

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIO
TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



SEP

TRABAJO PROFESIONAL
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA BIOQUÍMICA

QUE PRESENTA:

BLANCA ARELI MACIAS RUIZ

CON EL TEMA:

**“EVALUACIÓN FÍSICO – QUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES
DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL AEROPUERTO
INTERNACIONAL DE TUXTLA GUTIÉRREZ,
CHIAPAS”**

MEDIANTE:

**OPCION X
(MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)**

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

FEBRERO 2012



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

DIRECCIÓN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas., **12/OCTUBRE/2011**

OFICIO NUM. DEP-CT-129/2011

C. BLANCA ARELI MACÍAS RUIZ
PASANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA
EGRESADO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.-
P R E S E N T E.

Habiendo recibido la comunicación de su trabajo profesional por parte de los CC. M. en C. HUMBERTO CASTAÑÓN GONZÁLEZ, M. en C. JUÁN JOSÉ VILLALOBOS MALDONADO, ING. MARGARITA MARCELIN MADRIGAL e ING. JAVIER RAMÍREZ DÍAZ, en el sentido que se encuentra satisfactorio el contenido del mismo como prueba escrita, **AUTORIZO** a Usted a que se proceda a la impresión del mencionado Trabajo denominado:

"EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS"

Registrado mediante la opción:
X (MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)

ATENTAMENTE
"CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO"

Ing. Roberto Cifuentes Villafuerte
Jefe de la División de Estudios Profesionales

Vo. Bo.

Ing. José Luis Herrera Martínez
Director

C.c.p.- Departamento de Servicios Escolares
C.c.p.- Expediente
I/JLHM/I/RCV/L/ORC

Secretaría de Educ. Pública
Instituto Tecnológico
de Tuxtla Gutiérrez
Div. de Est. Profesionales

Carretera Panamericana Km.1080, . C.P. 29050, Apartado Postal 599
Teléfonos: (961) 61 5-03-80 (961) 61 5-04-61 Fax: (961) 61 5-16-87
<http://www.ittg.edu.mx>



Alcance del Sistema: Proceso Educativo

INDICE

CONTENIDO.	PÁGINA.
1.-INTRODUCCIÓN.....	1-2
2.-JUSTIFICACIÓN.....	3
3.-OBJETIVOS.....	4
3.1.-Objetivo general.....	4
3.2.-Objetivos específicos.....	4
4. CARACTERIZACIÓN DE ÁREA EN QUE PARTICIPÓ.....	5
4.1. Breve descripción del SEMAVIHN.....	5-6
4.1.1. Misión.....	7
4.1.2. Visión.....	7
4.1.3. Objetivos.....	7-8
4.2. Área en donde se realizó el proyecto.....	9
4.2.1. Organigrama dirección de protección ambiental.....	10
4.2.2. Misión.....	11
5.-PROBLEMAS A RESOLVER.....	12
6.-.ALCANCES Y LIMITACIONES.....	13
6.1 Alcances.....	13
6.2. Limitaciones.....	13
7.-FUNDAMENTO TEÓRICO.....	14
7.1 Origen de las aguas residuales.....	14
7.1.1. Desechos humanos y animales.....	14

7.1.2. Desperdicios caseros.....	15
7.1.3. Aguas de lavado de las calles y corrientes pluviales.....	15-16
7.1.4. Infiltraciones de aguas subterráneas.....	16
7.1.5. Desechos industriales.....	17
7.2. Características de las aguas residuales.....	17
7.3. Composición de las aguas residuales.....	18
7.4. Cambios químicos de las aguas residuales.....	19
7.5. Métodos de tratamientos de las aguas residuales.....	20
7.5.1. Tratamiento preliminar.....	20
7.5.1.1. Rejas de barras o más finas.....	21
7.5.1.2. Desmenuzadoras.....	22
7.5.1.3. Desarenadoras.....	23-24
7.5.1.4. Tanques de preaereación.....	25
7.6. Tratamiento primario.....	26
7.6.1. Tanques sépticos.....	27
7.6.2. Tanques de doble acción.....	27-29
7.6.3. Tanques de sedimentación simple.....	30
7.7. Tratamiento secundario.....	31
7.7.1. Filtros goteadores.....	31-32
7.7.2. Tanques de aereación.....	33
7.7.2.1. Lodos activados.....	33-35
7.7.2.2. Aereación por contacto.....	36
7.7.3. Filtros de arena intermitentes.....	37

7.7.4. Estanques de esterilización.....	37
7.8. Tratamiento avanzado de las aguas residuales.....	38
7.9. Vertido del liquido.....	39
7.10. Proceso de la planta de tratamiento del Aeropuerto.....	40-42
7.10.1. Pre tratamiento.....	43
7.10.2. Tanque regulador.....	43
7.10.3. Tanque digestor.....	44
7.10.4. Reactor biológico.....	44
7.10.5. Cámara de clarificación - sedimentación.....	45
7.10.6. Cloración.....	46
7.10.7. Lechos de secado.....	47
7.10.8. Tanque de retención de lodos.....	48
7.10.9. Lodos activados.....	48
7.11. Ajustes de aereación, mezclado y ciclaje.....	49-50
7.12. Análisis de las aguas residuales.....	51-52
8. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	53
8.1. Preparación del material para muestreo.....	53
8.2. Parámetros de campo.....	54
8.2.1. Determinación de temperatura.....	54
8.2.2. Determinación de Ph.....	54
8.2.3. Determinación de materia flotante.....	54
8.3. Parámetros de laboratorio.....	55
8.3.1. Determinación de sólidos sedimentables.....	55

8.3.2. Determinación de sólidos suspendidos totales.....	56-57
8.3.3. Determinación de la DBO ₅	57
8.3.3.1. Blanco de dilución.....	58
8.3.3.2. Técnica de dilución.....	58
8.3.3.3. Determinación del OD inicial.....	59
8.3.3.4. Determinación del OD final.....	59
8.3.3.5. Determinación del valor de DBO.....	60
8.3.4. Determinación de grasas y aceites.....	60-61
8.3.5. Determinación de fósforo total.....	62
8.3.5.1. Curva de calibración.....	62
8.3.6. Tratamiento preliminar de la muestra.....	63
8.3.6.1. Desarrollo de color.....	63
8.3.7. Determinación de nitrógeno de nitritos.....	64
8.3.8. Recepción, preservación y almacenamiento de muestras.....	64
8.3.9. Pretratamiento de la muestra.....	65
8.3.10 Porción de la muestra.....	65-66
9.-RESULTADOS.....	67-74
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
10.1. Conclusiones.....	75
10.2. Recomendaciones.....	76
11. BIBLIOGRAFIA.....	77-80
12. ANEXOS.....	81-99

INDICE DE FIGURAS

FIGURA No.	PÁGINA
1.- Reja de barras instalada en la planta de tratamiento del aeropuerto internacional “Ángel Albino Corzo”... ..	21
2.- Vista superior de las rejas de barras instaladas en la Planta de tratamiento del Aeropuerto Internacional “Ángel Albino Corzo.....	22
3.-Remoción de grasas y aceites en un desarenador aireado: (a) Planta, (b) sección longitudinal, (c) sección transversal.....	24
4.- Desarenador instalado en la Planta de tratamiento del Aeropuerto Internacional “Ángel Albino Corzo.....	25
5.- Métodos de aereación de lodos activados.....	35
6.- Esquema representativo del proceso biológico que opera la planta.	41
7.-Proceso de aereación de la planta.....	42
8.- Cámara de clarificación - Sedimentación.....	45
9.- Cámara de clarificación – sedimentación instalada en una planta.....	46
10.- Clorador.....	47

11.-mantenimiento de muestras a 4°C	65
12.-Recepción de las muestras.....	65
13.-Representación de los valores obtenidos en el mes de agosto, comparados con los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996.....	68
14.- Representación de los valores obtenidos en el mes de octubre, comparados con los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996..	70
15.- Representación de los valores obtenidos en el mes de noviembre, comparados con los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996.....	72
16.- Caudal de descarga de la planta de tratamiento del Aeropuerto “Ángel Albino Corzo”.....	73

INDICE DE CUADROS

NUMERO DE CUADRO	PÁGINA
1.- Preparación de la curva de calibración.....	62
2.- Selección del volumen de muestra	66
3.- Valores obtenidos en los parámetros realizados durante el mes de agosto del 2006, comparados con los límites máximos permisibles de contaminación que establece la NOM-001-ECOL-1996.....	67
4.- Valores obtenidos en los parámetros realizados durante el mes de octubre del 2006, comparados con los límites máximos permisibles de contaminación que establece la NOM-001-ECOL-1996.....	68
5.- Valores obtenidos en los parámetros realizados durante el mes de noviembre del 2006, comparados con los límites máximos permisibles de contaminación que establece la NOM-001-ECOL-1996.....	71

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del medio ambiente es uno de los principales problemas a los que nos enfrentamos en la actualidad, entre más crece la población, la cantidad de satisfactores demandados, también va en aumento y por consecuencia la contaminación cada vez es mayor. Países en desarrollo o industrializados, no poseen medidas de control adecuadas para el tratamiento de sus aguas residuales, más del 90% se descargan en aguas superficiales sin ningún tratamiento de ninguna clase (INEGI, 2007). En la parte norte de México, las descargas de aguas residuales rebasan los límites máximos permisibles para metales pesados, grasas y aceites. Además, contienen altas concentraciones de disolventes (Mariano S, 1996), tales contaminantes no pueden ser removidos por el sistema de tratamiento contribuyendo a que el efluente no cumpla con las características de calidad para descargar al mar, afectando al ambiente costero. En el estado de Chiapas se generan alrededor de 7 millones de metros cúbicos de descargas anuales, de los cuales sólo el 19 % recibe tratamiento. El resto, 5.5 millones de metros cúbicos, se arrojan directamente a los ríos, afectando la vida acuática y amenazando la salud de las poblaciones ubicadas en las riberas (Semarnat, 2006).

Los efectos de la contaminación en el uso de aguas residuales incrementan los factores de riesgo para la salud generando enfermedades de todo tipo. El agua residual transporta metales y compuestos tóxicos que causan la inhibición o

destrucción de la actividad biológica en el agua (TEBBUTT, 1999). La alta concentración de nitratos (sales del ácido nítrico) en el agua, produce la metahemoglobinemia infantil, una enfermedad que en ocasiones es mortal (Ramalho, 1996). La presencia de metales, sustancias inorgánicas (mercurio, arsénico, plomo) pueden producir un trastorno diarreico agudo, así como lesiones en el hígado y los riñones. Se añade la presencia de microorganismos patógenos causantes de diarrea, parasitismo, fiebre tifoidea y salmonelosis, enfermedades que imperan en el estado, y que no son más que el reflejo de esta crítica situación.

