducción. En la figura 3.4 se resumen esquemáticamente las técnicas que propone el Waste Minimization Opportunity Assessment (1988), algunas se describen brevemente a continuación:

- a) Buenas Prácticas Operativas: Estas prácticas operativas se aplican en el aspecto humano de las operaciones de fabricación, pueden ser implementadas con un bajo costo de inversión y traer muchos beneficios como consecuencia. Una de las ventajas de esta técnica es que puede ser utilizada en todas las áreas de la planta volviéndola más eficiente.
- b) Cambio de tecnologías: El cambio de tecnologías se encuentra orientados hacia los procesos y el equipo utilizado, cambiar el equipo incurre en un gasto muy elevado, hacer modificaciones puede resultar un tanto más económico. En este se incluyen cambios en el proceso de producción, equipo, automatización y/o cambios en las condiciones operativas (presión, temperatura, razones de flujo entre otros).
- c) Cambios de materia prima: Es importante contemplar dentro de los procesos operativos la sustitución de los materiales utilizados a materiales ambientalmente amigables que ayuden con el propósito de reducir y/o eliminar los residuos.
- d) Uso y Reuso: Esta técnica de reciclaje involucra el retorno de material de “desecho” al origen del proceso sustituyendo parte de la materia prima reduciendo costos de operación trayendo beneficios económicos.

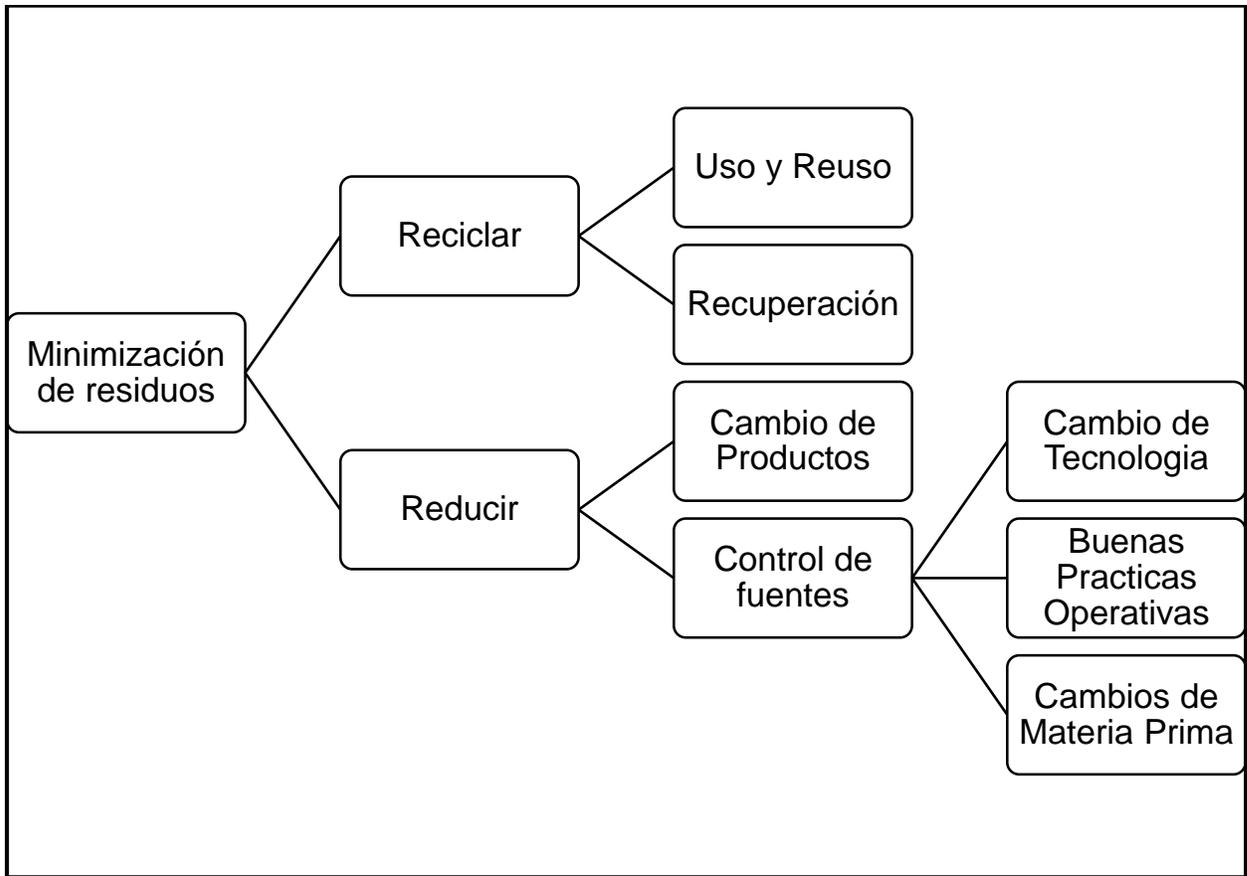


Figura 3. 4 Técnicas para minimizar residuos. Fuente : Waste Minimization Oportunity Assesment (1988).

### 3.3.2. GUIA PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DE LODOS PARA LA INDUSTRIA EJEMPLO

La guía propuesta está compuesta por los pasos enumerados en la figura 3.5. En el paso 1 se contempla la gestión del lodo, este paso recoge las consideraciones a las etapas I, II y III de la figura 3.3.

L



Figura 3. 5 flujograma de gestión de lodos. Fuente: Elaboración propia

## PASO 1

### 3.3.2.1. PROCESO DE SEPARACION

En el proceso de separación se contemplan las etapas de coagulación, floculación y decantación así se lleva a cabo la separación del agua de los sólidos.

Los coagulantes metálicos son los más utilizados para llevar a cabo esta tarea ya que una misma sustancia sirve como coagulante y floculante. Las más conocidas son las sales de hierro y sulfato de alúmina. Se recomienda utilizar como coagulante-floculante las sales de hierro, específicamente el sulfato férrico ya que trabaja en un rango más extenso de pH (4-11). Si el pH es estable y oscila entre 6 y 8 puede utilizarse el sulfato de alúmina (Alumbre). Muchas veces se pueden estar utilizando las cantidades equivocadas de estas sustancias lo que puede provocar menor separación de sólidos o desperdicio de material coagulante, por esta razón se recomienda utilizar un método para conocer la cantidad óptima de coagulante-floculante que se debe de añadir al proceso de separación. Este método puede ser la prueba de jarras descrito en el siguiente apartado.

### 3.3.2.2. PRUEBA DE JARRAS

Las pruebas de Jarras se han creado para 2 fines básicamente: Como herramienta para diseñar una Planta de Agua Potable; y como SIMULADOR, para determinar en Laboratorio las dosis de insumos químicos que deben aplicarse en una Planta ya existente a fin de lograr cambios favorables en la Calidad del Agua.

- **Diseño de plantas de agua potable:**

En cientos de casos, Sociólogos, Geólogos, Ingenieros Sanitarios, Químicos, Civiles y de muchas otras disciplinas se han visto en la realidad de tener que plantear, diseñar y construir una Planta de Tratamiento de Agua Potable. Para ello han debido estudiar el caso en particular considerando cuál es el mejor lugar para llevar a cabo el proyecto, cual es la mejor fuente de agua superficial cercana a la zona donde será distribuida ya potabilizada, qué tipo de tratamiento debe llevarse a

cabo a fin de obtener agua de buena calidad a precios asequibles, cual es el volumen de agua a producir de acuerdo a la demanda actual y a futuro, qué garantías hay de que la fuente perdure en calidad y volumen durante el tiempo, entre otros factores.

Dos puntos muy importantes a plantearse durante dichos estudios previos son:

- **Cuál debe ser el tiempo de retención del agua en determinada estación de tratamiento:** Esto puede resolverse satisfactoriamente empleando un Equipo de Prueba de Jarras, realizando múltiples e indeterminadas pruebas a fin de definir: Cuánto tiempo debe estar retenida el agua en cada estación de tratamiento (Mezcla Rápida, Floculador o Mezcla Lenta y Sedimentador) a fin de que el producto químico a utilizar tenga un excelente rendimiento y mejore la calidad del agua (refiriéndose al factor de clarificación y disminución de metales u otros elementos no deseados).
- **Cuál debe ser la gradiente de velocidad para cada periodo de tiempo de retención:** Es decir, definir las revoluciones por minuto (RPM) que deben ser aplicadas para cada estación de tratamiento y que aseguren una reacción completa de los productos químicos antes de pasar a la siguiente etapa.

Una vez definidos los tiempos de retención y las gradientes de velocidad ideales para un desempeño óptimo de insumos químicos y obtención de agua potable de buena calidad, se puede diseñar la Planta de Tratamiento. Puede ocurrir que, a lo largo del año se haya evaluado la calidad del agua de la fuente en las Pruebas de Jarras, y se utilizará más de un insumo químico para clarificación con desempeños diferentes, entonces se debe diseñar la Planta en base al insumo químico cuyo uso predomina a lo largo del año.

- **Simulador de Planta de Tratamiento de Aguas:**

Una vez que la Planta de Tratamiento de Agua es una realidad, se debe lidiar diariamente con turbiedades variables, u otro tipo de situaciones que obligan a

regular muchas veces al día la dosis de insumos químicos que se emplean. Para estos quehaceres diarios, es básico que se cuente con una Prueba de Jarras que será como un SIMULADOR de situaciones que suceden en planta, y ayudará a construir una Tabla de Dosis de Insumos Químicos (NTU Vs. Concentración Insumo). En dichas tablas, se puede mostrar los resultados de situaciones de varios días de trabajo. Cuando se ha tenido una turbiedad dada, el personal de Laboratorio toma una muestra representativa y la coloca en las 6 jarras del equipo.

Por ejemplo: 1 muestra de 30 NTU de turbiedad distribuida en 6 jarras. Seguidamente colocan pequeños vasos (ver figura 3.5) delante de las jarras conteniendo soluciones de diferentes concentraciones, por ejemplo: 5, 10, 15, 20, 23 y 25 mg/L de sulfato de aluminio.



*Figura 3. 6 Equipo para realizar la prueba de jarras. Fuente: [www.r-chemical.com](http://www.r-chemical.com)*

Una vez introducido a la memoria del equipo las condiciones de tratamiento: Tiempo y Gradiente para las Mezcla rápida, floculación y sedimentación, se debe disponer de un medio para dosificar el contenido de sulfato de aluminio al mismo tiempo apenas se encienda el equipo.

Una vez aplicado el coagulante-floculante se espera a que culmine todo el proceso constituido por 3 tiempos diferentes y delimitados con alarmas para pasar de una situación a otra y finalmente quedando estático simulando la etapa de sedimentación.

Una vez la última alarma indica el final del proceso, se observan las jarras y se da puntajes a cada uno, utilizando la Tabla del Índice de Floculación de Willcomb (ver tabla 3.1). Luego se debe proceder también a tomar una muestra del centro de la jarra para medir la turbiedad, cuidando de no remover los sedimentos. Una vez que se obtienen los resultados, se puede decidir cuál es la dosis óptima de sulfato de aluminio cuando tienes 30 NTU de turbiedad.

La mejor dosis estará definido por la jarra que haya conseguido el Índice de Willcomb mayor y una turbiedad adecuada para pasar a la siguiente etapa que por lo general es la de filtración.



*Figura 3. 7 Prueba de jarras finalizada. Fuente: [www.r-chemical.com](http://www.r-chemical.com)*

*Tabla 3. 1 Tabla de índice de Willcomb*

No. INDICE	INDICE DE WILLCOMB
0	Floculo coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Floculo muy pequeño, casi imperceptible.
4	Disperso. Floculo bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta).
6	Claro. Floculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Floculo que deposita fácil pero no completamente.
10	Bueno. Floculo que deposita fácil y completamente.

*Fuente: [www.r-chemical.com](http://www.r-chemical.com)*

### 3.3.2.3. RECOLECCION DE LODO HUMEDO

En esta etapa los lodos provenientes del tratamiento del proceso de separación son colectados, las corrientes de lodos decantados y lodos del estanque de decantación del agua de lavado se unen y son llevados al estanque de espesamiento.

### 3.3.2.4. ESPESAMIENTO

El espesamiento es una operación que se lleva a cabo para la reducción de volumen de los lodos lo que a largo plazo disminuye costos de disposición y procesos operativos. Una de las alternativas contempladas para llevar a cabo esta operación es el espesamiento en clarificadores primarios y secundarios. Esta alternativa trae consigo la necesidad de instalación de equipo en la planta lo que puede incurrir en un gasto grande para la organización por lo tanto lo más recomendable es contemplar el espesamiento por gravedad que requiere bajo costo de implementación y gran capacidad de almacenamiento de lodo, esta alternativa puede requerir cierta cantidad de terreno disponible y considerar la profundidad del tanque, la carga hidráulica y la pendiente de piso.

## **PASO 2**

### 3.3.2.5. FILTRO PRENSA

Los filtros prensa (véase figura 3.8) son utilizados para la deshidratación de lodos que han sido espesados previamente. Estos filtros constan de un paquete filtrante con placas y telas de polipropileno (u otro parecido), este paquete se abre y cierra mediante un dispositivo electro-hidráulico. El funcionamiento sigue de la siguiente manera: los lodos previamente decantados en un tanque clarificador / espesador y con una concentración del 40-50 % de sólidos se bombean al filtro prensa mediante una bomba que va aumentando progresivamente la presión de alimentación hasta conseguir la presión de filtración requerida, entre 600 kPa y 1.000 kPa.



*Figura 3. 8 filtro prensa. Fuente: GEDAR, tratamiento de aguas residuales.*

El ciclo de filtrado da comienzo con el paquete filtrante cerrado y alimentando el lodo mediante la bomba. El sólido queda retenido en las cámaras mientras que el agua se filtra a través de las telas, situadas en el interior de las cámaras formadas entre cada dos placas. Cuando el volumen de filtrados es mínimo se considera finalizado el proceso de filtración y empieza la apertura del filtro, produciéndose la descarga de las tortas. Una vez concluida la descarga, se cierra el filtro y comienza un nuevo ciclo de filtrado.

La remoción de humedad con este tipo de equipos resulta muy eficiente es por ello que se recomienda el uso de esta práctica que resulta mejor si las cantidades obtenidas de lodo húmedo son considerablemente grandes. Una de las ventajas es que el tiempo de secado en los patios se reduce y el lodo se evacua de la planta de forma rápida.

### **PASO 3**

#### **3.3.2.6. PATIOS DE SECADO**

Este método es utilizado en plantas de tratamiento medianas y pequeñas ya que es económicamente factible, si se cuenta con terreno suficiente disponible dentro de la

planta. También es necesario tomar en cuenta las condiciones climáticas en el lugar y las propiedades del lodo. Es importante recordar que el secado del lodo influye en el costo de transporte y disposición final de este.

Un lecho típico de arena considera como el de la figura 3.9. Los tubos para drenaje deben tener un diámetro interior mínimo de 10 cm con una pendiente mínima de 1%.

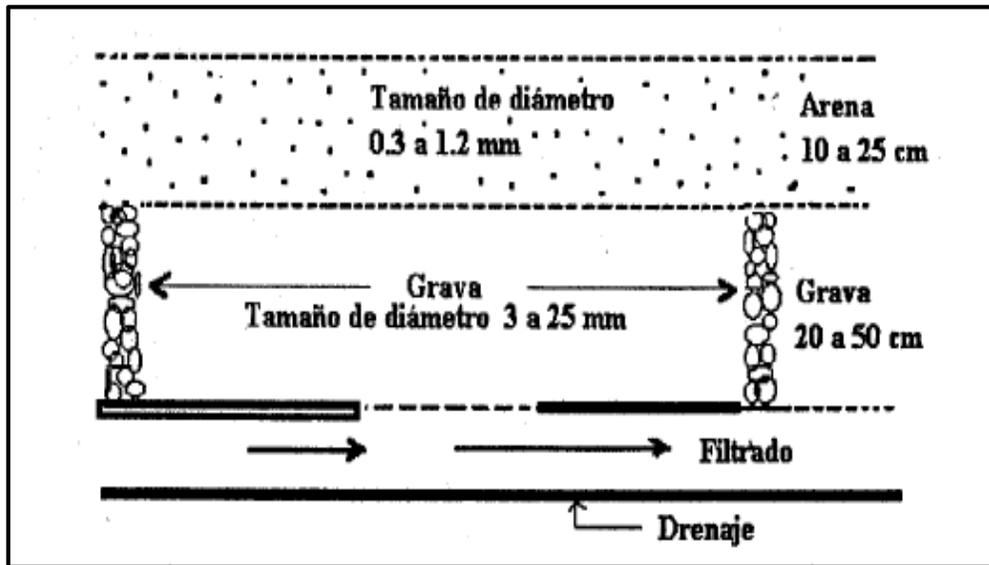


Figura 3. 9 Lecho de secado de arena. Fuente:  
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4314/Capitulo8.pdf>

El tiempo aproximado que se requiere para lograr este bajo porcentaje de humedad puede variar entre 15 y 20 días dependiendo de las condiciones climáticas que imperan en el lugar. Este tratamiento puede seguido del filtro prensa para mayor remoción de humedad.

## PASO 4

### 3.3.2.7. RECOLECCION DE LODO SECO

Cuando el lodo está seco (eliminación de humedad de 90% a 95%) es necesario removerlo del lecho de secado y trasladarlo al lugar donde se ha provisto su almacenamiento temporal en la planta.

Algunos implementos necesarios para llevar a cabo esta operación se encuentran ilustrados en la figura 3.10, descritas sus especificaciones en la tabla 3.2 y utilizados de la siguiente manera:

- Equipo de seguridad: se ha considerado la utilización de guantes, gafas, botas y si fuera necesario mascarillas para protegerse del polvo u olores.
- Pala: utilizada para la remoción del lodo seco y traslado de los mismos a los sacos.
- Sacos: Se recomienda que si el lodo se deposita en sacos estos sean de polipropileno o polietileno ya que en caso de existir algún tipo de líquido facilitaría su liberación. También pueden ser utilizados para el confinamiento temporal de lodos tolvos, barriles de acero o plásticos. Se propone este tipo de depósito temporal por su facilidad de manejo dentro de la planta, ubicación en el espacio de almacenamiento y valor económico relativamente bajo.

*Tabla 3. 2 Equipo y especificaciones para la recolección de lodos*

<b>Equipo</b>	<b>Especificaciones</b>
Guantes	De material tipo látex, gruesos, con interior afelpado para trabajo pesado.
Gafas de seguridad	Transparente de plástico, Patillas ajustables, puente nasal suave, Lentes policarbonato envolventes, de revestimiento antiempañante y envolvente.
Botas	De material tipo caucho, impermeable, resistentes para trabajo pesado, plantilla resistente a abrasiones.
Casco de seguridad	De color naranja para alta visibilidad, trinquete ajustable, fijador de careta y orejera, de material HDP.
Pala	Pala cuadrada con mango de madera. Para recoger o trasladar material de diferentes tipos, elaborada con lámina de acero.
Carretilla	Fabricada con lamina metálica (de acero) de alta resistencia, con capacidad aproximada de 76 lt.
Sacos	De material de polipropileno o polietileno con capacidad aproximada de 100 lb.

*Fuente: Elaboración propia.*

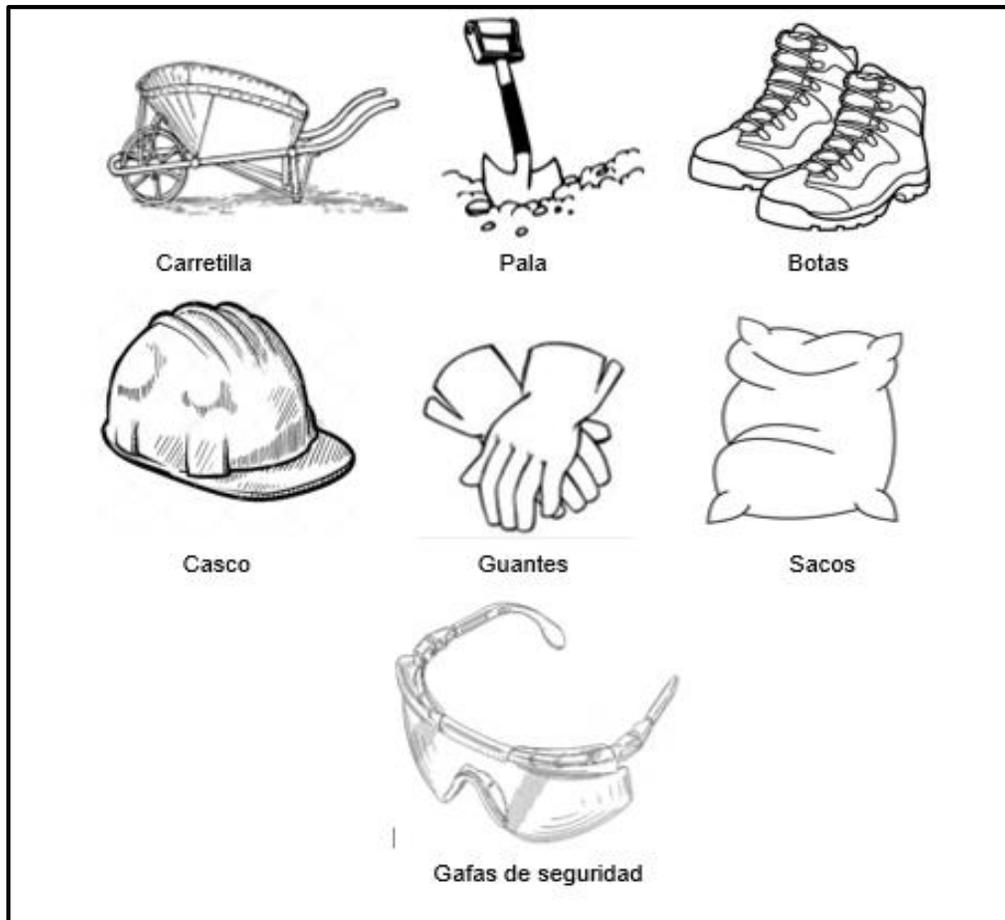


Figura 3. 10 Equipo a utilizar para remoción de lodo del patio de secado. Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2.8. ALMACENAMIENTO TEMPORAL

El almacenamiento temporal para los lodos debe estar debidamente identificado y señalizado. El lugar debe contar con un espacio suficiente para almacenar los sacos o barriles según sea el caso, conteniendo los lodos. Para estimar este espacio se debe considerar la cantidad de lodos que se generan en un periodo de tiempo. Se puede recomendar un lugar con espacio disponible para almacenar de 1000 a 1500 kg semanales. Para evacuar esta cantidad de lodo de la planta se debe llevar un control de los kilogramos que ingresan al lugar (véase anexos tabla G.1), cuando la cantidad límite (800-1300 kg) se encuentra cerca a superar se contacta a la entidad encargada del retiro de lodos para su disposición final. El espacio de almacenamiento debe estar ventilado y a temperatura ambiente, no se requiere un ambiente controlado para esta operación. Se debe ser cuidadoso con la limpieza

del lugar y el orden de estibado de los sacos para prevenir que estos se rompan y se provoque dispersión de lodos y suciedad.