Por lo anterior, las aguas residuales deben tratarse antes de ser vertidas en el medio ambiente, y para esto existen sistemas de tratamientos adecuados y normas que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes; por lo que, este trabajo se basa en realizar una evaluación y control de las descargas de las aguas residuales de la planta de tratamiento del aeropuerto internacional de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas para verificar su cumplimiento con la norma mexicana NOM-001-ECOL-1996.

2. JUSTIFICACIÓN

Considerando que la protección de los recursos naturales y en especial la preservación del recurso hídrico, es uno de los principales objetivos del estado Chiapas, para asegurar la salud, mejorar la calidad de vida y alcanzar el desarrollo sostenible del país y que la contaminación del agua, es uno de los problemas que causa mayor impacto negativo a la población y al ambiente, es necesario adoptar medidas para el control de la contaminación generada por las descargas de aguas residuales en los cuerpos receptores, la cual favorece la proliferación y transmisión de enfermedades.

Actualmente, toda empresa que emite grandes cantidades de aguas residuales, tal como el Aeropuerto Internacional de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, necesita adoptar medidas para el control de la contaminación, en este caso, generadas por las descargas de sus aguas residuales especialmente a los cuerpos receptores. Es por eso que el Aeropuerto tiene la obligación de adoptar las medidas necesarias para prevenir, regular, controlar, mitigar o corregir la contaminación del ambiente, por lo que es importante conocer los constituyentes físico-químicos de las aguas residuales de la planta de tratamiento del Aeropuerto Internacional de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, esto con el propósito de llevar un control del desempeño del proceso y operación para determinar si está cumpliendo con la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los parámetros físico-químicos y biológicos de las aguas residuales de la planta de tratamiento del Aeropuerto Internacional de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, bajo la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar por métodos cuantitativos y cualitativos diversos parámetros fisicoquímicos a las aguas residuales.
- Evaluar el desempeño del proceso u operación de la planta de tratamiento y determinar si esta cumple con la norma mexicana NOM-001-ECOL-1996.

4. CARACTERIZACIÓN DEL AREA EN QUE SE PARTICIPÓ:

4.1. BREVE DESCRIPCIÓN DEL INSTITUTO.

La Secretaría de Medio Ambiente, Vivienda e Historia Natural (SEMAVIHN) cuenta con una larga historia, enraizada profundamente en la riqueza natural y cultural de la entidad.

Inició sus actividades en octubre de 1942 bajo el nombre de Departamento de Viveros Tropicales y Museo de Historia Natural, a cargo del Maestro Eliseo Palacios Aguilera. A su muerte, ocurrida en 1944, le sucedió su colaborador Miguel Álvarez del Toro, quien fungió como Director General hasta 1996, año de su fallecimiento. En 1949 el Departamento cambia su nombre a Instituto Zoológico y ese mismo año el Gobierno del Estado crea el Instituto Botánico, a cargo del Dr. Faustino Miranda González. Ambos institutos se fusionan en 1955 para dar origen al Instituto de Historia Natural. En el año de 2001 se incorporan a la estructura del IHN las atribuciones de protección ambiental, por lo que su nombre cambió a Instituto de Historia Natural y Ecología. A partir del 2008 y derivado de la exigencia social constante en cuanto a promover el desarrollo social, con fecha 5 de febrero el Gobierno del Estado decreta la creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Urbano y Vivienda (SEMADUVI). Con fecha jueves 07 de agosto del 2008 y según publicación en el periódico oficial No.109 se reforman diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública del estado de

Chiapas, modificando la SEMADUVI y creándose la Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda (SEMAVI), con la intención de fortalecer el ámbito de acción.

Con fecha 15 de mayo del año 2010 se crea la Secretaría de Medio Ambiente Vivienda e Historia Natural (SEMAVIHN) y continúa estructurada con el mismo nombre.

De sus modestos inicios, pasando por cambios en su denominación o en el ámbito de su injerencia, este Instituto es en la actualidad un organismo con sólida experiencia en el área de recursos naturales y su conservación. Las bases de este proyecto se deben primordialmente a la aportación intelectual y la visión de cuatro personajes fundamentales, cuyos nombres se encuentran ligados a la historia misma de la institución, además de recibir el reconocimiento permanente de la población en los museos y zoológico que son parte de su estructura:

- ❖ Doctor Miguel Álvarez del Toro
- ❖ Doctor Faustino Miranda González
- ❖ Ingeniero Cesar Domínguez Flores
- ❖ Maestro Eliseo Palacios Aguilera

4.1.1. MISIÓN

El Instituto de Historia Natural y Ecología es un organismo público descentralizado del Gobierno del Estado de Chiapas, dedicado a la investigación, educación ambiental, manejo, protección, exhibición y difusión de los recursos naturales para su conservación en beneficio de la sociedad.

4.1.2. VISIÓN

El Instituto de Historia Natural y Ecología es una institución comprometida, con autoridad moral y a la vanguardia en el campo de la conservación de los recursos naturales, que contribuye sustancialmente al desarrollo del Estado de Chiapas.

4.1.3. OBJETIVOS:

1. Garantizar la representatividad de los ecosistemas de Chiapas en las áreas naturales protegidas.
2. Incrementar y difundir el conocimiento científico de la biodiversidad del estado.
3. Promover la participación de la sociedad en la conservación de los recursos naturales.
4. Regular el uso de los recursos naturales y fomentar la sustentabilidad en el estado de Chiapas.

El Instituto difunde información acerca de la naturaleza para propiciar su aprovechamiento racional, e incluso para fomentar en la población un sentimiento de orgullo y aprecio por la biodiversidad del estado y su belleza. Esta tarea se realiza a través de un extenso equipo humano con experiencia y sensibilidad, organizado en seis Direcciones con temas de trabajo específicos:

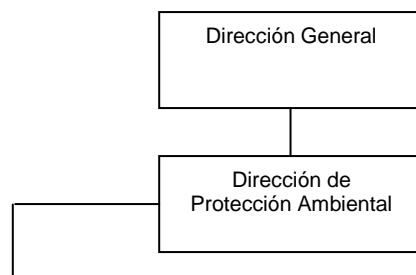
- ZooMAT
- Botánica
- Áreas naturales
- Educación y cultura ambiental
- Investigación
- Protección ambiental

4.2.ÁREA EN DONDE SE REALIZARÁ EL PROYECTO

Este proyecto se realizó en el laboratorio de monitoreo ambiental, de la Secretaría de Medio Ambiente Vivienda e Historia Natural (SEMAVIHN). Ésta Dirección se encarga de aplicar las leyes y reglamentos de índole ambiental que corresponden al estado. Además, mantiene cuatro grandes proyectos de trabajo:

- Promover el saneamiento, restauración y conservación de cuencas hidrológicas en coordinación con los tres ámbitos de gobierno: municipal, estatal y federal.
- Fomentar y asesorar a los Ayuntamientos en el establecimiento de sistemas eficientes de recolección, manejo y disposición final de residuos sólidos (basura).
- Coadyuvar en el establecimiento y aplicación del Ordenamiento Ecológico Estatal (la identificación y respeto del uso del suelo en el estado, ya sea para uso urbano, para conservación, uso agrícola, o para cualquier tipo de aprovechamiento).
- Prevenir la contaminación de los cuerpos de agua mediante la promoción del establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.2.1. ORGANIGRAMA DIRECCION DE PROTECCION AMBIENTAL



La dirección de Protección Ambiental cuenta dos departamentos:
Departamento de Regulación Ambiental y Departamento de Planeación Ambiental,

también un Laboratorio de Monitoreo Ambiental. Este último es donde se desarrolló el proyecto propuesto.

El Laboratorio de Monitoreo Ambiental tiene como propósito valorar y generar la información necesaria en materia de contaminación del suelo, agua y aire a través de un eficiente sistema de monitoreo, para la aplicación de la política ambiental del Gobierno del Estado; y un alcance desde realizar diagnósticos y análisis detallado de datos hasta la integración y entrega de resultados para su seguimiento.

4.2.2. MISIÓN:

Generar la información en materia de Impacto Ambiental ocasionado al suelo, agua y aire por fuentes de contaminación natural y antropogénica para apoyar la eficaz toma de decisiones que orienten la política ambiental en el estado.

El Laboratorio cuenta con cinco áreas las cuales son:

- ❖ Área Cromatografía, Área Absorción Atómica, Área Físicoquímicos, Área Microbiología y Área de Calidad del Aire.

5. PROBLEMAS A RESOLVER

- ❖ Evitar las descargas de aguas residuales tratadas no adecuadamente que contengan altos índices de contaminantes, los cuales ocasionan riesgos a la salud humana.

- ❖ Mediante la evaluación de los parámetros fisicoquímicos, determinar si el proceso que sigue la planta de tratamiento, es el adecuado, para satisfacer los límites máximos permisibles de contaminación que exige la norma mexicana NOM-001-ECOL-1996.

- ❖ Valorar la información necesaria en materia de contaminación del agua a través de un eficiente sistema de monitoreo, para la aplicación de la política ambiental del Gobierno del Estado.

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1. ALCANCES

- De acuerdo a lo planeado, se alcanzaron a realizar, todos los métodos cuantitativos y cualitativos de análisis tales como el potencial de hidrógeno (pH), temperatura, grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno de nitritos y fósforo total, a las aguas residuales.
- Se conoció el desempeño del proceso u operación de la planta de tratamiento y se verificó su cumplimiento con la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996

6.2. LIMITACIONES

- De acuerdo a lo planeado, hubo un atraso en la fecha correspondiente al segundo monitoreo, debido a una fuga de gas etileno en el área de absorción atómica, esto no permitió realizar los análisis en la fecha indicada.

7. FUNDAMENTO TEÓRICO.

Las aguas residuales son fundamentalmente desecho de una población, después de haber sido impurificadas por diversos usos. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de casas habitación, edificios comerciales e instituciones, junto con los provenientes de establecimientos industriales, y las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que puedan agregarse(HILLEBOE. G. 1996).

7.1. ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

7.1.1. DESECHOS HUMANOS Y ANIMALES.

Son las exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas residuales, mediante los sistemas hidráulicos de los retretes y en cierto grado de los procedentes de los animales, que van a dar a las alcantarillas al ser lavadas en el suelo o en las calles. Estos desechos son los más importantes, por lo que se refiere a la salud pública porque pueden contener organismos perjudiciales al hombre, por lo que su tratamiento seguro y eficaz constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas residuales para su disposición (HILLEBOE. G. 1996)

7.1.2. DESPERDICIOS CASEROS.

Proceden de las manipulaciones domesticas de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de los alimentos. Casi todos estos desechos contiene jabones, detergentes sintéticos que generalmente tienen agentes espumantes y que son de uso común en las labores domesticas. Los desechos de cocina tienen partículas de alimentos y grasas que, con el uso cada vez mayor de aparatos domésticos para moler basura, se están convirtiendo en la parte más importantes de los desechos caseros (HILLEBOE. G. 1996).

7.1.3. AGUAS DE LAVADO DE LAS CALLES Y CORRIENTES PLUVIALES.

Las lluvias depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella lava la superficie, al escurrir arrastrando polvo, arena, hojas y otras basuras. En algunas poblaciones se deja que estos escurrimientos pluviales vayan al alcantarillado o drenajes que sirven para colectar los desechos propios de la comunidad, formando parte importante de las aguas residuales. En otras, se colectan aparte estos escurrimientos para su disposición y no se mezclan con las aguas residuales de la comunidad. El volumen de las corrientes pluviales varía según la intensidad de la precipitación, la topografía y las superficies pavimentadas y techadas. Las aguas pluviales provenientes de zonas cubiertas tienen importancia especial en lo que respecta al volumen de aguas residuales que van a tratarse, cuando se conectan a las alcantarillas, de las que se supone debe

excluirse, lo cual se hace frecuentemente a pesar de no estar permitido por las leyes vigentes (HILLEBOE. G. 1996).

7.1.4. INFILTRACIONES DE AGUAS SUBTERANEAS.

El drenaje o alcantarillado que es el dispositivo para coleccionar las aguas residuales, va soterrado, y en muchas acciones queda debajo del nivel de los mantos de agua subterráneos, especialmente cuando dicho nivel es muy alto a causa de una excesiva precipitación en la temporada de lluvias. Como las juntas entre las secciones de tubería que forman las alcantarillas no quedan perfectamente ajustadas, existe siempre la posibilidad de que se infiltre el agua subterránea. Los drenajes colectores usualmente no funcionan a presión, si no que el flujo a través de ellos es meramente gravitatorio y por esto es que las infiltraciones no solamente son posibles, si no que son siempre considerables.

El volumen de agua subterránea que se infiltra no puede determinarse con exactitud, porque depende de la estructura del suelo, del tipo de alcantarillada que se haya construido, de las condiciones del agua subterránea, de las lluvias y de otras condiciones climatológicas (HILLEBOE. G. 1996).

7.1.5. DESECHOS INDUSTRIALES.

Los productos de desecho de los procesos fabriles son parte importante de las aguas residuales de una población y deben tomarse las precauciones necesarias para su eliminación. En muchas regiones se colectan los desechos industriales junto con las aguas residuales de la población para su tratamiento y eliminación finales. Estos desechos varían mucho por su tipo y volumen, pues dependen de la clase de establecimiento fabril ubicado en la localidad. En algunos casos es tal en volumen y características de los desecho industriales, que es necesario disponer de sistemas separados para su recolección y disposición. Muchos desperdicios industriales contienen agentes espumosos o espumantes, detergentes y otras sustancias químicas que interfieren con la disposición final de las aguas residuales de la comunidad, o que dañan las alcantarillas y otras estructuras. Por esa razón no pueden agregarse directamente a las aguas residuales, sino que deben recibir un tratamiento preliminar, o eliminarlos valiéndose de medios especiales y por separado.

7.2. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión. Cuando son frescas, su color es gris y tienen un olor a moho no desagradable. Flotan en ellas cantidades variables de materia: sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, astillas y otros residuos de las actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad. Con el transcurso del tiempo, el

color cambia gradualmente del gris al negro, desarrollándose un olor ofensivo y desagradable; y sólidos negros aparecen flotando en la superficie o en todo el líquido. En ese estado se denominan aguas residuales sépticas (HILLEBOE. G. 1996).

7.3. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales consisten de agua, de los sólidos disueltos en ella y de los sólidos suspendidos en la misma. La cantidad de sólido es generalmente muy pequeña, casi siempre menos de 0.1 % en peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuados. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para el transporte de los sólidos. Estos sólidos pueden estar disueltos, suspendidos o flotando (HILLEBOE. G. 1996).

7.4. CAMBIOS QUÍMICOS EN LA COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

La actividad de la vida biológica de las aguas residuales produce muchos cambios en la composición química de sus sólidos. Estos cambios químicos, o más bien cambios bioquímicos (puesto que se llevan a cabo debido al desarrollo biológico) no solamente indican las actividades de los microorganismos, si no que miden también el grado de descomposición de los sólidos y por ende la eficiencia de cualquier proceso de tratamiento en particular.

En el tratamiento de las aguas residuales, la fuerza física de la gravedad disminuye materialmente los sólidos suspendidos y en especial aquellos que corresponden a la porción sedimentable. Los cambios bioquímicos producen, sobre los sólidos coloidales o no sedimentables, una eliminación de las moléculas de agua retenidas en ellos. Esta pérdida de agua hace que se aglomeren o floculen formando sólidos más pesados o sedimentables. Estos sólidos sedimentables, tanto orgánicos como inorgánicos, que se separan, se conocen respectivamente como lodos y arenas.

En el proceso de descomposición aerobia, el oxígeno se combina con estos elementos de manera que los productos finales de los cambios bioquímicos, cuando se llevan a cabo en forma completa, son el bióxido de carbono, agua, nitratos, sulfatos, fosfatos y otras sustancias similares a las que usualmente se les llama sales minerales. Durante las etapas de la descomposición bioquímica se forman productos intermedios. En estos se incluyen ácidos orgánicos e inorgánicos, gases como el ácido sulfhídrico, el metano, el bióxido de carbono y en

muchas ocasiones gases de olor ofensivo que resultan de los cambios bioquímicos de los compuestos orgánicos sulfurados (HILLEBOE. G. 1996).

7.5. MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles pueden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del proceso de tratamiento empleado. Una vez completado todo proceso de tratamiento, es aun necesario disponer de los líquidos y los sólidos que se haya separado (HILLEBOE. G. 1996).

7.5.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR.

El objeto de este tratamiento consiste en separar de las aguas residuales aquellos constituyentes que pudiesen obstruir o dañar las bombas o interferir con los procesos subsecuentes del tratamiento. Los dispositivos para el tratamiento están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, a eliminar los sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas.

Para alcanzar los objetivos de un tratamiento preliminar se emplean comúnmente los siguientes dispositivos:

7.5.1.1. REJAS DE BARRAS O MÁS FINAS.

Están formadas por barras usualmente espaciadas desde 2 hasta 15 centímetros. Generalmente tienen claros de 2.5 a 5 cm. Aunque algunas veces se usan las rejjas grandes en posición vertical, la regla general es que deben instalarse con un ángulo de 45 a 60 grados con la vertical. Los sólidos separados por estos utensilios, se eliminaran enterrándolos o incinerándolos, o se reducen de tamaño con trituradoras o desmenuzadoras y se reintegran a las aguas residuales.



FIGURA 1.- Reja de barras instalada en la planta de tratamiento del aeropuerto internacional “Ángel Albino Corzo”. Fuente: SEMAVINH



FIGURA 2.- Vista superior de las rejas de barras instaladas en la Planta de tratamiento del Aeropuerto Internacional “Ángel Albino Corzo. FUENTE: SEMAVINH.

7.5.1.2. DESMENUZADORAS.

Los molinos, cortadoras y trituradoras, son dispositivos que sirven para romper o cortar los sólidos hasta un tamaño tal que permitan que sean reintegrados a las aguas residuales sin peligro de obstruir las bombas o tuberías, o afectar los sistemas de tratamientos posteriores. Pueden disponerse a parte para triturar los sólidos que separan las cribas, o pueden ser combinaciones de cribas y cortadoras que se instalen dentro del canal por donde fluyan las aguas residuales, de manera que se logre su objeto sin necesidad de separar los sólidos de las aguas residuales. Estos últimos dispositivos los construyen muchos fabricantes amparados con diversas marcas comerciales, y en la mayoría de los casos, son en hojas dentadas o afiladas, fijas o móviles, que actúan de continuo para remover los

sólidos a un tamaño tal que puedan pasar a través de cribas o rejillas que tienen aberturas de unos 6 mm. Algunos de estos aparatos están diseñados para operar como bombas de poca succión (HILLEBOE. G. 1996).

7.5.1.3. DESARENADORAS.

Las aguas residuales contienen, cantidades relativamente grandes de sólidos inorgánicos como arena, cenizas y grava, a los que generalmente se les llama *arena*. La cantidad es muy variable y depende de muchos factores; pero principalmente de si el alcantarillado colector es del tipo sanitario o combinado. Las arenas pueden dañar a las bombas por abrasión y causar serias dificultades operatorias en los tanques de sedimentación y en la digestión de los lodos por acumularse alrededor de las salidas causando obstrucciones. Por esta razón es práctica común eliminar este material por medio de las cámaras desarenadoras. Estas se realizan antes de las bombas o de los desmenuzadores. Los desarenadores se diseñan generalmente en forma de grandes canales. En estos canales la velocidad disminuye lo suficiente para que se depositen los sólidos inorgánicos pesados manteniéndose en suspensión el material orgánico. Los desarenadores de canal deben diseñarse de manera que la velocidad se pueda controlar para que se acerque lo más posible a 30 cm. Por segundo. El tiempo de retención debe basarse en el tamaño de las partículas que deben separarse y generalmente varían de 20 segundos a un minuto. Esto último se logra instalando

varios desarenadores para que el flujo se ajuste en ellos mediante vertedores proporcionales colocados al final de cada canal o mediante otros dispositivos que permitan regular la velocidad del flujo (HILLEBOE. G. 1996).