## **PASO 5**

### **3.3.2.9. PESAJE DE LODOS**

Según la presente propuesta los lodos han sido pesados al ingreso del lugar donde se les almacena temporalmente como parte del control interno. Cuando estos lodos se retiran de la planta para su disposición final es necesario que sean nuevamente pesados ya que muy probablemente según la cantidad en peso así sea el coste económico de disposición final.

## **PASO 6**

### **3.3.2.10. TRANSPORTE**

Los medios utilizados para el transporte del lodo deben estar debidamente autorizados por las entidades encargadas en el país. Estos medios de transporte pueden variar su tamaño dependiendo del tipo de almacenaje temporal que se dé a los lodos, que puede variar entre sacos, barriles metálicos o contenedores de gran tamaño según las necesidades de la planta.

## **PASO 7**

### **3.3.2.11. DISPOSICION FINAL**

Según el Anteproyecto de Reglamento Especial De Aguas Residuales y Lodos (2014), el lodo analizado se clasifica como peligroso (Clase 3). Lo que indica que estos lodos deben ser utilizados en operaciones de aprovechamiento energético o coprocesamiento, en caso de no poder ser aprovechados de esta manera se debe gestionar su disposición en rellenos sanitarios aprobados legalmente. Según la Norma Mexicana (SEMARNAT-2002) los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los límites inferiores colocándolos como excelentes.

Por otro lado, el contenido de Aluminio del lodo analizado sobrepasa la cantidad de 18,500 ppm, lo que indica que no puede ser utilizado como abono en terrenos agrícolas, ya que estos suelos debido a la explotación indiscriminada poseen pH bajos y niveles de Aluminio disponible como el de este lodo pueden causar un estrés en las tierras y cultivos.

Por lo tanto, después de ser almacenados los lodos temporalmente y cuando la cantidad se estime en los valores límites de almacenamiento, la entidad encargada de la disposición final debe ser contactada para el retiro de lodos de la planta y ser llevados al relleno sanitario para su confinamiento. La forma para el registro de la cadena de custodia para la entrega y transporte para la disposición final de lodos puede consultarse en anexos tabla G.2.

### **3.4. RECOMENDACIONES PARA MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS Y OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS.**

#### **3.4.1. AGUA**

- a) Instalación de contadores: para medir y controlar el agua que se utiliza en los diferentes procesos de producción, promover la reducción e identificar en cuales procesos se puede disminuir la cantidad de agua que se están utilizando. A menor agua utilizada menor cantidad de agua residual a tratar en la planta de tratamiento, menor cantidad de lodos obtenidos.
- b) Remoción en seco de los sólidos presentes en las áreas de trabajo, antes de utilizar agua para limpieza, lo que conduce a una mayor recuperación de residuos sólidos, disminución del consumo de agua, de la generación de aguas residuales, así como de la carga contaminante en estas últimas. Con esta práctica se recupera de forma sólida, y lo más secos posible, los desechos, lo que hace más viable su manejo.
- c) Verificar con cierta frecuencia la existencia de fugas, goteos o derrames de agua que puedan acarrear costos adicionales a la empresa.

- d) El aprovechamiento del agua de lluvia es una alternativa de minimización en los costos de producción para industrias que están localizadas en zonas lluviosas y permite reducir el consumo de agua notablemente. El agua de lluvia es blanda y puede servir para alimentar, después del tratamiento adecuado, calderas y otros procesos, en los que la calidad del agua requerida es inferior a la del agua potable.
- e) La recirculación de las aguas de enfriamiento y generación de vapor, el agua utilizada para estas actividades es de calidad aceptable para ser aprovechada en la misma operación, por lo que se recomienda evaluar principalmente aquellas operaciones con mayor demanda de agua.

### **3.4.2. ENERGIA**

- a) Utilizar focos y lámparas más eficientes y medioambientalmente amigables, tener sistemas de iluminación por sección con el fin de evitar que las iluminarias estén encendidas sin ser utilizadas.
- b) Realizar un mantenimiento preventivo de la maquinaria para ahorrar energía y mejorar la calidad en la fabricación.
- c) Moderar la intensidad de la luz en las zonas de menor necesidad y revisar continuamente los niveles de iluminación.

### **3.4.3. GESTION DE LOS RECURSOS**

- a) Informar al departamento de compras sobre los productos que pueden causar daños al medio ambiente y los posibles sustitutos de los mismos.
- b) Comprar en cantidades necesarias los tintes y otras materias primas evitando el desperdicio o el desuso de estos.
- c) Estudiar métodos de empaque y embalaje para evitar su uso excesivo y/o innecesario.
- d) Reutilizar materias primas que puedan resultar sobrantes o gestionar adecuadamente su disposición.

- e) Ajustar adecuadamente los procesos, especialmente aquellos que involucran materias primas contaminantes por ejemplo colorantes, productos de limpieza, entre otros.
- f) Cumplir con las especificaciones para el almacenamiento de materias primas, para evitar contaminación y pérdidas en la calidad de los productos.
- g) Ajustar adecuadamente los procesos, especialmente aquellos que involucran materias primas contaminantes por ejemplo colorantes, productos de limpieza, entre otros.
- h) Realizar las pruebas sugeridas para agregar las cantidades necesarias de floculante-coagulante para no incurrir en gasto innecesario de las sustancias químicas y evitar la sobrecarga del mismo en el agua tratada y los lodos generados.
- i) Implementar un manual de Gestión Ambiental de lodos dentro de la planta para mejorar los aspectos y procesos relacionados con la generación de lodos.
- j) Establecer metas para la reducción de residuos y su carga contaminante.

## RECOMENDACIONES

1. Implementar en todas las plantas de producción, que cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales, un sistema de gestión ambiental de lodos ya que de esta manera se contribuye positivamente al cuidado del medio ambiente.
2. Capacitar debidamente al personal de la planta para una implementación correcta del Sistema de Gestión Ambiental de lodos.
3. Para lograr una implementación exitosa del sistema de gestión ambiental de lodos se debe de contar con el compromiso, el apoyo financiero y técnico de las altas autoridades de la empresa.
4. Realizar al menos una vez al año la verificación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a los lodos generados en la planta y compararlos con la normativa vigente ya que esto permite un mejor control de los residuos y su aprovechamiento.
5. Hacer un estudio de las sustancias químicas utilizadas en el proceso productivo para determinar cuáles de estos son los que se transfieren a los lodos residuales para que de esta manera se pueda determinar posibles alternativas de cambio o reducción de estos productos.

## CONCLUSIONES

1. De las muestras analizadas y resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se clasificó al lodo como excelente ya que se encuentra bajo los niveles máximos establecidos según la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.
2. De los resultados obtenidos se conoce que el valor reportado para el aluminio es de 18525.39 ppm. Este elevado contenido indica que el lodo no puede ser utilizado como abono en suelos con pH bajo ya que puede causar daños en los cultivos y en los suelos.
3. Se debe disponer adecuadamente los lodos generados, ya sea tratándolos insitu o entregándolo a las entidades autorizadas por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para el transporte, tratamiento y disposición final de lodos ya que por el momento es la alternativa que se considera adecuada.
4. La caracterización de lodos resulta ser muy importante para la generación de alternativas de disposición de lodos, ya que de esta manera se puede conocer su carga contaminante y la mejor forma de tratarlos y disponerlos.
5. El Manual de Gestión Ambiental de Lodos es un documento que le permitirá a la industria textil incluir todas aquellas operaciones y procedimientos que tengan que ver con la generación y disposición final de lodos.
6. El alto nivel de aluminio presente en los lodos de la industria ejemplo puede provenir de las sustancias químicas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 3M. (2016). *3M Ciencia Aplicada a la Vida*. Obtenido de [http://www.3m.com.mx/3M/es\\_MX/inicio/todos-los-productos-3m/~/3M-OX-Gafas-de-Protecci%C3%B3n?N=5002385+8709313+8711017+8711405+8717550+8720539+8720549+3294361660&rt=rud](http://www.3m.com.mx/3M/es_MX/inicio/todos-los-productos-3m/~/3M-OX-Gafas-de-Protecci%C3%B3n?N=5002385+8709313+8711017+8711405+8717550+8720539+8720549+3294361660&rt=rud)
- Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación. (29 de Enero de 2016). *Tecnología - La Industria Textil*. Obtenido de NATURAEDUCA: [http://www.natureduca.com/tecno\\_indust\\_text01.php](http://www.natureduca.com/tecno_indust_text01.php)
- Blandon, S. (2010). *Tratamiento y adecuada disposición de lodos domésticos e industriales*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Centro Guatemalteco de Producción más Limpia. (Agosto de 2008). *Guía de Buenas Practicas Ambientales para el Sector Textil en Guatemala*. Obtenido de [http://www.caftadr-environment.org/wp-content/uploads/2016/04/13\\_Cleaner\\_Production\\_Guia\\_de\\_Buenas\\_Practic as\\_Ambientales\\_para\\_el\\_Sector\\_Textil\\_en\\_Guatemala.pdf](http://www.caftadr-environment.org/wp-content/uploads/2016/04/13_Cleaner_Production_Guia_de_Buenas_Practic as_Ambientales_para_el_Sector_Textil_en_Guatemala.pdf)
- Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad de la Ciencia del Suelo. (2007). *Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos*. Chile: Universidad de Concepción.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Coyoacán, Mexico D.F.
- Echeverría, J., Sarceño, W., Y Majano, M. (2007). *Propuesta de un plan para mejorar la productividad en el área de acabados de una planta textil de tejidos de punto salvadoreña: caso de estudio Industria Duraflex S.A. de C.V.* San Salvador: Universidad Francisco Gavidia.
- Eddy, Y Metcalf. (199). *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización*. México.
- Environmental Protection Agency. (1997). *Profile of the Textile Industry*. Estados Unidos de America: National Service Center for Environmental Publications
- Environmental Protection Agency. (Julio de 1988). *Waste Minimization Opportunity Assessment Manual*. Ohio, U.S.
- Environmental Protection Agency. (1989). *POTW Sludge Sampling and Analysis Guidance Document*. Unites States.

- Estrada, J., Morales, B., Y Pimentel, K. (2008). *Diseño de un programa de motivación que contribuya a disminuir el índice de rotación de personal en el área de producción de las empresas textiles, que funcionan en San Juan Opico, Departamento de La Libertad*. San Salvador: Universidad Francisco Gavidia.
- Environmental Protection Agency. (1994). *Industrial Sector Notebook on Plastic Resins and Manmade Fibers*. Estados Unidos de America: National Service Center for Environmental Publications.
- Food and Drug Administration. (2015). *Microbiological Methods & Bacteriological Analytical Manual*. Estados Unidos de América: FDA.
- Fundación para la Educación Integral Salvadoreña. (23 de Marzo de 2016). *Informe de mercado laboral para la especialidad en textil, 2013*. Obtenido de Estadísticas de Economía Textil en El Salvador:  
<http://www.fedisal.org.sv/pdf/Textil.pdf>
- GEDAR. *Tratamiento de aguas Residuales*. Obtenido de Filtro Prensa:  
<https://www.gedar.com/industriales/deshidratacon-de-lodos/filtroprensa.htm>
- ISO 14001. (2004). *Sistemas de Gestión Ambiental*.
- Martínez, L. (30 de Marzo de 2016). *ASI: el sector textil es clave en la economía*. Obtenido de La Prensa Gráfica:  
<http://www.laprensagrafica.com/2015/03/23/asi-el-sector-textil-es-clave-en-la-economia>
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. (2014). *Anteproyecto de Reglamento Especial de Aguas Residuales y Lodos*. San Salvador.
- Ministerio de Trabajo y Asuntos personales. (2014). *Manual de Buenas Prácticas Ambientales en la Familia Profesional: Industrias Textiles*. Obtenido de  
[https://www.dipuleon.es/img/File/UPD/mbp\\_textiles2.pdf](https://www.dipuleon.es/img/File/UPD/mbp_textiles2.pdf)
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002. (2002). *Lodos y Biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. México.
- NOVA Seguridad. (2016). *Especificaciones Equipo de Seguridad*. Obtenido de  
<http://novaseguridad.cl/bota-caucho-minera/>
- Organizacion Mundial del Comercio. (20 de Marzo de 2015). *Estadísticas Mundiales del Rubro Textil*. Obtenido de Estadísticas del Comercio Internacional, 2014:  
[https://www.wto.org/spanish/res\\_s/statis\\_s/its2014\\_s/its14\\_merch\\_trade\\_product\\_s.htm](https://www.wto.org/spanish/res_s/statis_s/its2014_s/its14_merch_trade_product_s.htm)

*Proceso de producción de textileras.* (2 de Abril de 2016). Obtenido de QUIMINET:  
<http://www.quiminet.com/articulos/el-proceso-de-produccion-de-textiles-10175.htm> 04-04-2016

Salmerón, A. (2012). *Gestión ambiental de lodos en la industria del sector textil húmedo en El Salvador.* San Salvador, El Salvador.

SENA. (s.f.). *Fichas Tecnicas de los Equipos.* Obtenido de  
[http://contratacion.sena.edu.co/\\_file/procesos/576\\_4.pdf](http://contratacion.sena.edu.co/_file/procesos/576_4.pdf)

# **ANEXOS**

## A. CLASIFICACION, PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y VALORES MAXIMOS PERMITIDOS DE LODOS (NORMA MEXICANA Y EPA 1994)

Tabla A. 1 Valores límite de concentración de contaminantes en lodos. Fuente: EPA 1994.

Concentration Limits		
Pollutant	Ceiling Concentrations (Table 1 of 40 CFR 503.13) (milligrams per kilogram, dry weight)	Pollutant Concentrations (Table 3 of 40 CFR 503.13) Monthly Average (milligrams per kilogram, dry weight)
Arsenic	75	41
Cadmium	85	39
Chromium	3,000	1,200
Copper	4,300	1,500
Lead	840	300
Mercury	57	17
Molybdenum*	75	--
Nickel	420	420
Selenium	100	36
Zinc	7,500	2,800

Fuente: EPA 1994.

Tabla A. 2 Límites máximos permisibles para metales en biosólidos.

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS 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

Fuente: Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

## B. EXPORTACIONES E IMPORTACIONES DE TEXTILES DE ALGUNAS ECONOMIAS

Tabla B. 1 Exportaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013

	Valor						Parte que corresponde a los textiles en las exportaciones totales de mercancías de la economía	
	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013	
Mundo	104354	154784	294193	284158	305898	2.0	1.7	
Argentina	158	258	300	222	204	0.5	0.3	
Australia	153	347	274	257	227	0.3	0.1	
Bangladesh b, c	343	393	1898	1634	1893	7.6	6.5	
Belarús	-	410	745	729	738	3.0	2.0	
Brasil	769	895	1108	996	949	1.1	0.4	
Canadá	687	2204	2024	2018	1906	0.7	0.4	
Chile	33	114	213	193	166	0.5	0.2	
China d	7219	16135	94411	95450	106578	5.4	4.8	

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 2 Exportaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013 (continuación).

	Valor						Parte que corresponde a los textiles en las exportaciones totales de mercancías de la economía	
	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013 a	
Colombia	133	268	486	454	386	1.7	0.7	
Corea, República de	6076	12710	12369	11970	12043	3.7	2.2	
Ecuador	3	40	165	119	122	0.5	0.5	
Egipto	554	411	1523	1365	1489	2.1	5.2	
El Salvador d	38	79	283	276	319	3.3	5.8	
Emiratos Árabes Unidos c, e	6	1289	1913	2218	2736	1.2	0.7	
Estados Unidos	5039	10952	13852	13483	13924	1.4	0.9	
Filipinas d	132	297	184	170	172	0.7	0.3	
Guatemala	34	53	278	247	259	3.3	2.6	
Hong Kong, China	8213	13441	11283	10546	10718	4.7	2.0	

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 3 Exportaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013 (continuación)

	Valor						Parte que corresponde a los textiles en las exportaciones totales de mercancías de la economía	
	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013 a	
exportaciones locales c	2171	1174	203	186	165	3.0	0.8	
re-exportaciones c	6042	12267	11080	10360	10321	4.9	2.0	
India	2180	5593	15340	15274	18907	8.4	6.0	
Indonesia	1241	3505	4791	4541	4632	3.9	2.5	
Irán	510	766	939	1097	950	1.4	1.2	
Israel	270	490	801	743	702	1.7	1.1	
Japón	5871	6994	8034	7819	6841	1.2	1.0	
Jordania	31	43	72	96	111	1.0	1.4	
Kenya	21	26	60	70	61	1.4	1.0	

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 4 Exportaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013 (continuación)

	Valor						Parte que corresponde a los textiles en las exportaciones totales de mercancías de la economía	
	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013 a	
Macao, China	136	271	50	21	21	11.1	1.8	
Malasia d	343	1270	2036	1786	1851	1.0	0.8	
Marruecos d	203	123	413	355	361	1.7	1.7	
Mauricio c, d	35	81	114	97	114	3.5	4.0	
México d	713	2571	2140	2246	2446	1.0	0.6	
Nepal c	82	182	292	293	284	21.6	32.1	
Nigeria c	...	10	41	40	38	...	0.0	
Noruega	163	173	196	207	203	0.2	0.1	
Nueva Zelandia	135	146	297	268	253	1.2	0.6	
Pakistán	2663	4532	9082	8705	9341	44.2	37.1	

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 5 Exportaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013 (continuación)

	Valor						Parte que corresponde a los textiles en las exportaciones totales de mercancías de la economía	
	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013 a	
Perú	221	128	374	489	465	0.9	1.1	
República Árabe Siria c	555	158	591	236	105	2.6	5.2	
República Dominicana c, d	...	...	331	333	354	0.5	3.7	
República Libanesa	...	8	43	37	37	1.1	0.7	
Rusia, Federación de	-	483	675	582	596	0.2	0.1	
Serbia	...	...	125	132	163	1.2	1.1	
Singapur	903	907	851	801	891	0.4	0.2	
exportaciones locales	141	293	263	260	293	0.2	0.1	

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 6 Exportaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013 (continuación)

	Valor					Parte que corresponde a los textiles en las exportaciones totales de mercancías de la economía	
	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013 a
re-exportaciones	762	614	587	553	609	0.6	0.3
Sri Lanka c	25	244	198	226	236	2.1	2.4
Sudáfrica c	167	237	235	228	425	0.6	0.4
Suiza	2557	1278	1384	1166	1164	1.0	0.5
Tailandia	928	1958	4072	3521	3874	2.5	1.7
Taipei Chino	6128	11891	11016	10293	10246	4.9	3.4
Tanzanía	...	11	115	106	103	1.8	2.0
Túnez	112	154	468	424	413	3.1	2.4
Turquía	1440	3672	10772	11054	12157	9.6	8.0
Ucrania	-	127	224	232	247	0.7	0.4

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 7 Exportaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013 (continuación)

	Valor						Parte que corresponde a los textiles en las exportaciones totales de mercancías de la economía	
	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013 a	
Unión Europea (28)	-	56824	77137	69723	72150	1.7	1.2	
exportaciones extra-UE (28)	-	15301	23435	22028	22797	1.5	1.0	
exportaciones intra-UE (28)	-	41523	53702	47695	49353	1.8	1.3	
Viet Nam c	...	299	3770	3894	4786	2.2	3.6	
a O el año más próximo.								
b Las cifras corresponden al año fiscal.								
c Incluye estimaciones de la Secretaría.								
d Incluye importantes exportaciones de las zonas de elaboración.								
e Principalmente reexportaciones.								