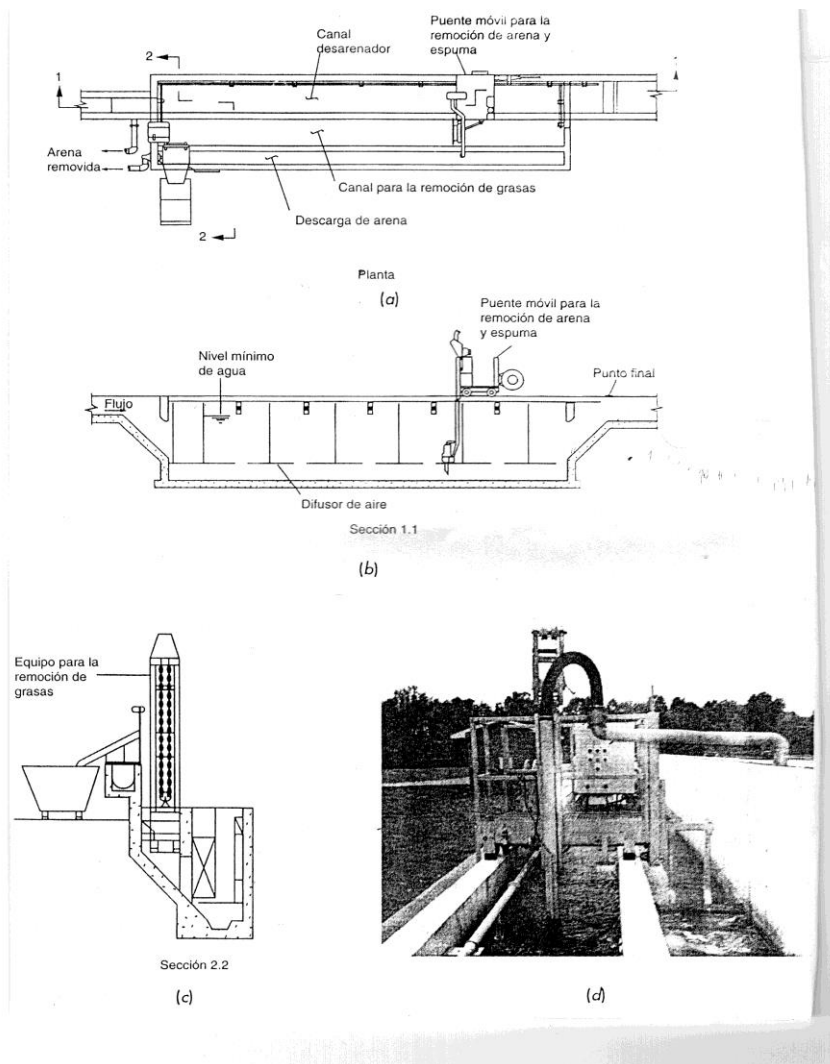


FIGURA 3. Remoción de grasas y aceites en un desarenador aireado: (a) Planta, (b) sección longitudinal, (c) sección transversal (cortesía de Schreiber Corp.), y (d) fotografía de una unidad típica. FUENTE: CRITES. R.2001.



FIGURA 4. Desarenador instalado en la Planta de tratamiento del Aeropuerto Internacional “Ángel Albino Corzo. FUENTE: SEMAVINH.

7.5.1.4. TANQUES DE PREAERACIÓN.

Consiste en una aeración de las aguas residuales antes del tratamiento primario, para lograr lo siguiente:

- ❖ Obtener una mayor eliminación de sólidos suspendidos, en los tanques de sedimentación.
- ❖ Ayudar a la eliminación de grasas y aceites que arrastran las aguas residuales.
- ❖ Refrescar las aguas residuales sépticas antes de llevar a cabo el tratamiento.
- ❖ Disminuir la DBO.

La pre aeración se logra introduciendo aire en las aguas residuales durante un periodo de 20 a 30 minutos a la velocidad que se determine. Esto puede

llevarse a cabo forzando el peso de aire comprimido a través de las aguas residuales, generalmente a razón de 0.75 litros de aire por litro de agua residual. Por la adición de aire se restauran también las condiciones aerobias en las aguas residuales sépticas, favoreciendo el tratamiento subsiguiente. Los dispositivos y el equipo que se usa para introducir aire son los mismos o similares a los que se usan en el proceso de lodos activados (HILLEBOE. G. 1996).

7.6. TRATAMIENTO PRIMARIO.

Por este tratamiento se separan la mayoría de los sólidos suspendidos, aproximadamente de 40 a 60 %, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Cuando se agregan ciertos productos químicos, se eliminan casi todos los sólidos coloidales, así como sedimentables, en un total de 80 a 90 % de sólidos suspendidos.

El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir suficientemente la velocidad de las aguas residuales para que puedan sedimentarse los sólidos. Estos dispositivos también se les conocen como tanques de sedimentación. Debido a la diversidad de diseños y operación, pueden dividirse en cuatro grupos generales:

7.6.1. TANQUES SEPTICOS.

El tanque séptico fue uno de los más antiguos dispositivos de tratamiento primario que se usaron. Está diseñado para mantener a las aguas negras a una velocidad muy baja, y bajo condiciones anaerobias, por un período de 12 a 24 hrs, durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentables. Estos sólidos se descomponen en el fondo del tanque, produciéndose gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie, permaneciendo como una nata o capa hasta que escapa el gas y vuelven a sedimentarse. Esta continúa flotación y subsecuente sedimentación de los sólidos los lleva con la corriente de aguas negras hasta la salida, por lo que eventualmente salen algunos sólidos con el efluente, frustrando así parcialmente el propósito del tanque. Debido a los largos períodos de retención y a la mezcla con los sólidos en descomposición, las aguas negras salen del tanque en una condición séptica que dificulta el tratamiento secundario.

7.6.2. TANQUES DE DOBLE ACCIÓN.

Estos tanques se idearon para corregir los dos defectos principales del tanque séptico, en la forma siguiente:

- 1) Impedir que los sólidos que se han separado de las aguas negras se mezclen nuevamente con ellas, permitiendo la retención de estos sólidos para su descomposición en la misma unidad.

2) Proporcionar un efluente adaptable a un tratamiento ulterior.

El contacto entre las aguas negras y los lodos que se digieren anaeróticamente queda prácticamente eliminado y disminuye el período de retención en el tanque.

El Dr. Karl Imhoff fue el primero que diseñó el tan conocido y profusamente usado tanque de doble acción que se conoce como tanque de Imhoff. Puede ser rectangular o circular, y se divide en tres compartimientos o cámaras, que son:

1) la sección superior que se conoce como cámara de derrame continuo o compartimiento de sedimentación.

2) la sección inferior que se conoce como cámara de digestión de los lodos.

3) el respiradero y cámara de natas.

Es deseable que se pueda invertir la dirección del flujo, para evitar el depósito excesivo de sólidos en un solo extremo de la cámara de derrame continuo. Invertiendo el flujo cada mes se logrará que los lodos se acumulen por parejo en todo el fondo del tanque.

Durante la operación, todas las aguas negras fluyen a través del

compartimiento superior. Los sólidos se depositan en el fondo de este compartimiento, que tiene pendientes de aproximadamente 1.4 unidades en el sentido vertical para una horizontal, resbalando y pasando por una ranura que hay en el fondo. Una de las partes inclinadas del fondo se prolonga cuando menos unos 15 cm. más allá de la ranura, lo cual hace de trampa que impide que los gases o partículas de lodos en digestión que hay en la sección inferior, se pongan en contacto con las aguas negras que hay en la sección superior. Los gases y partículas ascendentes de lodo son desviados hacia la cámara de natas y respiradero. Esto elimina la principal desventaja del tanque séptico. Las ventilas deben tener una superficie de cuando menos un 20 por ciento de la superficie total del tanque.

Es recomendable iniciar la operación de un tanque de Imhoff en la primavera o a principios del verano, cuando la temperatura en el compartimiento de lodos es lo suficientemente alta para promover una digestión rápida. El *sembrar* el tanque con lodos en digestión activa, provenientes de un tanque de Imhoff cercano o algún digestor de lodos, podría ser recomendable siempre y cuando se haga en forma conveniente, de lo contrario, debe controlarse el pH en el compartimiento de lodos y mantenerse por encima de 6.8 para prevenir cualquiera condición ácida desfavorable para una digestión adecuada. Esto puede lograrse mediante la adición de lechada de cal, en forma gradual, al influente, o agregando cal en la cámara de natas. Debe tenerse cuidado de no agregar una gran cantidad

de cal en un tiempo muy corto, pues la acción repentina de la cal tiende a trastornar la digestión.

7.6.3. TANQUES DE SEDIMENTACION SIMPLE.

Estos son tanques cuya función principal consiste en separar los sólidos sedimentables de las aguas negras, mediante el proceso de sedimentación. Los sólidos asentados se substraen continuamente o a intervalos frecuentes, para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición con formación de gases. De ahí pasan los sólidos a otras unidades que se estudian en el capítulo 8. Los sólidos pueden irse acumulando por gravedad, en una tolva o embudo, o hacia un punto más bajo del fondo del tanque, de donde se bombean o descargan por la acción de la presión hidrostática. No obstante, este método ha sido reemplazado por el uso de equipo mecánico para recolectar los sólidos en la tolva o embudo, de donde son descargados por bombeo. Los tanques que tienen equipo mecánico para la recolección de los sólidos se conocen como tanques de sedimentación simple con limpieza mecánica.

7.7. TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO₅ por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor.

Los dispositivos que se usan para el tratamiento secundario pueden dividirse en los cuatro grupos siguientes:

7.7.1 FILTROS GOTEADORES.

Es un dispositivo que pone en contacto a las aguas negras sedimentadas con cultivos biológicos. Los filtros goteadores son unidades resistentes que no se dañan fácilmente por cargas violentas, distinguiéndose por la estabilidad de su funcionamiento y por ser capaces de resistir malos tratos. Como en todas las unidades de tipo biológico, la temperatura les afecta.; por eso, el clima frío

abate la actividad biológica del filtro. Estos filtros ocupan grandes superficies y su construcción es muy costosa.

Por economía, los filtros deben ser precedidos por tanques de sedimentación primaria equipados con colectores de natas. Un tratamiento primario antes de estos filtros, permite aprovechar al máximo su capacidad haciendo fácilmente sedimentables a los sólidos no sedimentables, coloidales y disueltos. Estos sólidos, orgánicos en su mayor parte, no son separados de las aguas negras, sino que se convierten en parte integrante de los organismos vivos microscópicos o de la materia orgánica estable que se adhiere temporalmente al medio filtrante, y de la materia inorgánica que sale en el efluente. El material adherido o retenido se desprende eventualmente y es arrastrado por el efluente del filtro. Por esta razón los filtros goteadores deben preceder a tanques de sedimentación secundaria, para eliminar definitivamente los sólidos de las aguas negras.

7.7.2. TANQUES DE AERACIÓN.

Estos tanques son para eliminar los sólidos suspendidos contenidos en las aguas negras antes de que se disponga de tal efluente por descarga en aguas receptoras.

7.7.2.1. LODOS ACTIVADOS.

Es un proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras, se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos. Como el medio ambiente está formado por las mismas aguas negras, la eficacia del proceso depende de que se mantengan continuamente oxígeno disuelto en las aguas negras durante todo el tratamiento.