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 8 Importaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013.

	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013 a
Arabia Saudita, Reino de b	1312	986	1723	1939	2145	2.0	1.3
Argentina	53	653	1293	1133	1143	2.5	1.6
Australia c	1445	1632	2550	2587	2617	1.5	1.1
Bangladesh b, d	452	1350	6610	5840	6217	17.5	17.1
Belarús	-	256	645	640	665	2.1	1.5
Bosnia y Herzegovina	...	...	337	297	361	2.8	3.5

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 9 Importaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013.(continuación)

	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013 a
Brasil e	252	1045	4303	4300	4221	1.6	1.8
Camboya b, c	...	432	2150	2487	3080	25.1	23.7
Canadá c	2325	4126	4502	4591	4566	1.4	1.0
Chile	203	431	1192	1198	1333	1.8	1.7
China f	5292	12832	18901	19810	21563	2.3	1.1
Colombia	75	558	1530	1522	1461	3.4	2.5
Corea, República de	1947	3359	5658	4882	5218	1.4	1.0
Costa Rica f	83	184	338	343	284	2.5	1.6
Egipto	211	206	2265	2278	2390	1.5	4.1
El Salvador f	111	325	1032	1024	1100	13.4	10.2
Emiratos Árabes Unidos b	983	2055	2707	3067	3460	2.6	1.4
ERY Macedonia	...	27	476	439	481	9.8	7.3

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 10 Importaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013.(continuación)

	1990		2000		2011		2012		2013		2005	2013 a
Estados Unidos	6730		15985		25359		25956		27056		1.3	1.2
Filipinas	910		1250		814		796		907		2.2	1.4
Guatemala f	38		59		1068		984		1015		11.1	5.8
Honduras b, c	26		501		1934		1566		1497		17.9	13.6
Hong Kong, China	10182		13716		11049		10364		10420		4.6	1.7
importaciones definitivas b	4140		1449		...		3		98		0.2	0.0
India	240		585		3393		3318		3579		1.4	0.8
Indonesia	785		1251		5654		5570		5788		1.0	3.1
Irán	...		298		693		654		745		1.1	1.5
Israel	474		759		788		706		710		1.6	0.9
Japón	4133		4934		9195		9013		8766		1.1	1.1
Jordania	107		172		635		692		829		6.5	3.8

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 11 Importaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013.(continuación)

	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013 a
Kenya	17	47	369	324	346	4.1	2.1
Kuwait b	168	212	451	548	414	2.1	1.4
Macao, China	619	906	83	66	33	15.6	0.3
Madagascar b	20	200	329	269	279	15.5	8.7
Malasia f	951	1114	1466	1368	1454	0.8	0.7
Marruecos f	361	1364	2443	2413	2455	8.6	5.4
Mauricio b	336	411	285	274	270	8.0	5.0
México c, f	992	5822	5859	6003	6180	2.7	1.6
Nigeria b	...	38	1410	1284	1410	...	2.5
Noruega	554	509	971	906	934	1.3	1.0
Nueva Zelandia	396	369	596	605	631	2.0	1.6
Pakistán	126	130	1245	1077	1245	1.9	2.8
Perú	17	165	894	974	965	2.6	2.2
República Árabe Siria b	168	399	477	207	153	3.5	2.8
República Dominicana b, f, g	...	1173	1010	939	893	6.5	4.9
República Libanesa	...	178	252	265	293	2.2	1.3
Rusia, Federación de b, c	-	714	4439	4663	4365	1.0	1.3

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 12 Importaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013.(continuación)

	1990	2000	2011	2012	2013	2005	2013 a
Singapur	1778	1275	1151	1081	1072	0.5	0.3
importaciones definitivas	1016	661	564	528	463	0.4	0.3
Sri Lanka b	412	1483	2230	2185	1960	17.5	10.9
Sudáfrica	561	569	1385	1330	1369	1.6	1.3
Suiza	1849	1300	2235	1994	2055	1.3	1.0
Tailandia	898	1630	2982	3245	3059	1.7	1.2
Taipei Chino	1013	1460	1418	1255	1246	0.6	0.5
Túnez	790	1207	2026	1700	1710	12.2	7.0
Turquía	567	2124	7557	6441	6789	3.8	2.7
Ucrania	-	450	1224	1280	1341	2.5	1.7
Unión Europea (28) h	-	57671	85211	74901	78424	1.7	1.3
importaciones extra-UE (28)	-	16189	31509	27206	29071	1.5	1.3
Venezuela, Rep. Bolivariana de	112	286	511	725	674	2.1	1.3
Viet Nam b	...	1379	8702	9075	10643	9.3	8.1

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

Tabla B. 13 Importaciones de textiles de determinadas economías, 1990-2013. (continuación)

	1990		2000		2011		2012		2013		2005	2013 a
a O el año más próximo.												
b Incluye estimaciones de la Secretaría.												
c Importaciones f.o.b.												
d Las cifras corresponden al año fiscal.												
e Importaciones f.o.b. a partir de 2000.												
f Incluye significativas importaciones de las zonas de elaboración.												
g Hasta 2010, se han utilizado valores f.o.b. para las importaciones.												
h Para mayor información sobre las importaciones intra-UE (28), véanse los Metadatos.												

Fuente: Organización Mundial del Comercio, 2014.

## C. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA PATOGENOS Y PARASITOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS (NORMA MEXICANA)

Tabla C. 1 Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
		Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> 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

Fuente: Norma Mexicana.

## D. SELECCION DE PUNTOS DE MUESTREO

Tabla D. 1 Selección de puntos de muestreo

Tipo de Lodo	Punto de Muestreo
Tratamiento térmico	<p>Muestra de los grifos de descarga, antes del decantado. Ser cuidadoso con el muestreo en tratamiento térmico de lodos debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1)Alta tendencia de separación de sólidos.</li> <li>(2)Alta temperatura o muestras que puedan causar problemas con ciertos recipientes debido al enfriamiento y subsecuente contracción de gases contenidos.</li> </ul>
Deshidratado, secado, compostado, o reducido térmicamente.	<p>Muestrear del material que se recolecta en los transportadores y de los recipientes a granel. Muestrear de varios lugares con la masa de lodo a diferentes profundidades.</p>
Deshidratado:	
Filtro prensa de banda, centrifugadora, filtro prensa de vacío.	Muestreo de la tolva de descarga de lodos.
Lodo prensado	Muestreo del recipiente de almacenamiento; seleccionar 4 puntos en el recipiente, recolectar cantidades iguales de muestra en cada punto y combinar.
Patio de secado	Dividir el patio en cuatro partes, recolectar cantidades iguales de muestra y combinar para formar una muestra del total del patio de secado. Cada muestra recolectada debe incluir la profundidad total del lecho.
Pilas de compostaje	Muestrear directamente de la entrada a la pila de lodos donde es depositado.

Fuente: POTW Sludge Sampling and Analysis Guidance Document, EPA 1989.

# E. RESULTADOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE LODOS ANALIZADAS EN FUSADES.



## UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE INFORME DE ANÁLISIS DE SUELOS

MUESTRA 160605677-01

Pag 1/1

### DATOS GENERALES

Muestra : LODO TEXTIL

Solicitante : ADRIANA MARCELA CENTENO PEREZ

Responsable: ADRIANA CENTENO

Dirección : AV. WASHINGTON, #124 COLONIA LIBERTAD

Teléfono : Fax

Correo Electronico: adrianacenteno9231

### FECHAS

Recibido : 08/06/2016

Análisis : 08/06/2016

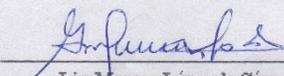
Reporte : 06/07/2016

### CARACTERÍSTICAS

#### ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	Rangos
S022 Azufre extr con Sol 500 ppm p	141.18	ppm	20-80
S046 Cromo	19.62	ppm	0-0
S049 Aluminio en sedimento	18525.39	ppm	0-0

### OBSERVACIONES

  
Lic. Morena López de Cárcamo  
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por: Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.

No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 25/02/2015

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.

E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669

www.fusades.org

# F. RESULTADOS OBTENIDOS DE MUESTRA ANALIZADA EN EL LABORATORIO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN VEGETAL  
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y DIAGNÓSTICO



## REPORTE DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

N° : 01-2016

SOLICITANTE : Adriana Centeno.  
DEPENDENCIA : Particular.  
NOMBRE DE MUESTRA : Lodos textiles.  
PROCEDENCIA : (no reporta)  
TIPO DE MUESTRA : "Lodo de textiles"  
TOMA DE MUESTRA : 02/jun/2016 HORA : (no reporta)  
RECEPCIÓN DE MUESTRA : 02/jun/2016 HORA : 02:00 p.m.  
INICIO DE ANÁLISIS : 14/jun/2016 FIN DE ANÁLISIS : 01/jun/2016

ANÁLISIS SOLICITADO: : Recuento de coliformes totales.  
Recuento de coliformes fecales.  
Identificación de *Salmonella* sp.  
Parasitológico.

COSTO : \$46.00

Análisis	Resultado*	Observaciones
Recuento de coliformes totales.	<2 NMP/100 mL	Recuento realizado en dilución 1:100.
Recuento de coliformes fecales.	<2 NMP/100 mL	Recuento realizado en dilución 1:100.
Identificación de <i>Salmonella</i> sp.	negativo	Metodología utilizada de acuerdo a BAM.
Parasitológico (huevos de helmintos)	No se observan.	Método de flotación en solución saturada.

\*No se realizó comparación con parámetros porque no existe normativa nacional o regional para este tipo de producto.

Licda. Idalia Rosmery Erroa  
Responsable de Laboratorio



Lic. Rudy Anthony Ramos  
Técnico Laboratorista

# G.RESULTADOS OBTENIDOS DE MUESTRA ANALIZADA EN DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA

## RESULTADO DE ANÁLISIS

Fecha: Ciudad Universitaria, 06 de junio de 2016  
Fecha de ingreso: 19 / Abril / 2016  
Tipo de Muestra: Lodo -  
Análisis solicitado: Humedad, Ceniza, pH, Cu, N, P, Fe, K,  
Usuario: Brs.: Adriana Marcela Centeno Pérez,  
Karen Elizabeth Campos Aguilar

No.	Tipo de muestra	Humedad %	Cenizas %	pH	Cu %	N %	P %	K %	Fe %
72	Lodo	3.15	25.67	7.40	0.0085	2.13	0.12	0.0350	0.26

Analista: Br. Mario Antonio Hernández Melgar  
Lic. Freddy Alexander Carranza

Atentamente,

**"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"**



Ing. Agr. Oscar Mauricio Carrillo Turcios  
Jefe del Departamento de Química Agrícola

Final 25 Av. Norte, Ciudad Universitaria. Tel.: 2225-1506 y 2226-2043

# H. METODOLOGIAS PARA DETERMINACION DE PARAMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

## H.1. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO

El nitrógeno Kjeldahl es definido como la suma de amonio libre y compuestos orgánicos nitrogenados que son convertidos a una sal de amonio ( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, después de la digestión de la muestra en medio ácido y en presencia de un catalizador. El amonio es destilado en medio alcalino y recuperado nuevamente para su cuantificación.

El nitrógeno Kjeldahl orgánico es la diferencia obtenida substrayendo el amonio libre del valor del nitrógeno Kjeldahl total. El origen del nitrógeno orgánico puede ser natural o industrial como desechos alimenticios, farmacéuticos de productos peptídicos, colorantes, etc. Para la ingeniería sanitaria es muy importante el contenido de nitrógeno de origen orgánico, ya que indica el grado de contaminación de la masa de agua.

En principio la presencia de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, sulfato de potasio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), y sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>), como catalizador, convierten el nitrógeno amino de cualquier material orgánico a amonio. El amoniaco liberado también es convertido a amonio, después se adiciona base y el amoniaco es destilado del medio alcalino y absorbido en ácido bórico o sulfúrico. El amonio liberado puede ser determinado colorimétricamente, por electrodo amonio-selectivo o por titulación con una solución estándar de ácido (APHA, 1998).

Una de las interferencias que presenta el proceso de digestión es el contenido de sales y sólidos inorgánicos en la muestra. El contenido de ácido y sal del reactivo de digestión Kjeldahl tienen la intención de producir una temperatura cercana a 380o C. Si la muestra contiene una cantidad muy grande de sales o sólidos inorgánicos que se disuelvan durante la digestión, la temperatura puede elevarse sobre 400o C, punto en el cual

empieza a presentarse una pérdida pirolítica de nitrógeno. Para prevenir una temperatura de digestión excesiva se debe mantener el balance ácido - sal.

El contenido de materia orgánica (MO) también puede provocar interferencias; durante la digestión el ácido sulfúrico oxida la MO a CO<sub>2</sub> y agua. Si está presente una gran cantidad de materia orgánica, se consumirá gran parte del ácido, incrementando la relación de sal a ácido, con el consiguiente incremento de la temperatura de digestión y si el contenido es muy elevado, la temperatura puede ascender sobre 400° C, resultando en la pérdida pirolítica del nitrógeno.

### Alcance y aplicación

Este método es aplicable a todo tipo de aguas, teniendo en cuenta las interferencias que se mencionaban anteriormente. También se puede utilizar para la determinación en sedimentos y organismos. Parte de la precisión del método está muy relacionada con la determinación final del amonio. La sensibilidad de los métodos colorimétricos los hace particularmente útiles para determinar niveles de nitrógeno orgánico inferiores a 5 mg/l. La titulación y los métodos de electrodo selectivo para la medición del amonio son utilizados en un rango más amplio de concentración de nitrógeno orgánico.

#### 1. Toma de muestra, almacenamiento y preservación

En muestras de sedimento la recolección se hace con draga o corazonador, se transfiere con cuchara de hierro inoxidable o plástica a un contenedor hecho de papel aluminio. Si el análisis no se realiza inmediatamente, es preciso congelar la muestra a una temperatura de -20 °C.

## 2. Materiales y equipos

- Equipo de digestión con sistema de recolección de gases
- Equipo de destilación con flujo de vapor
- Equipo titulador pH-metro
- Erlenmeyers de 250 ml
- Vasos de precipitado

## 3. Reactivos

- Agua destilada y desionizada: Exenta de amonio (recién obtenida).
- Reactivo de digestión: Disolver 134 g de  $K_2SO_4$  y 7.3 g de  $CuSO_4$  en cerca de 800 ml de agua. Cuidadosamente agregar 134 ml de  $H_2O_4$  concentrado. Cuando se haya enfriado hasta temperatura ambiente, diluir la solución a 1 L con agua. Mezclar bien y mantener a una temperatura cercana a  $20^\circ C$  para prevenir la cristalización.
- En el mercado se consiguen tabletas de digestión Kjeldahl, si se utilizan estas tabletas el reactivo de digestión es reemplazado y a la muestra se le agrega sólo 15-20 ml de  $H_2 SO_4$  concentrado y 1 ó 2 tabletas.
- Hidróxido de sodio 6N: Diluir 240 g en agua y completar 1 l.
- Solución tampón de borato: Agregar 88 ml de solución de NaOH 0,1 N a 500 ml de solución de tetraborato de sodio ( $Na_2B_4O_7$ ) aproximadamente 0,025 M (9.5 g  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O/l$ ) y diluir a 1 litro.
- Solución de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ): Disolver 20 g de reactivo analítico en agua, y diluir a 1 l. Solución indicadora de ácido bórico: Disolver 20 g de  $H_3BO_3$  en agua, agregar 10 ml de la solución indicadora mixta y diluir a 1 l. Preparar mensualmente.
- Solución indicadora mixta: Disolver 200 mg de indicador rojo de metilo en 100 ml de alcohol etílico del 95%. Disolver 100 mg de azul de metileno en 50 ml de alcohol etílico del 95%. Combinar las soluciones. Preparar mensualmente.
- Solución titulante de ácido sulfúrico 0,02N: Preparar una solución de  $H_2SO_4$  0.1N diluyendo 3 ml de  $H_2 SO_4$  concentrado a 1 l con agua destilada libre de  $CO_2$ . Diluir 200 ml de esta solución a 1l con agua destilada.

Estandarizar el ácido 0,02N contra una solución de  $Na_2CO_3$  0,0200 N (1,060 g de  $Na_2CO_3$  anhidro secado a  $140^\circ C$ , diluido a 1000 ml con agua destilada)

## 4. Procedimiento

Para muestras de lodos y sedimentos, pesar una porción de muestra húmeda que contenga entre 0.2 y 2 mg de nitrógeno orgánico en un crisol o en un pesa sustancias. Transferir la muestra al tubo de digestión diluyendo y enjuagando el recipiente de pesaje varias veces con pequeñas cantidades de agua. Hacer esta operación con la cantidad más pequeña posible de agua, sin exceder un volumen de 50 ml.

Determinar a una submuestra el contenido de humedad.

## 5. Digestión

- Cuidadosamente agregar 10 ml de reactivo de digestión al balón Kjeldahl que contiene la muestra
- En muestras marinas el contenido de sal puede afectar negativamente el análisis, por lo cual es recomendable la adición de ácido extra (aprox. 10 ml)
- Agregar 4 perlas de ebullición para prevenir sacudidas durante la digestión. Ajustar cada unidad de calentamiento en el aparato de digestión Kjeldahl
- Calentar bajo una campana de extracción o con equipo de remoción de gases
- Continuar la ebullición vigorosa hasta que la solución se haga transparente y verde pálida y se observen copiosos vapores
- Calentar al máximo y digerir por 30 minutos adicionales

## 6. Destilación

- Enfriar y transferir el tubo con la muestra digerida al equipo de destilación
- Diluir la muestra digerida con agua destilada hasta aproximadamente 50 ml de volumen total
- Adicionar solución de hidróxido de sodio para neutralizar la muestra digerida hasta

obtener un viraje de color claro a oscuro (50 ml son suficientes)

- En un erlenmeyer medir entre 50 y 75 ml de solución de ácido bórico y si desea, adicionar 2 ó 3 gotas de indicador mixto. Colocar el erlenmeyer en el destilador de nitrógeno por debajo del tubo de salida del destilado. Asegurar que la punta del

condensador esté totalmente sumergida dentro del ácido bórico

- Destilar la muestra hasta obtener un volumen de 150 a 200 ml aproximadamente. La presencia de amoníaco cambia el color de la solución de ácido bórico de azul a verde, cuando se ha empleado el indicador.

## H.2. DETERMINACION DEL AMONIACO

Método acidimétrico o titulométrico:

- Ajustar el volumen del destilado a 250 ml
- Titular el amoníaco en el destilado con el estándar de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> 0.02N hasta que el indicador cambie a un color lavanda pálido

Método del indofenol:

La determinación del amoníaco destilado también se puede realizar mediante el método del azul de indofenol, pero el destilado se debe recoger sobre una solución diluida de ácido sulfúrico; este método es aplicable para concentraciones por debajo de 1 mg N/l.

### 1. Calibración

Durante todo el proceso se debe llevar un blanco de reactivos y un estándar de concentración conocida de fenilamina para determinar el rendimiento y porcentaje de recuperación del método. Si la cuantificación final del amoníaco se hace por el método del indofenol, se debe seguir el procedimiento descrito en el método descrito en el anexo E.18.

### 2. Cálculos

Si la cuantificación final del amoníaco se hace por el método del indofenol, se debe seguir el procedimiento descrito en el método descrito en el anexo E.14. Si se sigue el método titulométrico o acidimétrico (aplicable para concentraciones superiores a 1 mg N/l), la concentración de nitrógeno se obtiene como:

Muestras líquidas:

$$(A - B) * 280$$

$$\text{mg N / l} = \text{----- ml muestra}$$

Muestras sólidas (sedimentos, organismos, lodos):

$$(A - B) * 280$$

$$\text{mg N / kg} = \text{----- g muestra seca}$$

A = Volumen de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> 0.02 N gastado en la titulación de la muestra (ml)

B = Volumen de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> 0.02 N gastado en la titulación del blanco (ml)

### 3. Recomendaciones

- El proceso convierte los componentes nitrogenados de origen biológico tales como aminoácidos, proteínas y péptidos a amonio, más no convierte los compuestos nitrogenados de algunos desechos industriales como nitrocompuestos, hidrazas, oximas, semicarbazonas y algunas aminas terciarias
- El método es muy susceptible a la contaminación, la digestión, destilación y análisis de amonio deben ser hechos en un ambiente exento de vapores amoniacales
- Durante la destilación es preciso controlar la rata de generación de vapor para ebulir el contenido de destilación de tal manera que no ocurra escape de vapor en la salida del condensador ni tampoco burbujeo del contenido del erlenmeyer receptor
- Mantener la relación sal - ácido en el tubo de digestión para prevenir la pérdida de

nitrógeno por el sobrecalentamiento (superior a 400°C)

### H.3. DETERMINACION DE FOSFORO TOTAL.

El fósforo es un nutriente esencial para la productividad de un sistema acuático. En los sistemas riparios la mayor parte de este se encuentra en forma particulada, el cual al contacto con el agua marina y debido a los cambios químicos que se generan, se precipita quedando sólo la fracción disuelta para ser utilizada por los organismos vivos (Kiely, 1999).

Como el fósforo se presenta en combinación con la materia orgánica, debe disponerse de un método de digestión que garantice la liberación del fósforo como ortofosfato para permitir la cuantificación del fósforo total. Existen tres métodos de digestión: (a) Con ácido perclórico, (b) Con ácido sulfúrico – ácido nítrico y (c) Con persulfato. De estos métodos la digestión con ácido perclórico es la más fuerte.

#### 1. Alcances y aplicación

Este método es aplicable a todo tipo de aguas naturales, en especial a las marinas. Su precisión viene dada por el método empleado para la determinación de la concentración de iones  $PO_4^{3-}$  liberados.

#### 2. Toma de muestra, almacenamiento y preservación

Para muestras de agua se sigue el procedimiento dado en el método descrito en el anexo E.15, pero sin filtrarla.

#### 3. Materiales y equipos

- Espectrofotómetro VIS con rango espectral de 400- 900 nm
- Celdas de vidrio de 1 ó 10 cm de paso óptico
- Viales de 40 ml
- Dosificadoras o pipetas de 1 y 2 ml
- Probetas de 100 y 50 ml.
- Plancha de calentamiento Campana de extracción
- Vasos de precipitado de 200 y 50 ml
- Balones aforados de 50 ml
- Erlenmeyers de 125 ml

- Vidrios de reloj
- Autoclave con capacidad de desarrollar 98 a 137 KPa
- Cuchara de vidrio o espátula de porcelana para la adición de cristales de persulfato

#### 4. Reactivos

Además de los reactivos utilizados para la determinación de fosfatos (ver método descrito en el anexo E.16, se requieren los siguientes:

- Acido perclórico concentrado (70%)
- Acido clorhídrico concentrado
- Solución de hidróxido de sodio 4N: Disolver 40.0 g en 100 ml de agua desionizada, dejar enfriar y completar a 250 ml.
- Solución indicadora de fenolftaleina al 1%: Pesar 1.0 g de fenolftaleina y disolver a 100 ml con agua desionizada.
- Solución de hidróxido de sodio 1 N.
- Solución de ácido sulfúrico: Cuidadosamente adicionar 30 ml de  $H_2SO_4$  concentrado a aproximadamente 600 ml de agua desionizada y completar a 1000 ml.
- Persulfato de amonio  $(NH_4)_2S_2O_8$  , o persulfato de potasio  $K_2S_2O_8$  en cristales.

#### 5. Procedimiento

- Digestión con ácido perclórico
- Adicionar a un erlenmeyer de 125 ml, 50 ml de muestra sin filtrar
- Agregar 3 ml de ácido perclórico concentrado y agitar
- Someter a calentamiento en una plancha para llevar a cabo la digestión de la materia orgánica

- Cuando se desprendan vapores blancos del ácido perclórico, disminuir la temperatura y cubrir con un vidrio de reloj, dejar por 10 minutos en estas condiciones
- Disminuir la temperatura y dejar enfriar
- Agregar 3 ml de ácido clorhídrico y calentar nuevamente
- Cuando queden aproximadamente 5 ml de muestra, apagar la plancha y dejar enfriar
- A la muestra fría, agregar 2 gotas de solución indicadora de fenolftaleína
- Neutralizar la solución mediante la adición de NaOH 4N, llevar hasta una coloración ligeramente rosada
- Ajustar el volumen de la muestra a 25 ml y proceder a la determinación de los fosfatos siguiendo el procedimiento del método descrito en el anexo E.18.
- Es necesario montar con cada set de muestras un blanco de reactivos y un estándar de 1.5  $\mu\text{g.at P/l}$

➤ Digestión con persulfato

Un procedimiento alternativo a la digestión con ácido perclórico y muy fácil de aplicar es el siguiente:

- Agitar fuertemente y tomar 50 ml de muestra sin filtrar
- Adicionar 0.05 ml (1 gota) de solución indicadora de fenolftaleína, si aparece un color rojo adicionar gota a gota solución de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> hasta que desaparezca
- Agregar 1 ml de solución de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> y 0.4 g de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> S<sub>2</sub> O<sub>8</sub>, ó 0.5 g de K<sub>2</sub> S<sub>2</sub> O<sub>8</sub>

- Someter a calentamiento por 30 minutos en un autoclave a 98 - 137 Kpa
- Enfriar y agregar una gota de solución indicadora de fenolftaleína y neutralizar mediante la adición de NaOH 1N, llevar hasta una coloración ligeramente rosada
  1. Ajustar el volumen de la muestra a 100 ml y proceder a la determinación de los fosfatos siguiendo el procedimiento método descrito en el anexo E.17.

### 6. Calibración

La calibración del método para la determinación de los fosfatos liberados durante la digestión se hace de acuerdo con el método descrito en el anexo E.18.

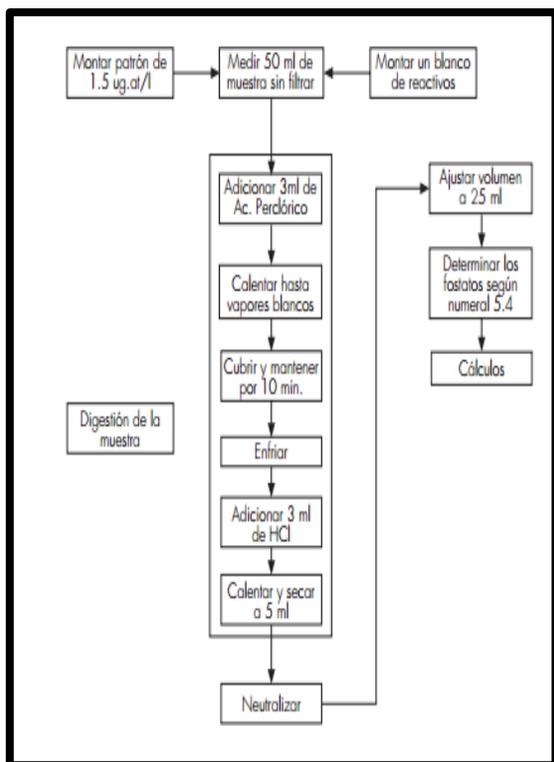
Es necesario verificar el proceso de digestión y cuantificación de la muestra, para ello se utiliza una solución estándar de fosfato de concentración conocida (1.5  $\mu\text{g.at P/l}$ ), la cual se somete a todos los pasos del proceso y se determina la concentración. Este mismo estándar sirve para controlar el método, llevando el registro a través de cartas de control.

### 7. Cálculos

La determinación de fósforo total como  $\mu\text{g.at P/l}$  se hace de la lectura final de iones fosfatos liberados después de haber sometido la muestra a un proceso de digestión. Por esta razón, para calcular la concentración de fósforo se sigue el procedimiento descrito en el método descrito en el anexo E.14.

Es necesario recordar que, si se llevó a digestión una muestra de 50 ml y para la determinación de los fosfatos se ajustó el volumen a 25 ml, se debe dividir la concentración obtenida por dos.

## H.4. DETERMINACION DE COBRE



### EAA de llama aire – acetileno por aspiración directa (lodos y suelos)

#### 1. Principio y alcance

En el digerido proveniente del Método descrito en el anexo M, se determina la concentración de cobre por espectrofotometría de absorción atómica de llama aire acetileno por aspiración directa.

Este método es aplicable en la determinación de cobre en lodos generados de plantas de tratamiento de aguas servidas y en suelos.

Este método tiene un límite de determinación instrumental de 0,1 mg/L o menor y un rango óptimo de concentración de 0,2 mg/L a 10 mg/L de Cu.

El Proyecto Reglamento de CONAMA establece que la concentración máxima permitida de cobre en:

Lodos es de 1000 mg/kg de Cu para la aplicación en suelos con severas limitaciones para uso agrícola o en suelos forestales. Para la aplicación en suelos degradados, la concentración máxima permitida de cinc en lodos es de 1200 mg/kg de Cu.

Suelos receptores de lodos de la macrozona norte es de 150 mg/kg de Cu, si el pH del suelo es mayor de 6,5, y de 100 mg/kg de Cu, si el pH del suelo es menor o igual a 6,5.

Para los suelos receptores de lodos de la macrozona sur de pH mayor de 5, la concentración máxima permitida de cobre es de 75 mg/kg de Cu.

#### 2. Interferencias

Absorción no específica que puede requerir corrección de fondo.

#### 3. Equipos y materiales especiales

Espectrofotómetro de absorción atómica con los siguientes parámetros generales:

- Lámpara de cobre.
- Longitud de onda: 324,7 nm.
- Combustible: acetileno.
- Oxidante: aire.
- Corrección de fondo: recomendable.

#### 4. Reactivos

Durante el análisis, usar solamente reactivos para análisis de trazas y agua reactivo Tipo I de ASTM D1193 (1999) o Grado 1 de ISO 3696 (1987) (CE máxima 0,06 – 0,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0,006 – 0,01  $\text{mS}/\text{m}$ )).

- Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ , 100%,  $d=1,52 \text{ kg}/\text{L}$ .
- Solución estándar de cobre de 1000 mg/L de Cu. Disponible en el comercio.
- Solución estándar de cobre de 50 mg/L de Cu.

- A un matraz aforado de 100 mL agregar:
  - 5 mL de la solución estándar de 1000 mg/L de Cu (4.2),
  - 10 mL de ácido nítrico 100% (4.1),
  - agua hasta enrasar.
- Serie de estándares de cobre.
- A seis matraces aforados de 100 mL agregar:
  - 0-1-2-5-10-20 mL de la solución estándar de 50 mg/L de Cu (4.3),
  - 10 mL de ácido nítrico 100% (4.1),
  - agua hasta enrasar.

Esta serie de estándares contiene: 0,0-0,5-1,0-2,5-5,0-10,0 mg/L de Cu.

## 5. Procedimiento

- Seleccionar las condiciones de operación según las instrucciones del fabricante del espectrofotómetro (3.1). Es recomendable usar corrección de fondo.
- Calibrar a 324,7 nm con la serie de estándares de cobre (4.4).
- Leer la concentración de cobre en los digeridos, punto 4.10

Estos digeridos incluyen los de las muestras, del blanco, de la muestra de referencia fortificada, de una de las muestras fortificada y del duplicado de esta muestra fortificada.

### Nota 1

Si la concentración en los digeridos es mayor que la de la solución estándar más alta, diluir una concentración de ácido nítrico de 10% y reanalizar.

## 6. Cálculos

Examinar los valores obtenidos de concentración de Cu en los digeridos.

### Nota 2

Si la concentración de Cu en el blanco del método es menor que el *límite de detección del método o menor* que el 10% de la concentración de la muestra más baja en Cu, cualquiera sea mayor, entonces el blanco del método se puede considerar aceptable. Si no es así, volverlo a leer y si aún es inaceptable, todas las muestras después del último blanco del método aceptable deben repararse y reanalizarse.

### Nota 3

La concentración de Cu en la muestra de referencia fortificada debe ser igual al valor de referencia más un valor entre 0,8 mg/L y 1,2 mg/L de Cu. Si esto no se cumple, volverla a leer. Si aún es inaceptable, todas las muestras después de la última muestra de referencia aceptable deben repararse y reanalizarse.

### Nota 4

La recuperación de Cu en la muestra fortificada debe estar entre 80% y 120% (0,8 mg/L y 1,2 mg/L) y la diferencia relativa con el duplicado de la muestra fortificada debe ser menor del 20%. Si no es así, debe realizarse una de las pruebas de interferencia.

Calcular la concentración, expresada en mg/kg, de Cu total en base a muestra seca a 105°C±5°C, según:

$$\text{Cu (mg/kg)} = \frac{(a - b)v * d}{m} \times Fh$$

Donde:

a = concentración, en mg/L, de Cu en la muestra

b = concentración, en mg/L, de Cu en el blanco

v = volumen, en mL, de digerido ( punto 4)

d = factor de dilución, si corresponde

m = masa, en g, de muestra (punto 4.1)

Fh = factor de corrección por humedad

## 7. Informes

Informar el resultado obtenido en mg/kg sin decimales, como:

Cobre total =... mg/kg de Cu, en base a muestra seca a 105°C±5°C

## H.5. DETERMINACION DE PH

### Suspensión y determinación potenciométrica (lodos y suelos)

#### 1. Principio y alcance.

- 1.1 Se prepara una suspensión de lodo tal como se recibió, o de suelo seco a 40°C±2°C y <2 mm, con agua en una proporción muestra:agua de 1:2,5, y en el sobrenadante se determina el valor del pHH<sub>2</sub>O, con un medidor de pH.

#### Nota 1

La determinación de pH en lodos debe realizarse tan pronto como sea posible.

- 1.2 Este método es aplicable a todos los tipos de suelos (excepto a los suelos orgánicos) y a los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas.

#### Nota 2

En suelos orgánicos aumentar la relación muestra:agua a 1:5.

#### 2. Equipos y materiales especiales

- 2.1 Agitador o varillas de vidrio o de plástico.
- 2.2 Medidor de pH con ajuste de pendiente y control de temperatura.
- 2.3 Electrodo de vidrio y de referencia o electrodo combinado.
- 2.4 Termómetro.

- 2.5 Recipientes de vidrio o plástico de al menos 100 mL de capacidad.

#### 2 Reactivos

Durante el análisis, usar solamente reactivos de grado analítico reconocido y agua de clase 2 según la NCh426/2 (CE ≤ 0,5 mS/m a 25°C) y con un pH > 5,6.

- 2.1 Soluciones tampones de pH 4,00, 7,00 y 9,22 (o similares). Disponibles en el comercio

#### 3 Procedimiento

- Pesar en un recipiente (2.5):
- 20 g (exactitud 1 g) de lodo tal como se recibió (Método descrito en anexo E.13, punto 4.2), o
- 20 g (exactitud 1 g) de suelo seco a 40°C±2°C y < 2 mm.
- Agregar 50 mL de agua a una temperatura entre 20°C y 25°C.
- Agitar vigorosamente la suspensión durante 5 min usando el agitador (2.1) y dejar reposar al menos 2 h pero no más de 24 h.

*Alternativa:* Agitar en forma manual y periódicamente durante 2 h, con la ayuda de una varilla de vidrio o de plástico.

- Calibrar el medidor de pH siguiendo las instrucciones del fabricante y usando dos soluciones tampones, la de pH 7,00 y una de las siguientes: pH 4,00 o pH 9,22, dependiendo del rango de pH de las muestras.

- Si los electrodos no cuentan con termocompensador, medir la temperatura de la suspensión y cuidar que no difiera en más de 1°C de la temperatura de las soluciones tampones que deben estar a una temperatura de 20°C a 25°C.
- Agitar la suspensión e introducir los electrodos (2.3).
- Leer el pH una vez estabilizada la lectura y anotar el valor con dos decimales.
  - El valor del pH (en suelos alcalinos es más difícil alcanzar la estabilización de la lectura del pH);
  - La calidad y antigüedad del electrodo de vidrio;
  - Las diferencias de pH entre las muestras de una serie;
  - La mezcla mecánica de la suspensión antes de la medición de pH puede ayudar a lograr lecturas estables en un menor tiempo.

### Nota 3

La lectura puede considerarse estable cuando el pH medido en un período de 5 s varía en no más de 0,02 unidades. El tiempo requerido para la estabilización generalmente es de 1 min o menos, pero puede depender de numerosos factores, incluyendo:

### Nota 4

En las muestras con alto contenido de materia orgánica y/o arcilla puede ocurrir el efecto de suspensión. En los suelos calcáreos la suspensión puede adsorber dióxido de carbono. En estas circunstancias y en los suelos con bajos contenidos de sales solubles es difícil alcanzar un pH estable.

## 5 Informes

5.1 Informar las lecturas obtenidas, sin unidades con un decimal, como:

- pH-H<sub>2</sub>O, relación 1:2,5

## H.6. DETERMINACION DE ARSENICO

### 1 Principio y alcance

- 1.1 En el digerido se determina la concentración de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica electrotrémica (con horno de grafito), previa adición de una solución de nitrato de níquel para minimizar las pérdidas por volatilización de As.
- 1.2 Este método es aplicable en la determinación de arsénico en lodos generados de plantas de tratamiento de aguas servidas y en suelos.
- 1.3 Este método tiene un límite de detección instrumental de 1 µg/L o menor y un rango óptimo de concentración de 5 µg/L a 100 µg/L.

1.4 El Proyecto Reglamento de CONAMA establece que la concentración máxima permitida de arsénico en:

- Lodos es de 20 mg/kg de As para la aplicación en suelos con severas limitaciones para uso agrícola o en suelos forestales. Para la aplicación en suelos degradados, la concentración máxima permitida de arsénico en lodos es de 40 mg/kg de As.

### 2 Interferencias

2.1 El As elemental y muchos de sus compuestos son volátiles, por lo tanto, deben digerirse muestras fortificadas para determinar si el método de disolución es adecuado.

2.2 Además de las interferencias normales que ocurren en el análisis con horno de grafito,

el análisis de As puede sufrir severa absorción no específica y dispersión de la luz, por lo que debe usarse corrección de fondo.

### 3 Equipos y materiales especiales

3.1 Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito con lámpara de arsénico.

### 4 Reactivos

Durante el análisis, usar solamente reactivos para análisis de trazas y agua reactivo Tipo I de ASTM D1193 (1999) o Grado 1 de ISO 3696 (1987) (CE máxima 0,06 – 0,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0,006 – 0,01  $\text{mS}/\text{m}$ )).

4.1 Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ , 100%,  $d=1,52 \text{ kg}/\text{L}$ .

4.2 Solución de nitrato de níquel, 0,1% en Ni. Disolver 0,5 g de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en agua y diluir a 100 mL.

4.3 Solución estándar de As de 1000 mg/L = 1 mg/mL.

4.3.1 Disolver 1,320 g de trióxido de arsénico,  $\text{As}_2\text{O}_3$ , en agua que contiene 4 g de hidróxido de sodio, NaOH. Agregar 20 mL de ácido nítrico 100% (4.1) y diluir a 1000 mL.

4.3.2 Disponible en el comercio.

4.4 Solución estándar de 10 mg/L de As.

A un matraz aforado de 1000 mL, agregar:

- 10 mL de la solución estándar de 1000 mg/L de As (4.3),
- 10 mL de ácido nítrico 100% (4.1),
- agua hasta enrasar.

4.5 Solución estándar de 0,5 mg/L de As.

A un matraz aforado de 100 mL, agregar:

- mL de la solución estándar de 10 mg/L de As (4.4),
- 10 mL de ácido nítrico 100% (4.1)
- Agua hasta enrasar.

4.6 Serie de estándares de As.

A 5 matraces aforados de 100 mL agregar:

- 0-1-2-5-10-20 mL de la solución estándar de 0,5 mg/L de As (4.5),
- 10 mL de ácido nítrico 100% (4.1)
- Agua hasta enrasar.

Esta serie de estándares contiene 0-5-10-25-50-100  $\mu\text{g}/\text{L}$  de As.

Preparar diariamente.

### 5 Procedimiento

5.1 Montar, alinear el horno de grafito y seleccionar las condiciones de operación según las instrucciones del fabricante del espectrofotómetro (3.1). Usar corrección de fondo.

5.2 Calibrar el instrumento inyectando un volumen adecuado de cada una de la soluciones de la serie de estándares de As (4.6) con un volumen igual de solución de níquel (4.2). Leer a 193,7 nm cada solución estándar en triplicado para verificar la precisión del método.

5.3 Inyectar una alícuota, de volumen igual al usado con la serie de estándares, de los digeridos. Estos digeridos incluyen los de las muestras, del blanco, de la muestra de referencia fortificada, de una de las muestras de la tanda fortificada y del duplicado de esta muestra fortificada. Inyectar el mismo volumen de solución de níquel (4.2).

5.4 Aplicar el programa seleccionado y repetir hasta obtener resultados reproducibles.

#### Nota 1

Si la concentración de la muestra es mayor que la de la solución estándar más alta, diluir manteniendo una concentración de ácido nítrico de 10% y reanalizar.

- 5.5 Limpiar el tubo a intervalos regulares durante una serie de determinaciones cuando el blanco detecta efectos de memoria (contaminación cruzada), debido a que el elemento no se ha volatilizado totalmente durante la atomización.

#### 6 Cálculos

- 6.1 Examinar los valores obtenidos de concentración de As en los digeridos.

#### Nota 2

Si la concentración de As en el blanco del método es menor que el *límite de detección del método* o menor que el 10% de la concentración de la muestra más baja en As, cualquiera sea mayor, entonces el blanco del método se puede considerar aceptable. Si no es así, volverlo a leer y si aún es inaceptable, todas las muestras después del último blanco del método aceptable deben repararse y reanalizarse.

#### Nota 3

La concentración de As en la muestra de referencia fortificada debe ser igual al valor de referencia más un valor entre 8 µg/L y 12 µg/L de As. Si esto no se cumple, volverla a leer. Si aún es inaceptable, todas las muestras después de la última muestra de referencia aceptable deben repararse y reanalizarse.