No obstante, el medio ambiente, por sí mismo, no logra mucho, a no ser que esté poblado por suficientes operarios vivientes. Las aguas negras comunes contienen algunos de estos operarios biológicos, pero su número es demasiado chico para que puedan llevar a cabo el trabajo requerido. Es necesario, por lo tanto, agregar muchos más organismos y distribuirlos bien por todas las aguas negras, antes de que el proceso de lodos activados pueda empezar a funcionar con eficacia.

El proceso de lodos activados se emplea generalmente después de la sedimentación simple. Las aguas negras contienen algo de sólidos

suspendidos y coloidales, de manera que cuando se agitan en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la vida biológica pasando gradualmente a formar partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados.

Los lodos activados están formados por flóculos parduscos que consisten, principalmente, en materia orgánica procedente de aguas negras, poblados por miles de bacterias y otras formas de vida biológica. Estos lodos activados, con sus organismos vivos, tienen la propiedad de absorber o de adsorber la materia orgánica coloidal y disuelta, incluyendo el amoníaco de las aguas negras con lo que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos. Los organismos biológicos utilizan como alimento al material absorbido convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrescibles. Casi toda esta transformación es un proceso que se verifica gradualmente. Algunas bacterias atacan las sustancias complejas originales, produciendo como desecho compuestos más simples. Otras bacterias usan estos desechos, produciendo compuestos aún más simples, continuando así el proceso, hasta que los productos finales de desecho no puedan ya ser usados como alimento por las bacterias.

La generación de lodos activados o flóculos en las aguas negras, es un proceso lento, de manera que la cantidad así formada en cualquier volumen, durante su período de tratamiento es muy corta e inadecuada para

tratarlas rápida y eficazmente; pues se requiere de una gran concentración de lodos activados. Esta gran concentración se logra recirculando los lodos producidos por cada volumen de aguas (HILLEBOE G. 1996).

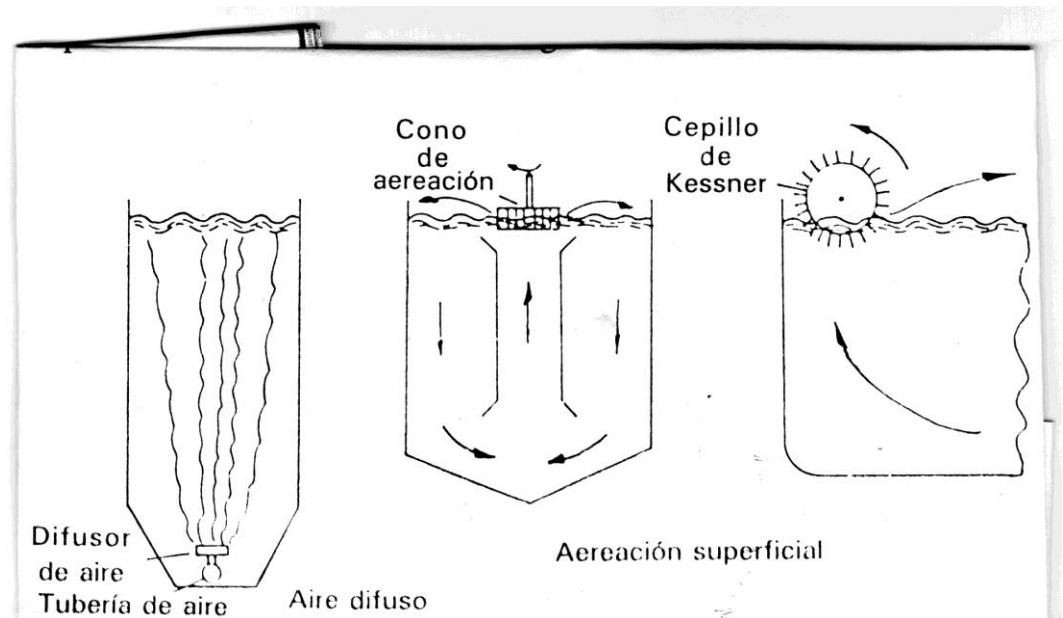


FIGURA No.5. Métodos de aereación de lodos activados. FUENTE: TEBUTT, 1999.

7.2.2. AERACIÓN POR CONTACTO.

Como todos los procesos de tratamiento secundarios, depende de los organismos biológicos aerobios para degradar la materia orgánica compleja

putrescible que hay en las aguas negras, a formas más simples y estables. Los organismos como los que hay en los filtros goteadores, son estacionarios y están adheridos a un medio fijo. Sin embargo, están continuamente sumergidos y alimentados con aire a la manera del sistema de aire difundido en el proceso de lodos activados.

Una planta típica de aeración por contacto, consiste de cinco tanques en serie, en los que se lleva a cabo respectivamente la sedimentación primaria, la primera etapa de la aeración, la sedimentación intermedia, la segunda etapa de la aeración y la sedimentación final.

Además hay que contar con recursos para el tratamiento y la disposición de los lodos. Las unidades de aeración consisten en tanques que contienen cierto número de placas delgadas, hechas de diversos materiales como láminas corrugadas de aluminio o de asbesto. Estas van suspendidas verticalmente y espaciadas de 2.5 a 4 centímetros de centro a centro. Sobre estas placas se va desarrollando el proceso vital necesario. Las aguas negras llegan al tanque por el fondo y pasan hacia arriba, entre las Placas, mezcladas por un sistema difusor de aire que hay en el fondo. Así se mantienen las condiciones aerobias de vida biológica en las placas sumergidas. Las acumulaciones de sólidos orgánicos son desprendidas continuamente de las placas. Las de la primera etapa de la aeración se eliminan en los tanques de sedimentación intermedia y las de la segunda

etapa de la aeración en el tanque de sedimentación final.

7.7.3. FILTROS DE ARENA INTERMITENTES.

El filtro intermitente de arena es un lecho de arena especialmente preparado en el que pueden aplicarse intermitentemente efluentes del tratamiento primario, o de los filtros goteadores, o de los tanques de sedimentación secundaria, usando distribuidores en forma de colectores o de tubos perforados. El efluente del filtro se recoge en un sistema de desagüe en la parte inferior.

7.7.4. ESTANQUES DE ESTERILIZACIÓN.

Durante los últimos años se ha desarrollado un sistema de tratamiento de aguas negras que se basa en el uso de estanques especialmente preparados, a los cuales se le llama estanques de estabilización o lagunas de oxidación, que requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales. Las lagunas opcionales, que funcionan en condiciones mixtas, son las más comunes, con una profundidad de 0,6 a 1,5 m y una extensión superior a una hectárea. En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aeróbica, permitiendo la

oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Puede lograrse una reducción de la DBO₅ de un 75 a un 85 por ciento.

7.8. TRATAMIENTO AVANZADO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. A menudo se usa el término tratamiento terciario como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad

Del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO₅ en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y el electro diálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización.(hilliboe 1996)

7.9. VERTIDO DEL LÍQUIDO

El vertido final del agua tratada se realiza de varias formas. La más habitual es el vertido directo a un río o lago receptor. En aquellas partes del mundo que se enfrentan a una creciente escasez de agua, tanto de uso doméstico como industrial, las autoridades empiezan a recurrir a la reutilización de las aguas tratadas para rellenar los acuíferos, regar cultivos no comestibles, procesos industriales, recreo y otros usos. En un proyecto de este tipo, en la *Potable Reuse Demonstration Plant de Denver, Colorado*, el proceso de tratamiento comprende los tratamientos convencionales primario y secundario, seguidos de una limpieza con cal para eliminar los compuestos orgánicos en suspensión. Durante este proceso, se crea un medio alcalino (pH elevado) para potenciar el proceso. En el paso siguiente se emplea la re carbonatación para volver a un pH neutro. A continuación se filtra el agua a través de múltiples capas de arena y carbón vegetal, y el amoníaco es eliminado por ionización. Los pesticidas y demás compuestos orgánicos aún en suspensión son absorbidos por un filtro granular de carbón activado. Los virus y bacterias se eliminan por ozonización. En esta fase el agua debería estar libre de todo contaminante pero, para mayor seguridad, se emplean la segunda fase de absorción sobre carbón y la ósmosis inversa y, finalmente, se añade dióxido de cloro para obtener un agua de calidad máxima.

7.10. PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL ANGEL ALBINO CORZO.

Las plantas de tratamiento JET emplean el proceso biológico conocido como “Aeración Extendida” o “Digestión Aeróbica”. En este proceso las aguas negras entran a un tanque de Aeración donde su contenido es totalmente mezclado y aireado con grandes volúmenes de aire, inyectado a presión. El aire, al burbujear hasta la superficie, transfiere oxígeno al líquido del tanque, Las bacterias aeróbicas presentes en el lodo activado del tanque, utilizan este oxígeno para transformar las aguas negras en líquidos y gases inofensivos, claros e inodoros.

Los siguientes diagramas demuestran el proceso de operación de la planta de tratamiento.