#### Nota 4

La recuperación de As en la muestra fortificada debe estar entre 80% y 120% (8 µg/L y 12 µg/L) y la diferencia relativa con el duplicado de la muestra fortificada debe ser menor del 20%. Si no es así, debe realizarse una de las pruebas de interferencia

- 6.2 Calcular la concentración, expresada en mg/kg, de As total en base a muestra seca a 105°C±5°C, según

$$\text{As (mg/kg)} = \frac{(a-b) \times v \times d}{m \times 1000} \times Fh$$

Donde:

a = concentración, en µg/L, de As en la muestra

b = concentración, en µg/L, de As en el blanco

v = volumen, en mL, de digerido

d = factor de dilución, si corresponde

m = masa, en g, de muestra.

Fh = factor de corrección por humedad

#### 7 Informes

- 7.1 Informar el resultado obtenido en 6.2, en mg/kg con un decimal, como:

Arsénico total = ... mg/kg de As, en base a muestra seca a 105°C±5°C

## H.7. DETERMINACION DE PLOMO (EAA DE LLAMA AIRE – ACETILENO POR ASPIRACIÓN DIRECTA PARA LODOS Y SUELOS)

### 1 Principio y alcance

- 1.2 Este método es aplicable en la determinación de plomo en lodos generados de plantas de tratamiento de aguas servidas y en suelos.

1.3 Este método tiene un límite de determinación instrumental de 0,5 mg/L o menor de Pb y un rango óptimo de concentración de 1 mg/L a 20 mg/L de Pb.

1.4 El Proyecto Reglamento de CONAMA establece que la concentración máxima permitida de plomo en:

1.4.1 Lodos es de 300 mg/kg de Pb para la aplicación en suelos con severas limitaciones para uso agrícola o en suelos forestales. Para la aplicación en suelos degradados, la concentración máxima permitida de níquel en lodos es de 400 mg/kg de Pb.

1.4.2 Suelos receptores de lodos de la macrozona norte es de 75 mg/kg de Pb, si el pH del suelo es mayor de 6,5, y de 50 mg/kg de Pb, si el pH del suelo es menor o igual a 6,5. Para los suelos receptores de lodos de la macrozona sur de pH mayor de 5, la concentración máxima permitida de níquel es de 50 mg/kg de Pb.

## 2 Interferencias

2.1 Absorción no específica que requiere corrección de fondo.

## 3 Equipos y materiales especiales

3.1 Espectrofotómetro de absorción atómica con los siguientes parámetros generales:

- Lámpara de plomo
- Longitud de onda: 283,3 nm
- Combustible: acetileno
- Oxidante: aire
- Corrección de fondo: se requiere.

## 4 Reactivos

Durante el análisis, usar solamente reactivos para análisis de trazas y agua reactivo Tipo I de ASTM D1193 (1999) o Grado 1 de ISO 3696 (1987) (CE máxima 0,06 – 0,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0,006 – 0,01  $\text{mS}/\text{m}$ )).

4.1 Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ , 100%,  $d=1,52 \text{ kg/L}$ .

4.2 Solución estándar de plomo de 1000 mg/L de Pb. Disponible en el comercio.

4.3 Solución estándar de plomo de 100 mg/L de Pb.

A un matraz aforado de 100 mL agregar:

- 10 mL de la solución estándar de 1000 mg/L de Pb (4.2),
- 10 mL de ácido nítrico 100% (4.1),
- Agua hasta enrasar.

4.4 Serie de estándares de plomo.

A seis matraces aforados de 100 mL agregar:

- 0-1-2-5-10-20 mL de la solución estándar de 100 mg/L de Pb (4.3),
- 10 mL de ácido nítrico 100% (5.1),
- Agua hasta enrasar.

Esta serie de estándares contiene: 0-1-2-5-10-20 mg/L de Pb.

## 5 Procedimiento

5.1 Seleccionar las condiciones de operación según las instrucciones del fabricante del espectrofotómetro (3.1). Usar corrección de fondo.

5.2 Calibrar a 283,3 nm con la serie de estándares de plomo (4.4).

5.3 Leer la concentración de plomo en los digeridos. Estos digeridos incluyen los de las muestras, del blanco, de la muestra de referencia fortificada, de una de las muestras fortificada y del duplicado de esta muestra fortificada.

### Nota 1

Si la concentración en los digeridos es mayor que la de la solución estándar más alta, diluir manteniendo una concentración de ácido nítrico de 10% y reanalizar.

## 6 Cálculos

6.1 Examinar los valores obtenidos de concentración de Pb en los digeridos.

### Nota 2

Si la concentración de Pb en el blanco del método es menor que el *límite de detección del método* o menor que el 10% de la concentración de la muestra más baja en Ni, cualquiera sea mayor, entonces el blanco del método se puede considerar aceptable. Si no es así, volverlo a leer y si aún es inaceptable, todas las muestras después del último blanco del método aceptable deben repararse y reanalizarse.

### Nota 3

La concentración de Pb en la muestra de referencia fortificada debe ser igual al valor de referencia más un valor entre 1,6 mg/L y 2,4 mg/L de Pb. Si esto no se cumple, volverla a leer. Si aún es inaceptable, todas las muestras después de la última muestra de referencia aceptable deben repararse y reanalizarse.

### Nota 4

La recuperación de Pb en la muestra fortificada debe estar entre 80% y 120% (1,6 mg/L y 2,4 mg/L) y la diferencia relativa con el duplicado de la muestra fortificada debe ser menor del 20%. Si no es así, debe realizarse una de las pruebas de interferencia.

6.2 Calcular la concentración, expresada en mg/kg, de Pb total en base a muestra seca a 105°C±5°C, según:

$$\text{Pb (mg/kg)} = \frac{(a-b) \times vv \times dd}{m} * Fh$$

Donde:

a = concentración, en mg/L, de Pb en la muestra

b = concentración, en mg/L, de Pb en el blanco

v = volumen, en mL, de digerido

d = factor de dilución, si corresponde

m = masa, en g, de muestra

Fh = factor de corrección por humedad

## 7 Informes

7.1 Informar el resultado obtenido en 6.2, en mg/kg sin decimales, como:

Plomo total = ... mg/kg de Pb, en base a muestra seca a 105°C±5°C.

## H.8. SECADO A 105°C±5°C (LODOS Y SUELOS)

### 1 Principio y alcance

1.1 La muestra de lodo tal como se recibió, la muestra de lodo secado a 40°C±2°C y la muestra de suelo secado a 40°C±2°C se secan a una temperatura de 105°C ± 5°C hasta masa constante. La fracción remanente corresponde al contenido de sólidos totales y la fracción evaporada, al contenido de agua.

### Nota 1

Se asume que la pérdida de masa del suelo o del lodo a 105°C ± 5°C es agua; sin embargo, en algunos materiales, una parte del contenido orgánico se descompone a esa temperatura y en otros, algunos minerales, como el yeso, pierden agua de cristalización.

- 1.2 Los valores del contenido de agua de las muestras secadas a  $40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  se usan para corregir los resultados de los análisis que dependen de la masa, a una base común de lodo o suelo seco a  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- 1.3 Este método es aplicable a todos los tipos de suelos y a los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas.

## 2 Equipos y materiales especiales

- 2.1 Estufa para secado, de preferencia con ventilación forzada de aire, capaz de mantener una temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- 2.2 Recipientes de metal o vidrio con tapa hermética, capacidad de 25 a 100 mL.
- 2.3 Desecador con un agente secante activo.
- 2.4 Balanza de precisión con una exactitud de 0,01 g.

## 3 Procedimiento

- 3.1 Pesarse en un recipiente con tapa (2.2), seco y pre-pesado:
- 3.1.1 25 g a 50 g (exactitud 0,01 g) de lodo tal como se recibió homogenizado, o
- 3.1.2 10 g a 20 g (exactitud 0,01 g) de lodo seco a  $40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $< 2$  mm o
- 3.1.3 10 g a 20 g (exactitud 0,01 g) de suelo seco a  $40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $< 2$  mm
- 3.2 Colocar en la estufa (2.1) y secar destapado a  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante.

### Nota 2

Se entiende por masa constante a la masa alcanzada cuando, durante el proceso de secado, la diferencia entre dos pesadas sucesivas de la muestra fría, con un intervalo de 4 horas entre

ellas, no excede del 0,1 % de la última masa determinada. Para la mayoría de las muestras, 16 a 24 horas son suficientes para alcanzar una masa constante.

3.3 Retirar de la estufa, tapar y enfriar en desecador (2.3).

3.4 Sacar del desecador y pesar inmediatamente con una exactitud de 0,01 g.

### Nota 3

Terminado el análisis, la muestra residual de lodo tal como se recibió puede usarse para determinar el contenido de sólidos volátiles, y/o de materia orgánica.

## 4 Cálculos

### 4.1 Lodos

Agua de lodo tal como se recibió (%) =  $\frac{a-b}{a-c} \times 100$

Donde:

a = masa en g del lodo tal como se recibió (3.1.1) + recipiente

b = masa en g del lodo seco a  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  + recipiente

c = masa en g del recipiente

4.1.2 Calcular el contenido de sólidos totales del lodo, expresado en porcentaje en base a la muestra tal como se recibió, según:

Sólidos totales (%) =  $\frac{b-c}{a-c} \times 100$

Donde:

a = masa en g del lodo tal como se recibió (3.1.1) + recipiente

b = masa en g del lodo seco a  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  + recipiente

c = masa en g del recipiente

4.1.3 Calcular el contenido de agua del lodo seco a 40°C±2°C, expresado en porcentaje en base a muestra seca a 105°C±5°C, según:

$$\text{Agua del lodo seco a } 40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C} (\%) = \frac{d-e}{e-f} \times 100$$

donde:

d = masa en g del lodo seco a 40°C±2°C (3.1.2) + recipiente

e = masa en g del lodo seco a 105°C±5°C + recipiente

f = masa en g del recipiente

4.1.4 Calcular el factor de corrección por humedad (Fhlodo) según:

$$F_{\text{lodo}} = \frac{100 + \text{agua} (\%)}{100}$$

Donde:

Agua (%) = contenido de agua del lodo seco a 40°C±2°C (4.1.3)

#### Nota 4

El factor de corrección por humedad, Fhlodo, se usa para expresar resultados en base a lodo seco a 105°C±5°C. Para ello, se multiplican por Fhlodo los resultados de los análisis que dependen de la masa y que se han determinado en el lodo seco a 40°C±2°C.

## H.9. DETERMINACION DE COLIFORMES FECALES POR EL MÉTODO DEL NUMERO MAS PROBABLE (NPM)

El método de la NPM es un método robusto por lo que puede aplicarse en cualquier tipo de muestra, aún aquellos que contienen gran cantidad de materia orgánica. Para la determinación del NMP de Coliformes Totales y Fecales en este tipo de muestras, es necesario proceder a preparar diluciones decimales de la muestra, debido a que se espera que la concentración de coliformes sea superior en éstas que en un agua potable. El número de diluciones varía mucho, dependiendo del origen de la muestra a tratar. Por lo demás, para su análisis se procede en la misma forma que para una muestra de agua potable.

### MATERIAL Y SUSTANCIAS

- Muestra del efluente de la PTAR de la UPEMOR.
- Mechero Bunsen.
- Cerillos ó encendedor.
- 9 tubos de 18 x 150 mm conteniendo 9 mL de agua de dilución estéril.
- 9 Pipetas de 1 mL estériles.
- 15 tubos de 18 x 150 mm con campana Durham, conteniendo caldo lactosado estéril de concentración sencilla.
- 15 tubos de 18 x 150 mm con campana Durham, conteniendo Caldo Lactosa Bilis Verde Brillante estéril.
- 10 tubos de 18 x 150 mm con campana Durham, conteniendo caldo E.C. estéril.
- 2 Cajas de Petri conteniendo Agar Endo estéril.
- 5 Tubos de 18 x 150 mm conteniendo agar nutritivo inclinado estéril.
- Agitador de tubos Vortex. – Gradillas para tubos de 18 x 150 y de 13 x 100 mm.
- Asa Bacteriológica.
- Incubadora a 35 °C.

- Baño Incubador para Coliformes fecales a una temperatura constante de 44 °C ( $\pm 0.5$ )

**METODOLOGÍA PARA LA PREPARACIÓN DE MEDIOS Y SOLUCIONES. MEDIOS DE AISLAMIENTO:**

- Caldo lauril triptosa (CLT).

Triptosa 40.0g

Lactosa 10.0g

Cloruro de sodio (NaCl) 10.0g

Fosfato monobásico de potasio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 5.5g

Fosfato dibásico de potasio (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) 5.5g

Lauril sulfato de sodio 0.2g

Agua para llevar a 1000 cm<sup>3</sup>

Añadir la triptosa y el cloruro de sodio al agua, calentar para disolver y añadir el lauril sulfato de sodio. Disolver el resto de los componentes por separado y agregarlos a los anteriores mezclando suavemente para evitar la formación de espuma.

- Caldo bilis lactosa verde brillante:

Peptona 10.0g

Lactosa 10.0g

Bilis de buey (deshidratada) 20.0g

Verde brillante (1% m/m en solución acuosa) 13 cm<sup>3</sup>

Agua para llevar a 1000 cm<sup>3</sup>

- -Medio EC:

Triptosa o tripticasa 20.0g

Lactosa 5.0g

Mezcla de sales biliares 1.5g

Fosfato dibásico de potasio (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) 4.0g

Fosfato monobásico de potasio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 1.5g

Cloruro de sodio (NaCl) 5.0g

Agua para llevar a 1000 cm<sup>3</sup>

Distribuir el medio de simple concentración en volúmenes indicados en cada tubo que debe contener un tubo de fermentación invertido (Durham). Colocar en autoclave y esterilizar. Disolver los componentes por separado y agregarles agitando suavemente y esterilice.

Nota:

Como medio confirmativo para coliformes totales, el más generalizado es el caldo de bilis lactosa verde brillante (BLVB). Para confirmar la presencia de coliformes fecales se utilizan tanto el BLVB como el caldo EC

**PRUEBA PRESUNTIVA**

Todas las operaciones deberán efectuarse en absolutas condiciones de asepsia.

- 1 Agitar vigorosamente la muestra por lo menos 20 veces para lograr una distribución uniforme de los microorganismos.
- 2 Dependiendo del origen de la muestra y el contenido bacteriano esperado preparar diluciones.
- 3 Para preparar las diluciones, con una pipeta estéril tomar una alícuota de 1 mL de la muestra original y llevarlo a uno de los tubos conteniendo 9 mL de agua de

- dilución estéril, obteniendo de esta manera una dilución de 10-1 .
- 4 Agitar el tubo de la dilución 10-1 y con otra pipeta estéril tomar una alícuota de 1 mL y llevarlo a otro tubo con 9 mL de agua de dilución estéril para obtener una dilución de 10-2 .
  - 5 Proceder de la misma manera hasta obtener una dilución de 10-3 o hasta donde sea necesario.
  - 6 Inocular asépticamente con 1 mL de muestra por triplicado, tubos de fermentación conteniendo caldo lactosado o caldo lauril triptosa, a partir de las últimas 3 diluciones y conservar todas las anteriores en refrigeración por si se requiere su utilización posterior
  - 7 Incubar todos los tubos a una temperatura de 35 °C durante 24horas.
  - 8 Después de 24 horas de incubación efectuar una primera lectura para observar si hay tubos positivos, es decir, con producción de ácido, si el medio contiene un indicador de pH, turbidez y producción de gas en el interior de la campana Durham.
  - 9 Al hacer esta verificación es importante asegurarse que la producción de gas sea resultado de la fermentación de la lactosa, en cuyo caso se observará turbidez en el medio de cultivo, y no confundir con burbujas de aire
  - 10 Para evitar este tipo de confusiones es recomendable revisar las campanas Durham antes de proceder a la inoculación y desechar aquellos tubos cuyas campanas contengan burbujas de aire ó de alguna manera eliminar éstas y así poder utilizarlos.
  - 11 De los tubos que en la primera lectura den positivos, ya se pueden hacer las pruebas confirmatorias para coliformes totales y coliformes fecales.

- 12 En caso de no apreciarse crecimiento en el resto de los tubos, continuarán en incubación 24 horas más.
- 13 Después de 48 horas ( $\pm$  2h) a partir de la inoculación, se hace la lectura final.
- 14 Si pasadas 48 h tampoco se aprecia crecimiento ni producción de gas, los tubos se toman como negativos.

#### INTERPRETACIÓN:

- Si el total de tubos son NEGATIVOS: El examen se da por terminado, reportando la AUSENCIA DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES en la muestra analizada.

- Todos aquellos tubos que den POSITIVOS para prueba presuntiva se anotarán convenientemente y se procederá a realizar la PRUEBA CONFIRMATORIA para Coliformes Totales y Fecales.

#### PRUEBA CONFIRMATORIA PARA COLIFORMES TOTALES:

- 1 A partir de cada uno de los tubos que han resultado positivos en la prueba presuntiva, agitándolos para homogeneizar, inocular con tres asadas tubos conteniendo caldo Lactosa Bilis Verde Brillante (LBVB).
- 2 Incubar durante  $48 \pm 3$  h a  $35 \pm 0.5$  °C.
- 3 Después de la incubación observar la presencia de turbidez y de gas.

#### INTERPRETACIÓN:

- Si se observa turbidez y producción de gas: La prueba se considera POSITIVA, debiendo anotar el número de tubos positivos para posteriormente hacer el cálculo del NMP.
- Si en ninguno de los tubos se observa producción de gas, aun cuando se observe turbidez: Se consideran NEGATIVOS, estableciéndose el Código 0,0,0 para efecto del cálculo del NMP

- Si todos los tubos dan negativos ó todos dan positivos, con base en los grados de dilución analizados, considerar la necesidad de repetir el análisis a partir de grados de dilución menores (mayores volúmenes de muestra) ó mayores (menores volúmenes de muestra), respectivamente.

PRUEBA CONFIRMATORIA PARA COLIFORMES FECALES:

- 1 A partir de cada uno de los tubos que han resultado positivos en la prueba presuntiva, agitándolos para homogeneizar, inocular con tres asadas tubos conteniendo caldo E.C. (*Escherichia coli*).
- 2 Incubar durante 24 horas a  $44.5 \pm 0.2$  °C. y después de este período, observar presencia de turbidez y gas.

INTERPRETACIÓN:

- Si se observa turbidez y producción de gas: La prueba se considera POSITIVA, debiendo anotar el número de tubos positivos y establecer el código para posteriormente hacer el cálculo del NMP, (Figs. 7.2 y 7.3)
- Si no se observa producción de gas, aun cuando se observe turbidez: Se consideran negativos, estableciéndose el Código 0,0,0 para efecto del cálculo del NMP.
- Si todos los tubos dan negativos ó todos dan positivos, con base en los grados de dilución analizados, considerar la necesidad de repetir el análisis a partir de grados de dilución menores (mayores volúmenes de muestra) ó mayores (menores volúmenes de muestra), respectivamente.

CÁLCULOS

De acuerdo a los tubos positivos en las pruebas confirmativas para Coliformes Totales y Fecales, establecer los códigos correspondientes para calcular por referencia en las tablas estadísticas el NMP de Coliformes Totales y Fecales en 100 mL de agua. En caso de no encontrar en las tablas la combinación de tubos adecuada, emplear para los cálculos la siguiente ecuación:

$$\text{NMP} = \frac{\text{numero de tubos positivos} \times 100}{\sqrt{\text{cm}^3 \text{ de muestras en tubos negativos} \times \text{cm}^3 \text{ de muestras en todos los tubos}}}$$

ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados se elaboran de la siguiente manera:

- Si se han realizado diluciones, se ha de obtener una serie final con valor cero.
- A continuación se establece el triplete de valores correspondiente a las tres series anteriores a la del valor cero que podrá ser leída en la tabla del NMP.
- Para efectos de expresar el valor obtenido basándose en 100 mL de muestra habrá de dividirse el resultado de la tabla por el volumen real de muestra inoculada en cada tubo de la serie central de cada triplete escogido.

En general se tiene:

$$\text{NMP/C} = \frac{\text{NMP leído en la tabla}}{\text{volumen real de la muestra inoculada en cada tubo de la serie central (ml)}}$$

Los resultados obtenidos se expresarán de la siguiente manera:

NMP DE COLIFORMES TOTALES: \_\_\_\_\_ / 100 mL

NMP DE COLIFORMES FECALES: \_\_\_\_\_ / 100 mL

## H.10. DETERMINACION DE SALMONELLA SP (SEGÚN NORMATIVA BAM)

### FUNDAMENTO

La presente técnica para la detección de Salmonella, describe un esquema general que consiste de 5 pasos básicos:

- 1 Preenriquecimiento, es el paso en donde la muestra es enriquecida en un medio nutritivo no selectivo, que permite restaurar las células de Salmonella dañadas, logrando de esta manera una condición fisiológica estable.
- 2 Enriquecimiento selectivo, se logra a partir de un medio de cultivo que conjunte dos condiciones, por un lado debe incrementar las poblaciones de Salmonella y por otro inhibir otros microorganismos presentes en la muestra.
- 3 Selección en medios sólidos, este punto se deriva directamente del anterior y se utilizan medios selectivos, que restringen el crecimiento de otros géneros diferentes a Salmonella y que permitan el reconocimiento visual característico de colonias sospechosas.
- 4 Identificación bioquímica, este paso permite la identificación genérica de los cultivos de Salmonella y la eliminación de cultivos sospechosos falsos.
- 5 Serotipificación, es una técnica inmunológica (antígeno-anticuerpo) que permite la identificación específica de un microorganismo.