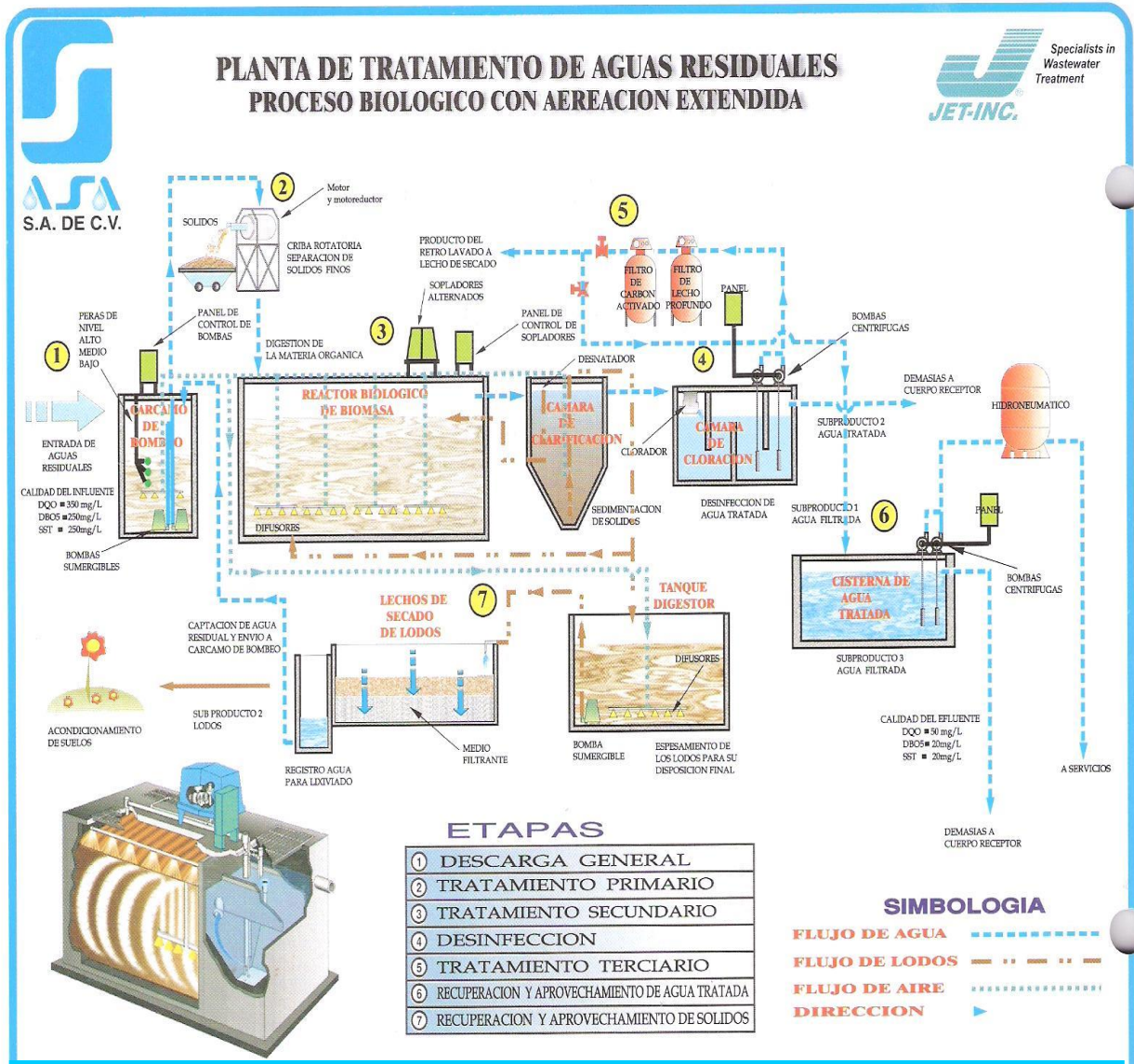


Fig.6. Esquema representativo del proceso biológico que opera la planta. Fuente: planta de tratamiento del aeropuerto internacional “Ángel Albino Corzo”

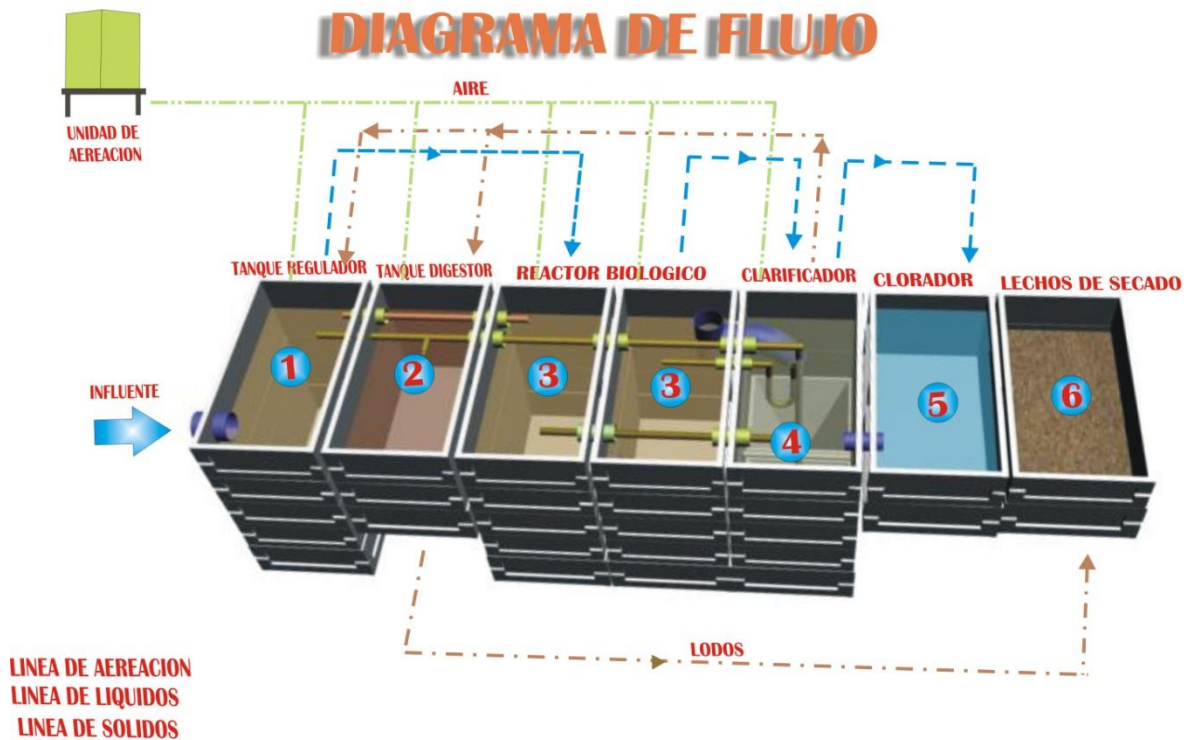


FIGURA 7.Proceso de aireación de la planta. Fuente: planta de tratamiento del aeropuerto internacional “Ángel Albino Corzo”.

Después que el líquido tratado sale del tanque de aireación es retenido en el tanque de clarificación, el cual está en completa calma. Aquí, cualquier partícula parcialmente tratada, sedimenta el fondo del tanque y es regresada al compartimiento de aireación para nuevo tratamiento. Esta sedimentación produce un líquido claro, altamente tratado y listo para su descarga final.

7.10.1. PRETRATAMIENTO.

En ésta primera etapa se utiliza un dispositivo para retener materia no degradable de las aguas negras, tales como plástico y metales, antes de que entren en la planta. Los dos dispositivos básicos de pre tratamiento son: rejillas y trampas para desperdicios.

Las rejillas son utilizadas para retener objetos grandes y evitar que estos pasen a la planta. Normalmente consisten en una serie de barras metálicas que filtran las aguas negras a la entrada.

El segundo dispositivo es un tanque de pre tratamiento o trampas de desperdicios. Aquí la materia no degradable se sedimenta, los sólidos orgánicos son pre tratados y reducidos física y bioquímicamente antes de pasar al tanque aereador (CRITES. R. 2001).

7.10.2. TANQUE REGULADOR.

Esta instalación tiene dos finalidades: homogenizar las aguas crudas y transferir las aguas residuales homogenizadas por bombeo, garantizando un flujo continuo al reactor biológico.

7.10.3. TANQUE DIGESTOR.

En el tanque de aireación ocurre la “Digestión Aeróbica”. Las aguas residuales pre tratadas son mezcladas y aireadas por medio de los difusores ubicados en el fondo del tanque. Los difusores inyectan suficiente aire para satisfacer la demanda de oxígeno en el proceso de digestión aeróbica, así como también, mezclar en forma homogénea el contenido en el tanque. El tanque de aireación JET está dimensionado para proporcionarle a las aguas negras un periodo de retención de 24 horas, y es en este tanque, donde el grueso de las aguas residuales se reduce a un líquido claro e inodoro.

7.10.4. REACTOR BIOLÓGICO.

Es la cámara donde se realiza el tratamiento biológico de digestión aeróbica (quema húmeda) mediante aireación extendida. Los difusores colocados en el fondo de la cámara inyectan grandes volúmenes de aire con dos fines: (1) mezclar el agua residual con el lodo activado (biomasa) y (2) proporcionar el oxígeno necesario para que los microorganismos (bacterias aerobias), remuevan con mayor rapidez la materia orgánica.

El lodo activado permanece en este reactor por 24 horas, permitiendo que las bacterias desarrollen su trabajo, convirtiendo el agua residual en un líquido claro y sin olores.

7.10.5. CAMARA DE CLARIFICACION-SEDIMENTACION.

Aquí no hay turbulencia, por lo cual, los sólidos sedimentaran al fondo del tanque, y regresaran al compartimiento de aireación por medio del sistema de retorno de lodos. Este proceso de sedimentación dejara en la superficie un liquido altamente tratado claro e inodoro que por rebose pasara al vertedero ajustable y de ahí a la línea final de descarga.

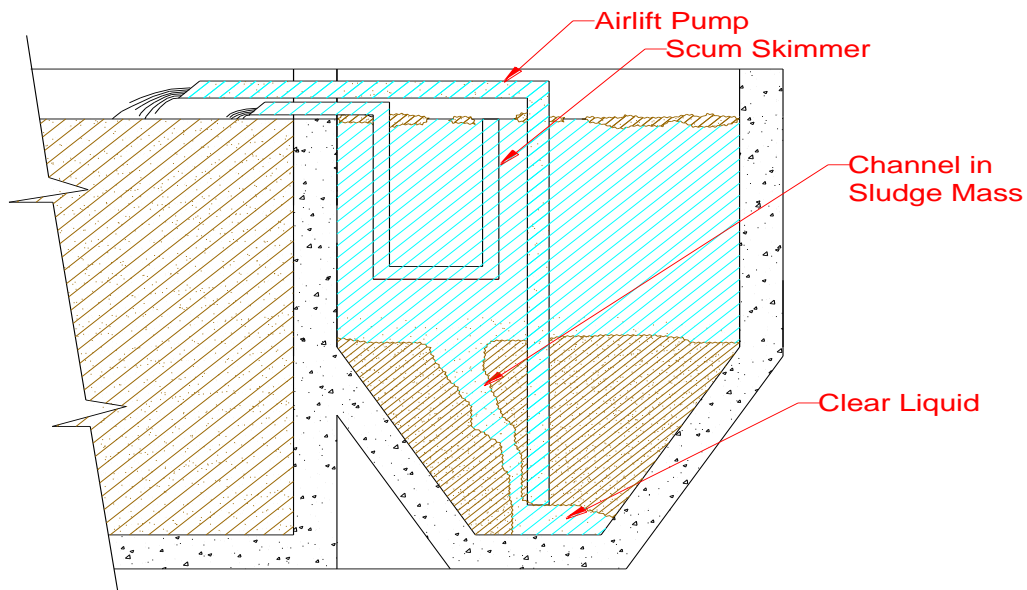


FIGURA No. 8. Cámara de clarificación - Sedimentación. Fuente: VILLATORO. F, et al 2001.



FIGURA No.9. Cámara de clarificación – sedimentación instalada en una planta. FUENTE: sedapal, 2011

7.10.6. CLORACIÓN

Normalmente el efluente de una planta JET debidamente mantenida y operada, es satisfactorio para descargas en general, no obstante en algunos casos, como instalaciones muy próximas a cursos de aguas o cuando se requiere un grado de purificación más alto, el efluente se trata con cloro. El cloro se puede agregar en forma de líquido, gas o polvo.