### MEDIOS DE CULTIVO Y DILUYENTES

### NOTA

Los medios de cultivo que a continuación se presentan son los utilizados en el procedimiento general.

Para los medios de cultivo utilizados durante preenriquecimientos específicos.

- 1 matraz Erlenmeyer de 500 mL de capacidad, conteniendo 225.0 mL de caldo lactosado a .
- 1 tubo de ensayo de 16 x 150 mm conteniendo 10.0 mL de caldo selenito-cistina b .
- 1 tubo de ensayo de 16 x 150 mm conteniendo 10.0 mL de caldo tetratiónato b .
- 1 tubo de ensayo de 16 x 150 mm conteniendo 10.0 mL de caldo VassiliadisRappaport b .
- 1 caja de Petri estéril con 20.0 mL de agar xilosa lisina desoxicolato (XLD) c .
- 1 caja de Petri estéril con 20.0 mL de agar bilis verde brillante (VB) c .
- 1 caja de Petri estéril con 20.0 mL de agar entérico de Hektöen (HE) c .
- 1 caja de Petri estéril con 20.0 mL de agar sulfito de bismuto (SB) c . 1 caja de Petri estéril con 20.0 mL de agar para Salmonella y Shigella (SS) c .
- 2 tubos de ensayo de 13 x 100 mm conteniendo 3.0 mL de agar hierro-triple azúcar (TSI) o agar hierro Kligler (KIA) solidificado e inclinado d .
- 2 tubos de ensayo de 13 x 100 mm con 3.0 mL de agar hierro-lisina (LIA) inclinado d .

- 2 tubos de ensayo de 13 x 100 mm con 3.0 mL de caldo urea o caldo Surraco e .
- 2 tubos de ensayo de 13 x 100 mm con 3.0 mL de caldo urea rápido (puede utilizarse en sustitución del caldo urea o Surraco) e .
- 2 tubos de ensayo de 13 x 100 mm con 3.0 mL de medio sulfuro-indol-manitol (SIM) e
- 2 tubos de ensayo de 13 x 100 mm con 3.0 mL de agar citrato de Simmons inclinado e
- 2 tubos de ensayo de 13 x 100 mm con 3.0 mL de caldo manitol e .
- 2 tubos de ensayo de 13 x 100 mm con 3.0 mL de caldo malonato e .
- 2 tubos de ensayo de 13 x 100 mm con 3.0 mL de caldo rojo de metilo-Voges Proskauer (RM-VP) e .
- 2 tubos de ensayo de 13 x 100 mm con 5.0 mL de caldo soya tripticaséina e .
- 2 cajas de Petri con 20.0 mL de agar infusión cerebro corazón e .

#### SOLUCIONES, REACTIVOS E INDICADORES

- 1 frasco gotero con solución salina isotónica estéril d .
- 1 frasco gotero con solución de verde brillante al 0.1% b
- 1 frasco gotero con solución yodo yoduro de potasio b
- 1 frasco gotero con solución salina formalizada e .
- 1 frasco gotero con reactivo de Kovac's f .
- 1 frasco gotero con solución de rojo de metilo r .

- 1 frasco gotero con solución reactivo de Voges-Proskauer N° 1 (VP1; solución etanólica de alfa-naftol al 5% P/V) f .
- 1 frasco gotero con solución reactivo de Voges-Proskauer N° 2 (VP2; hidróxido de potasio al 40% P/V) f .
- Juego de colorantes para la tinción de Gram d .

#### BIOLÓGICOS

- Suero anti Salmonella "O" (somático) polivalente d .
- Suero anti Salmonella "H" (flagelar) polivalente d .
- Suero anti Salmonella "Vi" d .

#### MATERIAL Y EQUIPO

- Balanza granataria a .
- 1 caja de Petri de vidrio estéril a .
- 1 bolsa de stomacher o un vaso de licuadora estéril a . Utensilios necesarios para la manipulación de muestras: cucharas, cuchillos, tenedores, estériles a .
- Stomacher o motor para licuadora a .
- Pipetas de vidrio de 1 mL, estériles con filtro de algodón b .
- Pipetas Pasteur estériles a, b, c, d, e, f Asa microbiológica c, d, e .
- Mecheros de Bunsen a, b, c, d, e .
- Portaobjetos d . Pipetas Pasteur estériles con filtro de algodón d, e .
- Microscopio óptico d, e . Incubadora a 35°C con termostato calibrado que evite variaciones mayores a 0.1°C a, b, c, d, e .

- Incubadora a 42°C con termostato calibrado que evite variaciones mayores a 0.1°C.

## H.11. METODO DE FLOTACION DE SOLUCION SATURADA

### PRINCIPIO

Este método de análisis se basa en la diferencia de densidades entre los huevos de helminto, las demás sustancias presentes en las aguas residuales, y las que se agregan para permitir la separación. El método comprende los procesos de coagulación, sedimentación, flotación, decantación y la técnica bifásica para recuperar los huevos de helminto y efectuar el conteo. NMX-AA-113-SCFI-1999 3/12 DGN

### MUESTREO

El muestreo constituye una parte integral y fundamental de cualquier programa de evaluación de la calidad del agua, por lo cual, éste debe efectuarse como se menciona a continuación.

- Preparar garrafones de plástico inerte de 8 L, previamente desinfectados con hipoclorito de sodio al 10 % (NaClO).
- Lavarlos con agua potable a chorro y enjuagarlos varias veces con agua destilada.
- Se toman muestras de 5 L (volumen total), en estos garrafones de plástico inerte, los cuales deben ser cerrados y sellados.

### REACTIVOS Y MATERIALES

#### Reactivos (grado analítico)

- Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>);
- Alcohol etílico (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH);

- Agua destilada; - Cloruro de sodio (NaCl);
- Éter etílico; - Formaldehído al 4 %;
- Hipoclorito de sodio (NaClO) (no aplica grado analítico),
- Sulfato de zinc heptahidratado (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O).

#### Materiales

- Aplicadores de madera;
- Barras magnéticas; - Bulbo de goma;
- Espátula;
- Garrafones de plástico inerte con paredes lisas y transparentes de 8 L de capacidad;
- Gradillas para tubos de centrifuga de 50 ml;
- Guantes de látex;
- Mascarilla contra gases y vapores;
- Matraz Kitazato; - Pipetas de 10 ml de plástico;
- Probetas graduadas de 50 ml y de 1 000 ml;
- Recipientes de plástico inerte con paredes lisas y transparentes de 2 000 ml y 4 000 ml de capacidad; NMX-AA-113-SCFI-1999 4/12 DGN
- Tamiz de 160 µm (micras) de poro;

- Tubos de centrífuga de 200 ml, 450 ml o de mayor volumen según sea la capacidad máxima de la centrífuga;
- Tubos de centrífuga cónicos de 50 ml, y
- Vasos de precipitados de 1 000 ml.

#### APARATOS

- Agitador de tubos, con control de velocidad y adaptable a diversos tubos;
- Balanza granataria;
- Balanza analítica;
- Bomba de vacío con control de velocidad de succión;
- Campana de extracción;
- Celda de Sedgwich-Rafter o cámara de conteo de Doncaster o cámara de Neubauer; - Centrífuga. Capaz de mantener los intervalos de operación de 1 000 r/min a 3 000 r/min o su equivalente en g;
- Densímetro (Hidrómetro). Capaz de mantener el intervalo de medición de 1,0 g/ml a 1,4 g/ml, y temperatura de operación de 0°C a 4°C;
- Incubadora; - Microscopio óptico. Equipado para hacer iluminación campo claro (Köhler), con aumento de 10 a 100x y platina móvil (opcional);
- Parrilla con agitación magnética, y
- Refrigerador.

#### PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

- Las muestras deben mantenerse a una temperatura de 4°C ± 2°C hasta su llegada al laboratorio.
- La muestra debe procesarse dentro de las 48 h después de su toma, o en caso

contrario, debe fijarse con 10 ml de formaldehído al 4 %, o bien, preservarse en refrigeración para realizar su análisis antes de 2 meses.

#### PROCEDIMIENTO

Los siguientes puntos describen la secuencia del método de prueba, el cual debe realizarse conforme a lo descrito, con el fin de minimizar sesgos en los datos obtenidos.

#### Preparación de soluciones

- Solución de sulfato de zinc (ZnSO<sub>4</sub>) con gravedad específica de 1,3 Disolver 800 g de sulfato de zinc heptahidratado (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) en 1 000 ml de agua destilada; mezclar en la parrilla magnética hasta homogeneizar totalmente. Medir la densidad con el densímetro. Ajustar la densidad a 1,3 agregando sulfato de zinc o agua destilada, según sea el caso.
- Solución de alcohol-ácido. Homogeneizar 650 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,1 N, con 350 ml de alcohol etílico. Almacenar la solución en un recipiente hermético.

#### Calibración de aparatos

Todos los equipos utilizados deben ser calibrados con patrones certificados o ajustados de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

#### Seguridad

Durante el procesado de la muestra se debe utilizar guantes de látex y cubreboca para evitar cualquier riesgo de infección.

Se debe lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista, antes y después del ensayo.

Cuando se efectúe la agitación de las soluciones con éter, ésta se debe realizar en sitios ventilados o dentro de la campana de extracción, y considerar su inflamabilidad. Evitar el contacto

con los ojos, piel o ropa, ya que es un reactivo sumamente tóxico.

#### Manejo de residuos

Todo material desechado debe ser previamente esterilizado o desinfectado con hipoclorito de sodio al 10%.

#### Concentración y separación de los huevos de helminto

La recuperación de los huevos de helminto de la muestra se debe realizar efectuando los siguientes pasos:

- Dejar reposar la muestra al menos 3 h o toda la noche o centrifugar a 400 g de 3 min a 5 min.
- Aspirar y desechar el sobrenadante por vacío y sin agitar, si la sedimentación (separación) se realizó por centrifugación, decantar lentamente. Filtrar el sedimento en el tamiz de 160  $\mu\text{m}$  de poro. Lavar el tamiz con 5 L de agua (potable o destilada), y recuperar el agua de lavado junto con el sedimento filtrado.
- Colocar el filtrado y el agua de enjuague en el garrafón de 8 L donde originalmente se encontraba la muestra o en los recipientes utilizados en la centrifugación.
- Dejar reposar la muestra al menos 3 h o toda la noche o centrifugar a 400 g de 3 min a 5 min.
- Aspirar con cuidado el sobrenadante al máximo y desecharlo. Depositar el sedimento en los recipientes para la centrifuga. Enjuagar 3 veces el garrafón perfectamente con poca agua destilada, y colocar en los recipientes para centrifugación.
- Centrifugar a 400 g de 3 min a 5 min.
- Decantar nuevamente el sobrenadante por vacío. Asegurarse que en el fondo del recipiente exista la pastilla; en caso

contrario, centrifugar nuevamente. Resuspender la pastilla en 150 ml de la solución de sulfato de zinc ( $\text{ZnSO}_4$ ). Homogeneizar la pastilla con el agitador de tubos o con un aplicador de madera.

- Una vez más, centrifugar a 400 g de 3 min a 5 min, y recuperar el sobrenadantevirtiéndolo en un recipiente de plástico de 2 000 ml. Diluir cuando menos en 1 000 ml de agua destilada, y dejar sedimentar al menos 3 h, o toda la noche o centrifugar a 400 g de 3 min a 5 min.
- Aspirar con cuidado y al máximo el sobrenadante por vacío, y resuspender el sedimento por agitación, utilizando poca agua destilada. Vertir la suspensión resultante en un tubo de centrifuga de 200 ml, incluyendo el agua de enjuague del recipiente y centrifugar a 480 g durante 3 min.
- Decantar nuevamente el sobrenadante y resuspender la pastilla con agua destilada en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g durante 3 min.
- Decantar nuevamente el sobrenadante por vacío y resuspender la pastilla en 15 ml de la solución de alcohol-ácido por medio de un agitador de tubos, y agregar 10 ml de éter. Agitar suavemente y de vez en cuando destapar cuidadosamente los tubos para dejar escapar el gas que se desprenda. Por seguridad realizar en sitios ventilados utilizando la mascarilla o en la campana de extracción
- Centrifugar una última vez a 660 g durante 3 min.
- Aspirar al máximo el sobrenadante, dejando menos de 1 ml del mismo y evitando la pérdida de la pastilla; homogeneizar la pastilla, y proceder a la cuantificación. Por seguridad realizar en sitios ventilados utilizando la mascarilla o en la campana de extracción.

Cuantificación de los huevos de helminto

- a) Para evitar la sobreposición de las estructuras y el detritus no eliminado, repartir la muestra en volúmenes de 0,5 ml a 1,0 ml, con el fin de facilitar la lectura.
- b) Distribuir cada uno en una celda de Sedgwich-Rafter, o bien, en una cámara de conteo de Doncaster o cámara Neubauer.
- c) Identificar visualmente una a una las estructuras, anotando los generos identificada.

#### EXPRESIÓN DE RESULTADOS

##### Cálculos

Para determinar las revoluciones por minuto (rev/min) de la centrifuga, se utiliza la fórmula siguiente:

$$\text{rev/min} = \sqrt{Kg/r}$$

donde:

g es la fuerza relativa de la centrifugación;

K es la constante cuyo valor es 89,456, y

r es el radio de la centrifuga en centímetros (cm).

La fórmula para calcular g es la siguiente:

$$g = r(\text{rev/min})/K$$

Expresar el resultado en número de huevecillos por litro, tomando en consideración la expresión en cálculos, o bien expresar el número de huevos contados y el volumen analizado:

$$HL=H/5$$

donde:

H es el número de huevos leídos en la muestra;

HL es el número de huevos por litro, y

5 es el volumen de la muestra.

#### INFORME DE LA PRUEBA

El informe de la prueba debe incluir lo siguiente:

- Todos los detalles necesarios para la identificación completa de la muestra;
- Los resultados, expresados de acuerdo con lo establecido en el punto 10, y
- Cualquier suceso particular observado durante el curso del análisis, así como cualquier operación no especificada en el método, o considerada opcional, que pueda haber influido en los resultados.

## H.12. METODO DIGESTIONES

### Con ácido nítrico-ácido perclórico (lodos y suelos)

#### 1 Principio y alcance

1.1 La muestra seca y molida, de lodo o de suelo, se digiere con ácido nítrico y ácido perclórico. En el digerido se pueden determinar las concentraciones de As, Cd, Cu, Ni, Pb, Se y Zn.

1.2 Este procedimiento es aplicable a todos los tipos de suelos y a los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas.

#### 2 Equipos y materiales especiales

2.1 Digestor de tubos.

2.2 Tubos de digestión de vidrio de 250 mL de capacidad, con tapones de teflón y tubos

refrigerantes para permitir la condensación de vapores.

2.3 Discos filtro de tamaño de poro <25 µm.

### 3 Reactivos

Deben usarse solamente reactivos de grado analítico o grado para trazas.

Todas las referencias a “agua” se refieren a agua reactivo que debe cumplir los requisitos dados

por ASTM D1193 (1999) Tipo I o ISO 3696 (1987) Grado 1 (CE máxima 0,06 – 0,1 µS/cm (0,006 – 0,01 mS/m)).

3.1 Ácido nítrico, HNO<sub>3</sub> 100 %, densidad 1,52 kg/L.

3.2 Ácido perclórico, HClO<sub>4</sub> 70%, densidad 1,66 kg/L.

3.3 Solución para fortificar.

A un matraz aforado de 100 mL agregar:

→ alrededor de 50 mL de agua,

→ 1 mL de ácido nítrico (3.1),

→ 5 mL de solución estándar de 10 mg/L de As

→ 1 mL de solución estándar de 10 mg/L de Cd

→ 1 mL de solución estándar de 1000 mg/L de Zn

→ 5 mL de solución estándar de 1000 mg/L de Cu

→ 5 mL de solución estándar de 1000 mg/L de Ni

→ 10 mL de solución estándar de 1000 mg/L de Pb

→ 5 mL de solución estándar de 10 mg/L de Se

→ agua hasta enrasar.

Esta solución para fortificar contiene:

- 500 µg/L de As,

- 100 µg/L de Cd,

- 10 mg/L de Zn,

- 50 mg/L de Cu,

- 50 mg/L de Ni,

- 100 mg/L de Pb y

- 500 µg/L de Se.

### 4 Procedimiento

- En tubos de digestión (2.2), pesar alrededor de 1 g (exactitud 0,01g) de muestra seca a 40°C±2°C y <0,5 mm de lodo (Método 1.1 punto 4.9), o de suelo (Método 1.2, punto 3.6). Incluir 1 blanco, 1 muestra de referencia fortificada con 2 mL de solución para fortificar (3.3), 1 de las muestras de la tanda fortificada con 2 mL de solución para fortificar (3.3) y 1 duplicado de esta muestra fortificada con 2 mL de solución para fortificar (3.3).
- Agregar 25 mL de HNO<sub>3</sub> 100% (3.1) y agitar manualmente el matraz para homogenizar la muestra.
- Colocar los tapones de teflón con los refrigerantes.
- Digerir a 60°C durante la noche. Mezclar bien.
- Digerir a 120°C durante 1 hora. Enfriar, mezclar y remover los refrigerantes.
- Calentar a 140°C hasta que quede un volumen de alrededor de 5 mL.
- Enfriar a menos de 60°C.
- Agregar cuidadosamente 5 mL de HClO<sub>4</sub> 70% (3.2), colocar nuevamente los refrigerantes y digerir a 220°C durante 30 min.

#### Nota 1

El período de predigestión, el uso de refrigerantes y el aumento progresivo del poder oxidante,

combinando ácidos y temperaturas, evita la formación de compuesto volátiles de As y Se.

#### Nota 2

No debe usarse ácido perclórico en campanas de extracción de madera por el peligro de explosión.

4.9 Enfriar y lavar los refrigerantes y las paredes de los tubos con agua.

4.10 Filtrar y enrasar con agua a 100 mL.

### Nota 3

En el filtrado se pueden determinar las concentraciones de As, Cd, Cu, Ni, Pb, Se y Zn.

## Preparación de Muestra

### 1.1 Lodos

#### 1 Principio y alcance

1.1 El objetivo de la preparación es homogeneizar la muestra de lodo para ser usada en los análisis químicos y físicos. Normalmente, los lodos tienen una humedad que puede dificultar la obtención de una muestra representativa. Por lo tanto, deben secarse y molerse para reducir la variabilidad de las submuestras a usarse en los análisis. El secado se realiza a una temperatura no superior a  $40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  y luego la muestra se muele hasta que pase por un tamiz de 2 mm de apertura. Tanto el secado como la molienda deben realizarse usando equipos y materiales que no liberen elementos que serán analizados en las muestras.

1.2 Este procedimiento es aplicable a los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas.

#### 2 Preservación de las muestras

2.1 Las muestras deben mantenerse refrigeradas a  $4^{\circ}\text{C}$  hasta el análisis.

#### 3 Equipos y materiales especiales

3.1 Recipientes de plástico, porcelana, acero o sílice de 500 mL o 1 litro de capacidad.

3.2 Láminas de plástico.

3.3 Estufa con circulación de aire capaz de mantener una temperatura no superior a  $40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

### Nota 1

Es recomendable usar un desodorante en la estufa para evitar la diseminación de olores.

3.4 Tamiz de acero inoxidable o de otro material inerte, con orificios de 2 mm.

3.5 Tamiz de acero inoxidable o de otro material inerte, con orificios de 0,5 mm.

3.6 Mortero y pistilo de porcelana.

3.7 Mortero y pistilo de ágata.

3.8 Bolsas con cierre hermético o frascos de plástico de 500 mL y 20 mL de capacidad, con tapa, para almacenar las muestras.

## 4 Procedimiento

4.1 Homogeneizar bien la muestra recibida.

4.2 Sacar una alícuota de la muestra y determinar pH según el Método 4.1.

4.3 Sacar otra alícuota de la muestra y determinar el contenido de agua y sólidos totales.

4.4 Colocar una fracción de la muestra en un recipiente (3.1) cubierto interiormente con una lámina de plástico (3.2).

### Nota 2

La cantidad de muestra que se debe secar debe ser la suficiente como para obtener entre 200 g y

500 g de muestra seca.

### Nota 3

Almacenar la muestra remanente en un frasco hermético y congelar a  $-4^{\circ}\text{C}$ , como contramuestra.

4.5 Si es necesario, disgregar los terrones con una espátula.

4.6 Secar en una estufa (3.3) a no más de  $40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  hasta obtener una muestra que se pueda moler y tamizar fácilmente.

4.7 Si se encuentran materiales inertes como plástico, vidrio, caucho y/o piedras, pesar la muestra

(mm), remover los materiales inertes con una pinza, pesarlos (mi) y almacenarlos para un posible análisis futuro.

4.8 Tamizar la muestra a través del tamiz de 2 mm (3.4). La fracción que no pasa por el tamiz se muele en un mortero (3.6) y se tamiza nuevamente.

4.9 Para el análisis del contenido total de metales, moler en un mortero de ágata (3.7) alrededor de 5 g a 10 g de muestra <2 mm y pasarla **totalmente** a través de un tamiz de 0,5 mm (3.5).

#### Nota 4

La molienda de lodos puede generar polvo dañino para la salud. Por lo tanto debe trabajarse bajo

campana y con máscara protectora.

4.10 Envasar las muestras preparadas y almacenarlas refrigeradas a 4°C por un período máximo de un mes. Si se estima un período mayor, almacenar congeladas a -4°C.

#### Nota 5

Tener especial cuidado de evitar la contaminación cruzada, lavando prolijamente los materiales con detergente, abundante agua potable y agua destilada. Luego secarlos con aire caliente antes de preparar una nueva muestra.

La proporción de los materiales inertes se utiliza en el cálculo de las concentraciones de los componentes de la muestra total.

#### METODO CALIBRACION PARA DETERMINACION DE AMONIO

- Stock secundario. Medir 1 ml de la solución patrón y llevar a 100 ml con agua

desionizada; la concentración de esta nueva solución es de 100 µmol/l

- Tomar 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 y 1.25 ml del stock secundario y completar a 25 ml, con agua desionizada; las concentraciones de estas soluciones son 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 µg.at.N/l respectivamente, o seleccionar concentraciones que estén en el rango de trabajo de las muestras
- Aplicar el proceso descrito para la muestra y el blanco

Deberá aplicarse una regresión lineal a los resultados y calcular la concentración de la siguiente forma.

Determine la pendiente (m) y el intercepto (b) de la curva de calibración.

$$[Y = mX + b].$$

$$\text{Abs} = C * m + b$$

Y = Abs = Valor de la absorbancia del estándar

X = C = Concentración del estándar (µg.at.N/l)

b = Intercepto

Nota:

- La linealidad se mantiene hasta los 40 µmoles/l
- La calibración también se puede trabajar con soluciones patrón preparadas con agua de mar natural pobre en amonio.

## H.13. METODO DE CALCULOS DE AMONIO

De la curva de calibración se obtiene directamente la concentración de la muestra, así:

$$\text{Abs} - b \text{ C} = \text{-----} m$$

C = Concentración de la muestra en µg.at.N/l

Abs = Absorbancia de la muestra corregida (menos la absorbancia del blanco)

b = Intercepto

m = Pendiente de la curva de regresión

La toma de muestra, almacenamiento y preservación para análisis de amonio:

La colección de muestras se realiza mediante el uso de botellas Niskin, Nansen u otra apropiada. De éstas, se transfiere a una botella plástica de 500 ml, previamente lavada y purgada. Normalmente, la cantidad colectada en la última botella, sirve para efectuar todos los análisis de nutrientes.

Antes de proceder al análisis es necesario filtrar la muestra para evitar las interferencias por el material suspendido. Es conveniente efectuar el análisis inmediatamente después de realizada la colección; pero si esto no es posible, se deben almacenar en un sitio oscuro y congeladas a  $-20^{\circ}$  C. Es preferible el uso de congelación instantánea con CO<sub>2</sub>.

## H.14. METODO REACTIVOS PARA LA DETERMINACION DE FOSFATOS

Solución heptamolibdato de amonio [(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O]: Disolver 15 g de heptamolibdato de amonio grado analítico en agua destilada y completar a 500 ml, almacenar en botella plástica o de vidrio lejos de luz. La solución es estable por varias semanas. Solución de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>): Mezclar 70 ml de ácido sulfúrico concentrado (d=1.82 g/ml) con 450 ml de agua destilada. Dejar enfriar y almacenar en recipiente de vidrio.

Solución de ácido ascórbico (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>): Disolver 10.8 gramos de ácido ascórbico en 200 ml de agua desionizada. Almacenar la solución en recipiente plástico protegido de la luz y congelar. Descongelar para uso y recongelar nuevamente. En estas condiciones la solución es estable durante semanas.

Solución de tartrato de potasio antimonilo (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>KO<sub>7</sub>Sb): Disolver 0.34 g de reactivo analítico en 250 ml de agua destilada. Si es necesario, calentar moderadamente en plancha. Almacenar bajo refrigeración en recipiente de plástico o vidrio. La solución es estable durante meses.

Reactivo mixto: Mezclar en su orden 20 ml de solución de molibdato, 50 ml de solución de ácido sulfúrico, 20 ml de solución de ácido ascórbico y 10 ml de solución de tartrato de Sb-K; esta solución se prepara diariamente, es estable por cuatro horas.

Solución estándar de fosfato. Disolver 0.1361 g de dihidrógeno fosfato de potasio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) (previamente seco a 104°C por dos horas), en 100 ml de agua destilada almacenar en una botella oscura con 50 µl de cloroformo. Esta solución tiene una concentración de 10000 µg.at/l y es estable por varios meses.

## H.15. METODO PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE FOSFATOS

- Depositar en los viales de reacción, 25 ml de cada muestra de agua filtrada

- Recordar que con cada conjunto de muestras se debe montar un blanco y una muestra estándar de 3.0 µg at P/l
- Agregar a cada vial 2.5 ml del reactivo mixto. Mezclar para que se verifique la reacción, y cubrir el erlenmeyer con papel aluminio para evitar contaminación
- Dejar en reposo 5 minutos
- Seleccionar la longitud de onda 885 nm
- Seguidamente, registrar la absorbancia de cada una de las muestras, el estándar de trabajo y el blanco de reactivos.
- Determinación del blanco
- Usar agua destilada en lugar de muestra y llevar a cabo los pasos descritos anteriormente para obtener la absorbancia del blanco de reactivos.

## H.16. METODO DE CALIBRACION PARA LA DETERMINACION DE FOSFATOS

- Stock secundario. Medir 1.0 ml de la solución estándar y llevar a 100 ml con agua desionizada; la concentración de esta nueva solución es de 100 µmol/l.
- Tomar 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 y 1.25 ml de la solución secundaria y completar a 25 ml, con agua desionizada en balones aforados; las concentraciones de estas soluciones son 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 µg.at.P/l respectivamente, o seleccionar concentraciones que estén en el rango de trabajo de las muestras.
- Aplicar el proceso descrito para la muestra y el blanco

Aplicar una regresión lineal a los resultados y calcule la concentración de la siguiente forma. Determine la pendiente (m) y el intercepto (b) de la curva de calibración. [ $Y = mX+b$ ].

$$\text{Abs} = C * m + b$$

$Y = \text{Abs} =$  Valor de la absorbancia del estándar

$X = C =$  Concentración del estándar en µg.at P/l

$b =$  Intercepto

## H.17. POTASIO EN FERTILIZANTES

Método de fotometría de llama (manual o automatizada)

(precaución : revisar las notas de seguridad en el fotómetro de llama)

### A. Parámetros del método.

Cualquier fotómetro de llama, manual o automatizado, capaz de detectar potasio, usando litio como estándar interno, y cumpliendo con las características de desempeño para el método descritas aquí (posteriormente), es adecuado. Se realiza una extracción de las muestras usando una solución de oxalato de amonio o una solución de citrato de amonio. Diluciones adecuadas del

extracto son mezcladas con el estándar interno de  $\text{LiNO}_3$  y aspiradas o bombeadas hacia el interior del fotómetro de llama. Se agrega  $\text{La}_2\text{O}_3$  se agrega a la solución de  $\text{LiNO}_3$  para eliminar el efecto del fosfato. La solución final introducida a la llama debe tener la siguiente composición: (a) concentración de  $\text{K}_2\text{O}$  en un rango tal que la curva de estandarización tenga comportamiento lineal dentro de ese rango.(b) cantidad constante de Li entre los rangos de 5-40 ppm, (c) concentración elegida de  $\text{La} < 1400$  ppm, (d) 0.2N  $\text{HNO}_3$  . Concentraciones exactas de  $\text{LiNO}_3$  y  $\text{La}_2\text{O}_3$  son optimizadas para instrumentos específicos como se describe en las especificaciones de rendimiento más abajo. Se determina la relación de

intensidades entre el potasio a 768 nm con respecto al litio a 671 nm y se compara con relaciones similares obtenidas de un conjunto mayor o igual a 6 estándares, preparados a partir de NBS o un estándar de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  los estándares se ordenan de forma ascendente y distribuidos de manera uniforme en rangos escogidos.

B. Preparación de la muestra.

- (a) Extracción de oxalato de amonio pesar 1 g de muestra en un balón volumétrico de 500 mL, añadir 50 mL de  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  al 4% y 125 mL de agua, hervida por 30 min y enfriada. Aforar con agua, mezclar y filtrar o dejar reposar hasta que se aclare.
- (b) Extracción de citrato de amonio a partir de extracto de fosforo disponible directamente preparar como en 960.03B (si la solución debe mantenerse durante la noche, añadir 3-4 gotas de  $\text{CHCl}_3$ )

C. Especificaciones de desempeño

Criterio de desempeño del sistema en esta sección de desempeño se detallan ejemplos de un sistema instrumental específico capaz de cumplir con criterios de desempeño específicos. Es necesario que antes de analizar las muestras se debe asegurar que el sistema instrumental usado cumple con estos criterios. Los niveles especificados deben ser considerados como niveles aceptables mínimos. Muchos de estos criterios han sido diseñados para instrumentos automatizados, pero se deben aplicar también para sistemas instrumentales manuales.

- (a) Nivel de concentración de  $\text{LiNO}_3$ , - la cantidad de  $\text{LiNO}_3$  en la solución final aspirada dentro de la flama se ajusta en parte por conveniencia de los parámetros del instrumento. Pero la cantidad debe ser una en la cual los canales de Li y K tengan una respuesta aproximadamente igual. Esto puede determinarse ya sea desplegando la información de salida de cada canal por separado. O desplegando las relaciones entre K en función Li e intercambiando los filtros de Li y K y desplegando las relaciones nuevamente. Usando cualquiera de los procedimientos el rango promedio de ion potasio en la muestra se debe mantener constante y la concentración de ion litio debe variarse

hasta que se encuentre la concentración adecuada de ion litio.

- (b) Ruido.- ajustar la salida del detector a 90% de la escala total muestreando constantemente un estándar alto. El ruido debe estar por debajo del 2% de la escala completa medida de pico a pico. Nota algunos instrumentos, por ejemplo sistemas de análisis por inyección de flujo, no están diseñados para bombear muestras constantemente. En este caso se debe sustituir el muestro continuo por muestreo repetitivo y considerar que el ruido es equivalente a la diferencia que hay entre los máximos de los picos adyacentes. (El rendimiento óptimo del sistema descrito como ejemplo en este 162 método es aproximadamente 0.5% de pico a pico. Para reducir el ruido en el sistema ejemplo, se estabiliza la flama, estabilizar la cantidad de bombeo, estabilizar la contrapresión, cambiar los tubos de bombeo, limpiar el manifold o rehacer el manifold para asegurar un mezclado adecuado. Para determinar el limite mínimo del ruido del instrumento, recolectar la solución desecho del sistema, conectar una porción corta de la tubería directamente al aspirador del fotómetro y aspirar la solución desecho directamente a la llama)
- (c) Remanente- ajustar la salida del detector para alcanzar una respuesta aproximada del 10% y 90% para los estándares menor y mayor respectivamente. Muestrear tres estándares mayores seguidamente de cinco menores con el sistema bajo condiciones de análisis. El remanente definido como la diferencia entre el primer estándar menor y la media de otros estándares menores, no debe ser mayor a 1% ( el desempeño máximo del sistema ejemplo se alcanza con un remanente despreciable. Para reducir el valor del remanente en el sistema ejemplo, se debe limpiar el manifold y el aspirador, revisar las conexiones del manifold en busca de espacios muertos, si es posible rediseñar el sistema de acortamiento hidráulico del manifold, disminuir la tasa de

- muestreo y/o reducir el rango del estándar)
- (d) Desviación- ajustar el instrumento hasta que el detector tenga una respuesta aproximadamente de 50% usando un estándar medio muestreado continuamente. Muestrear de manera continua el estándar medio durante el tiempo necesario para analizar treinta muestras. Para instrumentos no diseñados para el muestreo constante, trazar una línea suavizada a través de treinta picos de estándares medios. La desviación no debe sobrepasar el 1% para cualquier segmento de diez muestras. (el rendimiento óptimo del sistema usado como ejemplo se obtiene con cero desviación, para reducir la desviación se debe estabilizar la temperatura de la habitación y de la solución, ajustar el manifold para tener una contrapresión constante y/o mantener una llama constante) mientras la desviación no supere el 1% el nivel de 10 picos, la información de rutina puede ser mejorada insertando un estándar medio periódicamente entre los grupos de muestras. Esto permite realizar una corrección matemática de la altura del pico, asumiendo una desviación lineal.
- (e) Precisión con los instrumentos calibrados en 10% y 90% para estándares menor y mayor respectivamente, muestrear 30 estándares medios bajo condiciones de análisis. El rango de respuesta del instrumento no debe ser mayor al 2% (el desempeño óptimo del equipo ejemplificado es de 0.7%. Para mejorar la precisión en el equipo ejemplificado se debe reducir el ruido, revisar el temporizador del muestreador, y/o disminuir el ritmo de muestreo.)
- (f) Curva de estandarización.- consiste en seis o más estándares distribuidos de forma pareja a través de un rango de concentraciones. Preparar las soluciones con NIST o un estándar primario de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  secado por dos horas a  $105^\circ$ . Incluir el factor de pureza en los cálculos de la concentración del estándar. Con el instrumento calibrado en aproximadamente 10% y 90% en la
- escala para los estándares menor y mayor respectivamente. Analizar los estándares de manera ascendente bajo condiciones de análisis. Los resultados deberían ser lineales. Matemáticamente una regresión por mínimos cuadrados debería ajustarse a los datos de la curva estándar. Usando la ecuación obtenida por la regresión y los resultados de cada estándar individual, calcular la concentración de cada estándar. Luego comparar las concentraciones calculadas contra las concentraciones conocidas de cada estándar. Los datos calculados no deben variar por encima del  $\pm 2\%$  con los datos conocidos. El valor absoluto del promedio de esos % no debe ser mayor a 1% (el desempeño óptimo del sistema ejemplificado tiene valores de 0.75% y 0.37% respectivamente. Para mejorar el ajuste de la curva de estandarizado se deben optimizar los parámetros (b) al (e) descritos anteriormente o/y reducir el rango de los estándares.)
- (g) Efecto fosfato.- En el sistema ejemplificado la cantidad de  $\text{La}_2\text{O}_3$  agregado en la solución de  $\text{LiNO}_3$  es suficiente para eliminar el efecto del fosfato (depresión del instrumento en respuesta a la producción de K por el ion fosfato). Si se utiliza otro sistema automatizado distinto al ejemplificado. La eliminación del efecto del fosfato debe ser verificada. Usando  $\text{KNO}_3$ , preparar 200 ml de solución de  $\text{K}_2\text{O}$  con una concentración igual al doble del estándar más alto usado. Pipetear 50 ml de la solución preparada en dos frascos volumétricos. Aforrar uno de los frascos volumétricos, en el otro frasco volumétrico agregar suficiente solución de  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  hasta alcanzar una concentración de  $\text{P}_2\text{O}_4$  igual a la concentración esperada de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en cualquier muestra que se analizara del extracto. Aforrar y mezclar. Muestrear 10 porciones de cada solución, de forma alternada, bajo condiciones de análisis. El promedio de resultados de las 10 soluciones y los resultados promedios de las 2 soluciones no deben variar una de otra por un porcentaje mayor de 1%. Seleccionar la mínima cantidad de  $\text{La}_2\text{O}_3$

que eliminara el efecto del fosfato ( el desempeño optimo del sistema is menor a 0.5%. Para mejorar el desempeño, ajustar la cantidad de  $\text{La}_2\text{O}_3$ )

- (h) Desempeño general del sistema.- los desempeños mencionados anteriormente son ejemplos del peor caso posible. Un sistema funcionando levemente en cualquiera de las categorías probablemente reprobaría los siguientes chequeos de desempeño general.

Verificar el desempeño general de la siguiente forma: extraer y analizar una vez cada una de las 20 muestras de chequeo determinandas previamente por un estudio interlaboratorio. También extraer y analizar 5 porciones independientes de 1 g de NIST o estándar primario de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  analizar de modo aleatorio las muestras de solución. Calcular el porcentaje de  $\text{K}_2\text{O}$ . la tendencia promedio de los resultados de las muestras de chequeo debe ser menor a  $\pm 0.1$ . El promedio de de los valores absolutos de las diferencias debe ser menor a 0.4 (los valores optimos del sistema ejemplificado son aproximadamente  $\pm 0.2$  y  $-0.2$  respectivamente)

Para 5 analisis realizados de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  la diferencia entre la media del porcentaje de  $\text{K}_2\text{O}$  calculado con el porcentaje de  $\text{K}_2\text{O}$  conocido no debe ser mayor a  $\pm 0.2$  y la desviación estándar no debe ser mayor a 0.25 ( los valores optimos para el sistema ejemplificado son  $\pm 0.1$  y  $0.15$  respectivamente)

- (i) Chequeos de desempeño durante la marcha.- (1) realizar chequeos de desempeño diariamente analizando las mismas muestras de chequeo al menos una vez cada 60 muestras regular, y al menos unas vez en cada corrida. (2) repetir el apartado (h) al menos dos veces por año y siempre que el sistema no haya sido usado por periodos largos de tiempo.

Ejemplo de sistema instrumental automático.

#### D. Aparato

Analizador automatico.- modelo AutoAnalyzer con los siguientes modulos( disponible en Technicon instruments Corp): muestrador II o IV, bomba III, fotómetro de llama IV y grabadora. Se requiere una computadora o calculadora capaz de realizar regresiones de minimos cuadrados.

#### E. Reactivos.

- (a) Solución de oxalato de amonio- disolver 40 g de  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  en un litro de agua.

- (b) Solución de citrato de amonio- debe tener una gravedad especifica de 1.09 a  $20^\circ\text{C}$  y pH de 7.0 determinado con un potenciómetro.

Disolver 370 g de cristales de ácido cítrico en 1.5 L de agua y dejar cerca de la neutralización añadiendo 345 mL de  $\text{NH}_4\text{OH}$  (28-29%  $\text{NH}_3$ ) si la concentración de  $\text{NH}_3$  es inferior a 28% agregar de manera correspondiente un volumen mayor y disolver el ácido cítrico en un volumen correspondiente menor de agua fría y revisar el pH. Ajustar con  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1+7) o solución de ácido cítrico a pH 7. Si es necesario, diluir la solución para alcanzar una gravedad especifica de 1.09 a  $20^\circ$  ( el volumen será aproximadamente de 2 L) mantener en botellas debidamente tapadas y chequear de vez en cuando el pH, reajustar si es necesario.

- (c) Solución de nitrato de litio.- disolver 1.642 g  $\text{La}_2\text{O}_3$  en 30 mL de  $\text{HNO}_3$ , agregar 0.9935 g de  $\text{LiNO}_3$  secado durante 2 h a  $105^\circ$  y 1 mL de Flaminox 1% en solución (Fisher Scientific Co) y diluir a 1 L con agua.

- (d) Lavado y solución de agua para dilución .- diluir 1 mL de Flaminox 1% en 1 L de agua.

- (e) Soluciones estándar de potasio.- (1) solución de abastecimiento- 1 mg  $\text{K}_2\text{O}$  / mL. Disolver 2.889 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (NIST SRM 200) en agua, y diluir hasta 1 L. (2) soluciones estándar de trabajo.- 10, 20, 30, 40, 50 y 55 micro gramos /mL. Medir con exactitud usando una bureta 10, 20 y 30 mL de la solución estándar de abastecimiento agregar a una balón de 1 L y medir 20, 25 y 27.5 mL en un balón de 500 mL. Agregar 0.2 g  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  por cada 500 mL de solución final si la solución es preparada con oxilato de

amonio o agregar 12 mL de citrato de amonio en solución por cada 500 mL de volumen final si las muestras fueron preparadas con extracción de citrato de amonio. Aforar con agua.

F. Procedimiento de encendido y apagado.

Encender el sistema y colocar los reactivos en línea. Dejar que se estabilicen durante 30 min antes de iniciar el proceso de calibración. Ajustar la llama del fotómetro como se indica a continuación: (1) control de remojo en la posición 3; (2) altura de la llama en el cono principal 4 cm; (3) control de atomizador ajustado para dar un rango de atomización aproximadamente de 1.3-1.4 mL/min.

G. Inspección y calibración

Después de equilibrar, bombear 10 micro gramos de  $K_2O/mL$  estandarizado a través del sistema ajustar la línea base de control del fotómetro para que lea 10% de la escala. Bombear 55 micro gramos de  $K_2O/mL$  estándar a través del sistema y ajustar el control de calibración para que lea 90% de la escala. Si existen condiciones ruidosas, verificar si hay entradas de aire al equipo. Si existen corrientes de aire revisar la temperatura de la habitación y de las soluciones. En condiciones estables la curva debe ser virtualmente lineal.