El sistema líquido utiliza una bomba de alimentación, un recipiente de cloro y un tanque de contacto en el cual el cloro es mezclado con el efluente. El cloro en gas viene en cilindros, el cual también alimenta un tanque de contacto. En polvo o perdigones hay varias formas de alimentación, pero debido a los problemas de obstrucciones, su empleo es muy limitado.



FIGURA No.10. Clorador. Fuente: plantas de tratamiento JET-INC 2006

7.10.7. LECHOS DE SECADO.

El lodo digerido se extiende sobre lechos de arena para que se seque al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la desecación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena. El lodo desecado se usa sobre todo como acondicionador del suelo; en ocasiones se usa como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y un 1% de fósforo.

7.10.8. TANQUE DE RETENCIÓN DE LODOS.

Algunas autoridades consideran que ciertos tipos de instalaciones producen un exceso de lodos. En estos casos se recomienda la instalación de un tanque digestor de lodos. El lodo es bombeado al tanque digestor a través de una tubería auxiliar conectada al sistema de retorno de lodos de la planta. El lodo retenido aquí hasta su disposición es regresado a la planta para un tratamiento final.

Los tanques de retención con difusores son denominados “tanques aireados de retención de lodos” y son del tipo más común. El airear un tanque de retención de lodos proporciona algo de tratamiento y elimina la posibilidad de malos olores. En todos los tanques de retención JET, está incorporado un canal de derrame conectado a la planta de tratamiento.

7.10.9. LODOS ACTIVADOS.

Las aguas residuales contienen bacterias en estado latente que son rápidamente activadas por el abundante suministro de oxígeno en el tanque de aireación. Estas bacterias son capaces de absorber y digerir rápidamente la materia orgánica de las aguas residuales y son el elemento primordial en los lodos activados.

Como el tanque de aireación ofrece un ambiente ideal para las bacterias, estas se multiplican rápida y suficientemente para oxidar y quemar toda la materia orgánica que entra a la planta.

El lodo activado captura y retiene las finas partículas en suspensión tal como lo hace un imán con las partículas de hierro, este material en suspensión es tan pequeño que normalmente no sedimenta por gravedad.

Debido a estas características magnéticas, el lodo, al ir sedimentando al fondo del tanque arrastra consigo las finas partículas en suspensión, como si se pasase un filtro a través del líquido, naturalmente esto es un gran avance comparado con la sedimentación ordinaria por gravedad.

7.11. AJUSTES DE AERACIÓN, MEZCLADO Y CICLAJE DE FUNCIONAMIENTO.

Tanto el nivel de oxígeno disuelto como el grado de mezclado en el tanque de aireación, es determinado por la cantidad de aire difundido. Por esta razón el ajuste del caudal de aire es la técnica principal en la puesta en marcha de la planta.

Ajustes decrecientes de aire, para proporcionar un mezclado uniforme, se obtiene regulando las válvulas individuales de cada bajante del difusor.

Ajustes descendentes de aire, para alterar la nata de aireación, se obtiene regulando el reloj de control del soplador.

Las válvulas de aire deben usarse para regular el flujo de aire y proporcionar un mezclado uniforme. Un mezclado uniforme es sencillamente que el aire debe mover el contenido del tanque uniformemente a lo largo de la pared del tanque. Las válvulas nunca deben estrangularse. Si se quiere reducir o aumentar la nata de aireación, se debe principalmente regular los relojes.

De esta forma es posible mantener una buena velocidad de mezclado en la cámara de aireación y aun controlar y mantener el nivel de oxígeno disuelto.

Cualquier aumento o reducción en el tiempo del ciclo debe ser igual al 10% del tiempo total de funcionamiento. Después de efectuar cualquier cambio, se debe permitir que la planta funcione por espacio de 48 horas mínimas, antes de efectuar nuevos ajustes. Si el ajuste ha sido suficiente, la mejora se debe evidenciar en el efluente a las 48 horas.

7.12. ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), fósforos totales, nitrógeno total, grasas y aceites, materia flotante y el pH.

Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel de filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de la oxidación bioquímica aerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de tres tipos de materiales: (1) materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos. (2) nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación de bacterias específicas (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*). Y (3) compuestos químicos reductores (Ion ferroso, sulfitos, sulfuros, que se oxidan por oxígeno disuelto).

La concentración de materia orgánica se mide con el análisis de la DBO₅. La DBO₅ es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20°C. La DBO₅ suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales. El contenido típico en materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas; y entre 6,5 y 8,0, el pH puede variar (TEBBUTT, 1999).

8. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

8.1. PREPARACIÓN DEL MATERIAL PARA EL MUESTREO.

Para la determinación de los siguientes parámetros: sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, DBO, fósforos totales y nitrógeno de nitritos se utilizaron 2 garrafas de plástico de 4 litros. El tratamiento previo al muestreo es lavarlos con agua des ionizada.

Para el análisis de grasas y aceites se utilizan 2 frascos de cristal previamente lavados con agua des ionizada y tratados con HCl para su conservación. El tratamiento consiste en agregar HCl, extendiéndolo en todo el frasco y la tapa, dejando unos minutos para que el gas se evapore.

8.2. PARÁMETROS DE CAMPO.

8.2.1. DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA.

Para determinar la temperatura se utilizó un potenciómetro modelo (pH 330/SET-1), el electrodo se colocó en el flujo de agua de salida de la planta de tratamiento*.

8.2.2. DETERMINACIÓN DE pH.

Se realizaron las mediciones empleando un potenciómetro modelo (pH 330/SET-1) equipado con un electrodo de vidrio para pH. El electrodo se colocó en el flujo de salida de agua*.

8.2.3. DETERMINACIÓN DE MATERIA FLOTANTE.

A) Se agregó aproximadamente 4 litros de agua residual tratada a través de una malla de acero inoxidable con abertura de 2,8 mm, cuidando de que la materia flotante que sobrenada, quede retenida en la malla.

B) Inmediatamente después del filtrado del agua residual tratada, se procede a examinar la malla de acero inoxidable con abertura de 2,8 mm. Observando a simple vista las partículas retenidas.

C) Los resultados se reportan como ausencia o presencia de materia flotante.

** La medición se realiza por triplicado y se obtiene un promedio.*

8.3. PARÁMETROS DE LABORATORIO.

8.3.1. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES.

- A) Se mezcló la muestra de agua residual tratada a fin de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos a través de todo el cuerpo del líquido.

- B) Se colocaron 3 conos Imhoff en una rejilla y a cada cono se le agregó la muestra bien mezclada hasta la marca de 1 litro. En seguida se dejó sedimentar por 45 minutos, una vez transcurrido ese tiempo se agitó suavemente mediante rotación, después se dejó reposar por 15 minutos más.

- C) Finalmente se registró el volumen de sólidos sedimentables del cono Imhoff en mL/L.

8.3.2. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.

- a) Para determinar este parámetro se colocó un disco de fibra de vidrio en un crisol Gooch con la superficie rugosa hacia arriba, teniendo cuidado de que el disco cubriera completamente las perforaciones del crisol Gooch.
- b) Se colocó el crisol Gooch que contenía el disco en un matraz kitazato para proseguir con la filtración, aplicando vacío. Se lavó el disco con agua destilada para que se adhiriera bien al crisol Gooch, dejando que el agua drenara totalmente.
- c) Se suspendió el vacío y se llevó el crisol Gooch a peso constante en la mufla a una temperatura de 550°C durante 20 minutos.
- d) Transcurrido este tiempo se transfirieron los crisoles Gooch a una estufa a 105°C aproximadamente 20 minutos y finalmente en un desecador por 1 hora para completar el enfriamiento. Después de este tiempo se pesó el crisol y se repitió el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtuvo hasta que no hubo una variación en el peso a 0.3 mg (P1).
- e) Una vez obtenido el crisol con el disco a peso constante, se colocó en el matraz kitazato para la filtración aplicando vacío. Se humedeció el disco de fibra de vidrio con agua destilada.
- f) Se midió con una pipeta volumétrica, 40 mL de la muestra (agua residual tratada) previamente homogenizada.

- g) Se filtró la muestra a través del disco y aun aplicando vacío, se lavó el disco tres veces con 10 mL de agua destilada, dejando que el agua drenara totalmente.
- h) Se suspendió al vacío y se secó el crisol en la estufa a una temperatura de 105°C durante 1 hora. Se sacó el crisol y se dejó enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente, luego se determinó su peso.
- i) Se repitió el ciclo de secado a la misma temperatura, se enfrió y pesó el crisol hasta obtener un peso constante (P2).
- j) Para calcular el contenido de sólidos suspendidos totales, se utilizó la siguiente fórmula: $SST = (P2 - P1) / V (1000000)$.

8.3.3. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.

8.3.3.1. BLANCO DEL AGUA DE DILUCIÓN.

Se empleó un blanco del agua de dilución como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no sembrada y de la limpieza de los frascos de incubación. Junto con cada lote de muestras, se incubaba un frasco de agua de

dilución no sembrada. Se determina el OD inicial y el OD final. El consumo de OD no debe ser mayor de 0.2 mg/L y preferentemente no menor a 0.1 mg/L. Antes de realizar el análisis se eligieron diluciones, mediante la siguiente técnica:

8.3.3.2. TÉCNICA DE DILUCIÓN:

Las diluciones que dan lugar a un OD residual mayor a 1 mg/L y una captación de OD de al menos 2mg/L después de 5 días de incubación, producen resultados confiables. Se hacen variar las diluciones (al menos tres) por duplicado de la muestra preparada para obtener una captación de OD en dicho intervalo. Se trabajaron con los siguientes volúmenes de muestra:

1er muestreo: 7mL, 2mL, 0.5mL

2do muestreo: 5mL, 20mL, 50mL

3er muestreo: 5mL, 20mL, 50mL

Diluciones preparadas directamente en frascos tipo Winkler. Utilizando una pipeta volumétrica, añadir el volumen de muestra que se eligió a los frascos Winkler individuales de 300mL. Llenar los frascos con suficiente agua de dilución (agua des ionizada aireada por 2 horas con inóculo) de forma que la inserción del tapón desplace todo el aire, sin dejar burbujas.

8.3.3.3. DETERMINACIÓN DEL OD (OXIGENO DISUELTO) INICIAL.

Se determinó el OD inicial de cada uno de los frascos con las diferentes diluciones, se empleó un oxímetro modelo HI964400. Después de leer el oxígeno disuelto en los 6 frascos Winkler, se ajustaron herméticamente los tapones manteniendo sello hidráulico, y se incubaron a 20 °C durante 5 días.