H. Determinación

Pipetear alícuotas de soluciones muestra, tabla 983.02, en un frasco volumétrico de 250 mL diluir hasta aforar con agua y mezclar 15 veces. Para alícuotas de 10 mL de extracto de citrato, añadir 4 mL de solución de citrato de amonio a las alícuotas antes de diluir hasta el volumen final. Realizar las pruebas en grupos de 10 muestras, primero pasar 10 muestras de 55 micro gramos  $K_2O/mL$ , precedida de 10 micro gramos /mL estándar. Usar un estándar de 30 micro gramo/mL después de cada décima muestra para realizar correcciones de desviación. Terminar la serie con dos estándares de 30 micro gramos /mL. Muestrear a una velocidad de 40/h, 2:1 la relación de muestra-lavado.

I. Cálculos.

965.09 nutrientes menores en fertilizantes

Método de Espectrofotometría de absorción atómica

Primera acción 1965

Acción final 1969

Precaucion: revisar las notas de seguridad para el espectrofotometro de absorción atómica.

A. Aparato y reactivos.

- (a) Espectrofotometro de absorción atómica.- debido a que existen muchos modelos disponibles los cuales son diferentes entre ellos , con requerimientos de luz, rango de flujo en el quemados y sensibilidad del detector. Solamente se dan algunas generalidades de parámetros de operación en la tabla 965.09. El operador debe familiarizarse con el procedimientos y características de su aparato. Debe usar la tabla solamente como guía para los rangos de concentración y las condiciones de la llama.
- (b) Solución de EDTA disodico.- 2.5% disolver 25 g  $Na_2H_2EDTA$  en 1 L de agua, ajustar el pH 7.0 con  $NaOH$  5N, usar pH metro.

B. Soluciones estándares.

(no usar pipetas de menos de 2 mL o balones volumétricos menores de 25 mL. Aparatos de dilución automática pueden usarse. Preparar soluciones estándar en rangos de 0-20 microgramos todos los días.

- (a) Solución de calcio.- (1) solución de reserva.- 25 microgramos  $Ca/mL$  . siluir 1.249 g de  $CaCO_3$  en una cantidad minima de  $HCl$  a 3 N. Diluir hasta 1 L. Diluir 50 mL hasta un litro. (2) solución estándar de trabajo. -0, 5, 10, 15, y 20 microgramos  $Ca/mL$  conteniendo 1% La. Para un balón de 25 mL agregar 0, 5, 10, 15 o 20 mL de solución de reserva de Ca y añadir 5 ml de solución de reserva de La diluir hasta 25 mL.
- (b) Solución de reserva de cobre.- 1000 microgramos  $Cu/mL$ . Disolver 1 g de cobre puro en una cantidad minima de  $HNO_3$  y añadir 5 mL de  $HCl$ . Evaporar hasta casi secar y diluir a 1 L con  $HCl$  0.1 N.
- (c) Solución de reserva de hierro.- 1000 microgramos  $Fe/mL$  disolver 1 g de

hierro puro en aproximadamente 30 mL de HCl a 6N. diluir hasta 1 L.

C. Preparación de soluciones muestras.

(Precaución: revisar las notas de seguridad para oxidación húmeda, ácido hidrofúrico, ácido perclórico)

- (a) Materiales inorgánicos y fertilizantes mezclados.- disolver 1 g de muestra bien triturada en 10 mL de HCl en un beaker de 150 mL. Hervir y evaporar la solución hasta estar cerca de secarse en un hot plate. No hornear los residuos.

Redisolver los residuos en 20 mL de HCl 2N, hervir levemente si es necesario. Filtrar usando papel filtro en un balón de 100 mL haciendo lavado de los residuos y el papel con agua. Medir la absorción de la solución directamente o diluir con HCl a 0.5N para obtener una solución entre el rango del instrumento. Si se determinara Ca añadir suficiente solución de reserva de Li para hacer que la solución final sea 1% Li.

- (b) Fertilizante conteniendo materia orgánica.- colocar 1 g de muestra en un beaker de 150 mL (Pyrex). Carbonizar en un hot plate durante 1 hora a 500° con libre acceso de aire. Quebrar la torta con una varilla de agitación y disolver en 10 mL de HCl como en (a).

- (c) Fertilizantes que contienen elementos trazas fritos.- disolver al menos 1 g bien molido de muestra en 5 mL de HClO<sub>4</sub> y 5 mL HF. Hervir y evaporar hasta generar vapores densos de HClO<sub>4</sub>, diluir cuidadosamente con agua filtrada y proseguir como en (a).

- (d) Para hierro y zinc.- (1) extracción acuosa.- colocar 1 g de muestra en un beaker de 250 mL añadir 75 mL de agua,

hervir por 30 min. Filtrar en un balón de volumen de 100 mL, lavando el papel filtro. Diluir hasta aforar y volver a diluir si es necesario. (2) extracción por quelación.- colocar 1 g de muestra en un beaker de 250 mL, agregar un agitador magnético de 5 cm y 100 mL de solución de EDTA a 2.5%. agitar durante 5 min exactos filtrar usando papel Whatman N°41 si el filtrado es opaco refiltrar inmediatamente usando papel Whatman N°5, rediluir si es necesario con HCl a 0.5 N.

D. Determinación.

(El P interfiere en la determinación de Ca y puede interferir en la de Mg cuando se usan quemadores de aire-etano. Eliminar la interferencia añadiendo solución de reserva de La y soluciones muestras para que las diluciones finales contengan 1% de La. El P no interfiere con la determinación de Ca cuando se usan llamas de N<sub>2</sub>O-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>).

Instalar el instrumento como se indica en la tabla 965.09, o según la instalación adecuada determinada con anterioridad. Medir más de 4 soluciones estándares dentro del rango de análisis antes y después de medir cada uno de los grupos de 6-12 muestras. Enjuagar el quemador con agua entre cada análisis de muestras y reestablecer el punto 0 de absorción cada vez. Realizar la curva de calibración a partir de los promedios de cada estándar antes y después de cada grupo de muestras. Leer la concentración de las muestras de la curva de absorción microgramos/mL.

E. Cálculos

%elemento=(microgramo/mL)\*(F/peso de muestra)\*10<sup>-4</sup>

F=mL de dilución original\*mL dilución final/mL alicuota

## H.18. METODO CALIBRACION PARA DETERMINACION DE AMONIO

- Stock secundario. Medir 1 ml de la solución patrón y llevar a 100 ml con agua desionizada; la concentración de esta nueva solución es de 100 µmol/l
- Tomar 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 y 1.25 ml del stock secundario y completar a 25 ml, con agua desionizada; las concentraciones de estas soluciones son 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0

ug.at.N/l respectivamente, o seleccionar concentraciones que estén en el rango de trabajo de las muestras

- Aplicar el proceso descrito para la muestra y el blanco

Deberá aplicarse una regresión lineal a los resultados y calcular la concentración de la siguiente forma.

Determine la pendiente (m) y el intercepto (b) de la curva de calibración.

$[Y = mX + b]$ .

$Abs = C * m + b$

$Y = Abs =$  Valor de la absorbancia del estándar

$X = C =$  Concentración del estándar (ug.at.N/l)

b = Intercepto

Nota:

- La linealidad se mantiene hasta los 40  $\mu\text{moles/l}$
- La calibración también se puede trabajar con soluciones patrón preparadas con agua de mar natural pobre en amonio.

<b>Documento:</b> MSGA-001	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL DE LODOS</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-October-2016		

## **I. MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL DE LODOS**

### **PRESENTACION DEL MANUAL**

Este Manual define la política, objetivos y compromiso de la Dirección en materia de medio ambiente, siendo esta política adecuada a los objetivos generales de la organización y a la prevención de la contaminación y el cumplimiento de los requisitos legales en materia de medio ambiente.

### **DESCRIPCION GENERAL DE LA INDUSTRIA**

Es una empresa textil que se dedica al diseño y fabricación de cintas elásticas y rígidas, atendiendo todo el continente americano. Con más de 100 años de historia y experiencia técnica cuenta con un equipo diverso, talentoso y altamente capacitado de profesionales para atender las necesidades de los clientes.

### **COMPROMISO DE LA DIRECCION**

Conscientes de que actualmente las circunstancias que rodean al mundo empresarial y al entorno natural en el que se desenvuelve implica tomar una serie de medidas tendientes a conseguir una mejora en la gestión de las actividades de la organización, tanto en calidad del servicio ofrecido a los clientes como en términos de desarrollo sostenible medioambientalmente.

Esta es la única forma de garantizar un mejor aprovechamiento de los recursos naturales sin arriesgar el futuro de las próximas generaciones. Para ello se tiene el compromiso de implantar un Sistema de Gestión Ambiental de Lodos según la norma ISO 14001:2004 y EPA 1988. La Dirección se compromete, además, a desarrollar planes de formación tendientes a la mejor cualificación de todos los

<b>Documento:</b> MSGA-001	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL DE LODOS</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-October-2016		

trabajadores, implicando así a todo el personal en la consecución de los objetivos establecidos acerca de la gestión de lodos en el presente documento.

## **POLITICA AMBIENTAL**

La Industria que se encuentra dedicada al diseño y fabricación de cintas elásticas y rígidas, ha considerado la calidad y el respeto al medio ambiente en sus actividades como factores estratégicos y primordiales para mantener un alto nivel en la prestación de sus servicios. Para conseguir alcanzar la filosofía de gestión ambiental de lodos, basamos nuestra estrategia en:

- Un sistema de gestión de ambiental, basado en las normas ISO 14001:2004 y EPA 1988.
- El cumplimiento de la legislación y reglamentación aplicable en materia medioambiental, así como el compromiso de satisfacer otros requisitos adquiridos voluntariamente.
- El establecimiento de los impactos medioambientales que causan las actividades que serán revisados anualmente por la Dirección.
- La prevención y reducción de los impactos medioambientales de las actividades, como son el ruido o la producción de residuos, como parte integrante del trabajo diario, mediante una optimización del consumo de recursos naturales.
- El fomento de la formación y sensibilización encaminadas a concienciar y responsabilizar a todo el personal de protección del medio ambiente.

Esta Política ha de ser entendida y asumida por todo el personal de la organización y por nuestros colaboradores. Además, estará a disposición de cualquier persona que muestre interés por ella. La Dirección se compromete a velar por su aplicación

<b>Documento:</b> MSGA-001	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL DE LODOS</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-Octubre-2016		

y a revisar periódicamente su contenido, adaptándolo a la naturaleza de las actividades y de sus impactos medioambientales así como a la estrategia general de la organización.

Nombre Apellidos

Gerente General

La Libertad, 21 de Marzo de 2014.

## **PLANIFICACION DEL SISTEMA**

### **ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES**

De acuerdo con los requisitos de la norma ISO 14001:2004 y EPA 1988, existe una metodología recogida en el procedimiento **GLP-001 Identificación y Evaluación de Aspectos Medioambientales** para identificar y evaluar los aspectos medioambientales que tienen o pueden tener impactos significativos en el medio ambiente y sobre los que la organización puede ejercer un control en el desarrollo de sus actividades. Esta información sobre los aspectos e impactos significativos, nos proporciona un conocimiento detallado de la problemática ambiental asociada a las actividades de nuestra organización. Además, se tendrá en cuenta a la hora de establecer los objetivos medioambientales de la organización.

### **REQUISITOS LEGALES Y OTROS REQUISITOS**

Uno de los pilares básicos del Sistema de Gestión Ambiental es el compromiso por parte de **La Industria Ejemplo** de cumplir con los requisitos legales aplicables a su actividad en materia de medio ambiente. Para ello identifica, conoce y vela por el cumplimiento de los requerimientos legales, normativos o de cualquier otra naturaleza aplicables a los aspectos medioambientales de sus actividades y

<b>Documento:</b> MSGA-001	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL DE LODOS</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-Octubre-2016		

servicios mediante el procedimiento **GLP-002 Revisión de Requisitos, Normas y Reglamentos.**

## **OBJETIVOS DE MEDIO AMBIENTE**

De acuerdo con los requisitos de la norma ISO 14001:2004, **La Industria Ejemplo** ha propuesto metas que nos ayudan a mejorar día a día la calidad del servicio y el respeto al medio ambiente.

- Cumplir con los principios de la política ambiental.
- Reducir el número de incidencias.
- Desarrollar nuestras actividades previniendo la contaminación.
- Evitar derrames y posibles desastres ambientales.

## **ORIGENES Y FINALIDAD DEL SISTEMA**

El Sistema de Gestión Ambiental de Lodos nace de la política ambiental definida por la Dirección y comprende las funciones, actividades, recursos y documentación necesaria para asegurar que las actividades textiles industriales

La Dirección es la responsable de desarrollar e implantar el Sistema de Gestión Ambiental de Lodos de acuerdo a las pautas anteriores y de que éste sea conocido, entendido, aceptado y aplicado por toda la organización, además de renovado y mantenido al día.

La Dirección designa como Representante de la Dirección al Responsable de medio ambiente y le confiere la autoridad y responsabilidad para gestionar y controlar el Sistema de Gestión Ambiental de Lodos de acuerdo a lo establecido en el presente Manual y a los procedimientos correspondientes. El Responsable de medio ambiente asume las funciones que en la documentación aparecen asignadas para este cargo. Los fines que se pretende con el establecimiento del sistema de gestión ambiental:

- I. La prevención (evitar que se produzcan no conformidades a lo previsto).
- II. La detección (conocer los elementos no conformes y los impactos ambientales de los servicios y sus causas).

<b>Documento:</b> MSGA-001	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL DE LODOS</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-Octubre-2016		

- III. La mejora (implantar las acciones necesarias para corregir las causas de las no conformidades y sus impactos ambientales en los procesos y evitar así que se repitan).

## DOCUMENTACION DEL SISTEMA

Se ha definido, establecido y mantiene permanentemente actualizado, un sistema integrado de calidad y medio ambiente, según las Normas ISO 9001: 2008, ISO 14001:2004 y la EPA 1998, como medio para asegurar el cumplimiento de la política ambiental. Los documentos están identificados por código alfanumérico MA"X"- ### (Donde: GL=Gestión de Lodos; "X"=Puede ser D, F ó P; y ###=Número del 001 al 999)

- Manual del Sistema de Gestión Ambiental de Lodos (MSGA): Es el documento básico del sistema. Detalla la política ambiental, descripción de la empresa y las principales actividades adoptadas para una gestión de lodos eficiente, siguiendo las directrices de las normas modelo de referencia.
- Documentos (D): Presentan información general como políticas internas, instructivos, y catálogos.
- Procedimientos (P): Son documentos complementarios del Manual de Gestión Ambiental en los que se describe paso a paso cómo se realiza una determinada actividad y con qué medios o información. Su finalidad es normalizar los métodos de trabajo para evitar lagunas o improvisaciones en las actividades relacionadas con la calidad y el medio ambiente que pudieran dar lugar a problemas y deficiencias en el servicio.
- Formatos (F): Sirven para obtener información que contribuye a la gestión eficaz de la organización.

<b>Documento:</b> MSGA-001	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL DE LODOS</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-Octubre-2016		

## ACTUALIZACION DE LA DOCUMENTACION

### CONTROL DE LA DOCUMENTACION

Se tendrá el control de la documentación y de los datos que permiten la actualización, identificación y distribución de la documentación y de los datos que definen y generan el Sistema de Gestión Ambiental de Lodos. Además, se tiene establecida un sistema para la revisión y aprobación de documentos y datos antes de su distribución y para asegurar que se dispone de ellos en los lugares adecuados y en la edición vigente.

### RESPONSABILIDADES

De acuerdo con la política ambiental asumida en **La Industria Ejemplo**, la Dirección fomenta permanentemente la formación en el seno de su organización mediante el acceso a cursos específicos sobre materias relacionadas con su actividad. La Dirección define un programa de formación, a través del cual se identifican y satisfacen las necesidades de formación, en base al nivel de experiencia y de competencia profesional adecuados para asegurar la capacidad del personal implicado en garantizar la eficacia del sistema de gestión.

## REVISION DEL SISTEMA POR PARTE DE LA DIRECCION

### REVISION POR PARTE DE LA DIRECCION

La Dirección revisa periódicamente el Sistema de Gestión Ambiental para asegurar su eficacia y su adecuación continuadas mediante el para la revisión del Sistema de Ambiental de Lodos. A consecuencia de esta revisión, se realizan los cambios que sean oportunos, en la política, objetivos y otros elementos del sistema integrado de

<b>Documento:</b> MSGA-001	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>MANUAL DEL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL DE LODOS</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-October-2016		

gestión de la calidad y del medio ambiente. Los resultados de la revisión del sistema se registran en un acta.

## **AUDITORIAS INTERNAS DE MEDIOAMBIENTE**

Las auditorías sirven para confirmar que las actividades de la organización se llevan a cabo de forma apropiada. Las auditorías internas de medioambiente realizadas en se desarrollan para permitir conocer, de forma sistemática y periódica, el grado de implantación, desarrollo y adecuación del sistema de calidad y medio ambiente.

<b>Documento:</b> GLF-001	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>REGISTRO DE INGRESO Y SALIDA DE LODOS EN ALMACENAMIENTO TEMPORAL</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-October-2016		

## J. REGISTRO DE INGRESO Y SALIDA DE LODOS EN ALMACENAMIENTO TEMPORAL

*Tabla G. 1 Formato para registro de ingreso y salida de lodos.*

<b>Forma para Registro de Ingreso y Salida de Lodos en Almacenamiento Temporal</b>				
Fecha (dd/mm/aa)	Hora	Cantidad que ingresa(Kg)	Cantidad que sale (kg)	Total
Nombre y firma de responsable:				

<b>Documento:</b> GLF-001	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>REGISTRO DE INGRESO Y SALIDA DE Lodos EN ALMACENAMIENTO TEMPORAL</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-Octubre-2016		

*Tabla G. 2 Datos generales para el transporte de lodos.*

<p><b>DATOS GENERALES</b></p> <p>TIPO DE LODO</p> <p>OBSERVACIONES:</p>
<p><b>GENERACIÓN</b></p> <p>Número Del Permiso Ambiental:</p> <p>Nombre Del Titular:</p> <p>Nombre Del Representante Legal:</p> <p>Nombre De Persona Fisica Que Entrega:</p> <p>Cantidad Que Entrega:</p> <p><b>DECLARACION JURADA:</b></p> <p>El suscrito _____, en calidad de titular de la actividad, doy fe de la veracidad de la información detallada en el presente documento, cumpliendo con los requisitos de ley exigidos, razón por la cual asumo la responsabilidad consecuente derivada de esta declaración, que tiene calidad de declaración jurada.</p> <p>FIRMA DEL TITULAR O REPRESENTANTE LEGAL</p> <p>SELLO:</p> <p>LUGAR, HORA Y FECHA:</p>

<b>Documento:</b> GLF-001	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>REGISTRO DE INGRESO Y SALIDA DE LODOS EN ALMACENAMIENTO TEMPORAL</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-October-2016		

*Tabla G. 3 Datos generales para el transporte de lodos (continuación).*

<p><b>TRANSPORTE</b></p> <p>Número Del Permiso Ambiental:</p> <p>Nombre Del Titular:</p> <p>Nombre Del Representante Legal:</p> <p>Cantidad Que Recibe:</p> <p>Identificación Del Vehículo:</p> <p>Nombre Del Motorista:</p> <p>Condiciones Especiales Del Transporte:</p> <p><b>DECLARACION JURADA:</b></p> <p>El suscrito _____ en calidad de titular de la actividad, doy fe de la veracidad de la información detallada en el presente documento, cumpliendo con los requisitos de ley exigidos, razón por la cual asumo la responsabilidad consecuente derivada de esta declaración, que tiene calidad de declaración jurada.</p> <p><b>FIRMA DEL TITULAR O REPRESENTANTE LEGAL</b></p> <p><b>SELLO:</b></p>  <p><b>LUGAR, HORA Y FECHA:</b></p>
---

<b>Documento:</b> GLF-002	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>REGISTRO DE GENERACION DE LODOS</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-Octubre-2016		

## K. REGISTRO DE GENERACION DE LODOS

*Tabla H. 1 Formato de registro de calidad de lodos.*

Atributo	Descripción		
	Corriente No.	Corriente No.	Corriente No.
Nombre del Residuo			
Fuente/ origen			
Componente/ o características de peligro			
Rango de generación anual (unidades: _____)			
Componente(s) de peligro			
Costo de Disposición			
Costo de Unidad (\$ por: _____)			
En general (por año)			
Método de gestión			

<b>Documento:</b> GLF-002	<b>Nombre de Industria</b>	[Logo]
<b>Página:</b>	<b>REGISTRO DE GENERACION DE LODOS</b>	
<b>Revisión:</b> 00, 30-October-2016		

*Tabla H. 2 Valoración de calidad de lodos.*

Calificación de criterios	Peso relativo (W)	Rango (R)	R x W	Rango (R)	R x W	Rango (R)	R x W
Cumplimiento Regulatorio							
Costos de Disposición							
Cantidad de Residuo Generado							
Residuos Peligrosos							
Residuos Seguros							
Minimización del Potencial							
Potencial de Remoción							
Potencial de Recuperación							
Sumatoria de Calificaciones		$\Sigma(R \times W)$		$\Sigma(R \times W)$		$\Sigma(R \times W)$	
Rango de Prioridad							
<b>Notas:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relleno sanitario, Relleno de residuos peligrosos, reciclaje in-situ, incineración, combustión con recuperación de calor, destilación, secado, etc.</li> <li>2. Calificar cada categoría con la escala del 0 (nada) a 10 (alto).</li> </ol>							