8.3.3.4. DETERMINACIÓN DEL OD (OXÍGENO DISUELTO) FINAL.

Después de 5 días de incubación se determinó el oxígeno disuelto en las diluciones de las muestras y en los blancos. La medición del OD debe ser realizada inmediatamente después de destapar la botella Winkler, para evitar la absorción de oxígeno del aire por la muestra.

8.3.3.5. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE DBO.

Los valores correspondientes de DBO se determinaron mediante los cálculos que se muestran en el apéndice No. 2.

8.3.4. DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES.

Para realizar este análisis; las muestras de aguas residuales tratadas deben tener un pH menor o igual a 2. Si no tiene este valor se acidifica con ácido clorhídrico 1N.

A) Se prepararon los matraces de extracción introduciéndolos a la mufla a una temperatura de 105°C, en seguida se enfriaron en un desecador para posteriormente pesarlos hasta obtener el peso constante de cada uno de los matraces.

B) Se preparó el material filtrante colocando un papel filtro en el embudo Buchner, luego se colocó el embudo en un matraz kitazato y se le agregó 100 mL de la suspensión de tierra de diatomeas-silice sobre el filtro, se aplicó vacío y se lavó con 100 mL de agua.

C) Se transfirieron 905 mL de agua residual tratada acidificada al embudo Buchner previamente preparado aplicando vacío hasta que cesó el paso de agua.

D) Con ayuda de pinzas, se transfirió el material filtrante a cada uno de los cartuchos de extracción. Inmediatamente después se limpiaron las paredes internas del embudo y el frasco contenedor de la muestra de agua residual tratada, así como la parte interna de la tapa del frasco con trozos de papel filtro previamente impregnado de hexano; después se colocaron los trozos de papel en el mismo cartucho.

E) Se sacaron los cartuchos en una estufa a 105 °C por un periodo de 30 minutos. Transcurrido este periodo, se colocaron los cartuchos en el equipo Soxhlet.

F) Se adicionó hexano al matraz de extracción (ya a peso constante) e inmediatamente se preparó el equipo Soxhlet.

G) Se colocó el equipo de extracción sobre la parrilla de calentamiento, controlando la temperatura del reflujo y extrayendo a una velocidad de 20 ciclos/hora durante un periodo de 4 horas.

H) Una vez terminada la extracción se retiraron los matraces del equipo Soxhlet, y se dejó evaporar el disolvente. Enseguida se colocaron los matraces de extracción libre de disolventes en el desecador hasta que alcanzaron la temperatura ambiente. Se analizó un blanco y un estándar bajo las mismas condiciones de la muestra.

8.3.5. DETERMINACIÓN DE FOSFORO TOTAL.

8.3.5.1. CURVA DE CALIBRACION.

Para la preparación de la curva patrón se tomaron las alícuotas de fosfatos indicadas en el cuadro No.1 y se vaciaron en botellas de dilución de vidrio con capacidad de 100 mL, luego se llevaron a 100 mL con agua destilada para darle el mismo tratamiento preliminar que las muestras de agua residual tratada.

CUADRO No.1. PREPARACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN

No. De Estándar.	Concentración (mg/L)
1	0.10145
2	0.20289
3	0.30434
4	0.50207
5	1.00041
6	1.50620
7	2.00826

8.3.6. TRATAMIENTO PRELIMINAR DE LA MUESTRA.

Se vierten 5 mL de agua residual tratada previamente agitados en las botellas de dilución y a cada una se le adicionó una gota de fenolftaleína. Después se le agregaron 2 mL de ácido fuerte y 0.8 g de per sulfato de amonio.

Se calentaron las botellas de dilución con la muestra contenida por 30 minutos en un autoclave a 20 lb/pg². Se dejó enfriar y se les añadió una gota de fenolftaleína y se neutralizó hasta desvanecer a un color rosa pálido con hidróxido de sodio. Luego se aforó a 100 mL con agua destilada.

Se mezcló bien para evitar cualquier subdivisión de la muestra.

8.3.6.1. DESARROLLO DEL COLOR.

Se le adicionó 1 gota de fenolftaleína a cada botella de dilución que contenía la muestra libre de color y turbidez. En seguida se agregó 4 mL de solución de heptamolibdato de amonio tetra hidratado y 0.5 (10 gotas) de solución de cloruro estano.

La intensidad del color depende de la temperatura ambiente de la solución final, incrementándose ésta alrededor de 1 % por cada grado centígrado más de temperatura ambiente. Por lo que es importante realizar las mediciones a la misma temperatura. La medición se efectuó después de 10 min de haber desarrollado el color, pero antes de 12 minutos, utilizar el mismo intervalo de tiempo para todas las mediciones, medir la intensidad de color espectrofotométricamente a 690 nm y compararnos contra la curva de calibración, se resta el blanco de reactivos. Se analiza un blanco de reactivos y al menos un estándar por lote de muestras.

8.3.7. DETERMINACIÓN DE NITROGENO DE NITRITOS.

Para la determinación de este parámetro se siguió la NMX-A-099-SCFI-2006, aplicando un método de prueba espectrofotométrico para la determinación

de nitrógeno de nitritos de agua residual tratada en un intervalo de 0.01 mg/L a 1 mg/L de N-NO.

8.3.8. RECEPCIÓN, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS.

Las muestras se recolectaron en el flujo de salida del aeropuerto internacional de Tuxtla Gutiérrez, se conservaron en frascos de vidrio de 1 litro de capacidad, a una temperatura de $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, como se observa en la figura No.11, esto es para evitar la conversión de nitritos a nitratos o amoníaco.

El análisis se realizó durante las 24 horas posteriores a su recolección.



FIGURA No.11. Conservación de las Muestras a 4°C . FUENTE: SEMAVIHN.



FIGURA No.12 Recepción de la muestra FUENTE: SEMAVIHN.

8.3.9. PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA.

Se analizó que la muestra estuviera libre de turbiedad y color, para lograr esto, se filtró a través de membranas de 0.45Mm de poro. Cuando la muestra está muy turbia, es necesario agregar la cantidad necesaria de suspensión

clarificadora, en estas muestras se agregaron 100mL de suspensión clarificadora en 50mL de muestra y se procedió a filtrarla. Se neutralizó el filtrado a un pH aproximado de 7.0 con H_2SO_4 1 N.

8.3.10. PORCIÓN DE MUESTRA.

De la disolución obtenida, se tomó una porción de muestra dependiendo del contenido esperado de nitritos según la siguiente tabla.

Cuadro No. 2. Selección del volumen de muestra

Cantidad de nitrógeno de nitritos en la muestra (mg/L)	Volumen de muestra necesario (mL)
0.05	50
0.10	25
0.50	10
1.00	5

Con una pipeta volumétrica se toma 50mL de la muestra y se transfieren a un matraz Erlenmeyer , adicionando 1mL de la disolución de sulfanilamida, agitar varias veces y permitir que la mezcla reaccione durante 2 minutos, enseguida se agrega 1ml de N-NEDA (N-Naftol-1-etilendiamino) y se agita varias veces. Se deja reposar 10 minutos, este tiempo es necesario para que la muestra desarrolle

una coloración púrpura, si hay presencia de nitritos. Después de 10 minutos leer la absorbancia a 543 nm.

9.-RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante la realización del proyecto, se exponen en los siguientes cuadros:

CUADRO No.3. Valores obtenidos en los parámetros realizados durante el mes de agosto del 2006, comparados con los límites máximos permisibles de contaminación que establece la NOM-001-ECOL-1996.

PARÁMETROS	AGOSTO 2006	NOM-001-ECOL-1996
Temperatura	28.97°C	N.A
pH	7.98	N.A
Materia Flotante	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables	<0.5 mL/L	1 mL/L

Sólidos suspendidos totales	68.335 mg/L	150 mL/L
DBO ₅	27.913 mg/L	150 ml/L
Fósforo Total	1.324 mg/L	20 mg/L
Nitrógeno de Nitrito	1.89 mg/L	40 mg/L
Grasas y Aceites	6.29 mg/L	15 mg/L

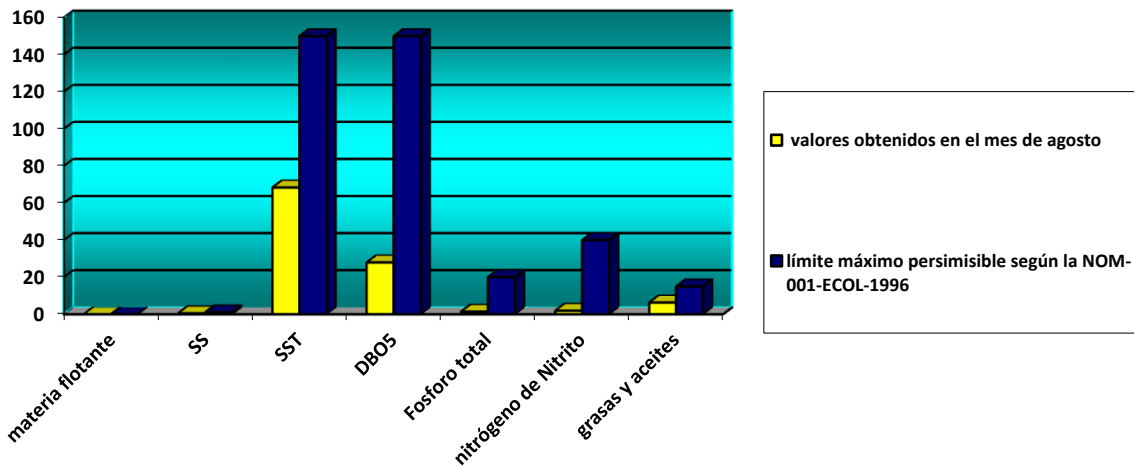


FIGURA No13. Representación de los valores obtenidos en el mes de agosto, comparados con los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996.

CUADRO No.4. Valores obtenidos en los parámetros realizados durante el mes de octubre del 2006, comparados con los límites máximos permisibles de contaminación que establece la NOM-001-ECOL-1996

PARAMETROS	OCTUBRE 2006	NOM-001-ECOL-1996
Temperatura	28.8°C	N.A
pH	7.87	N.A
Materia Flotante	ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables	<0.5 mL/L	1 mL/L
Sólidos suspendidos totales	34 mg/L	150 mL/L
DBO ₅	23.851 mg/L	150 mL/L
Fósforo Total	16.225 mg/L	20 mg/L
Nitrógeno de Nitrito	<0.0018 mg/L	40 mg/L
Grasas y Aceites	10.659mg/L	15 mg/L

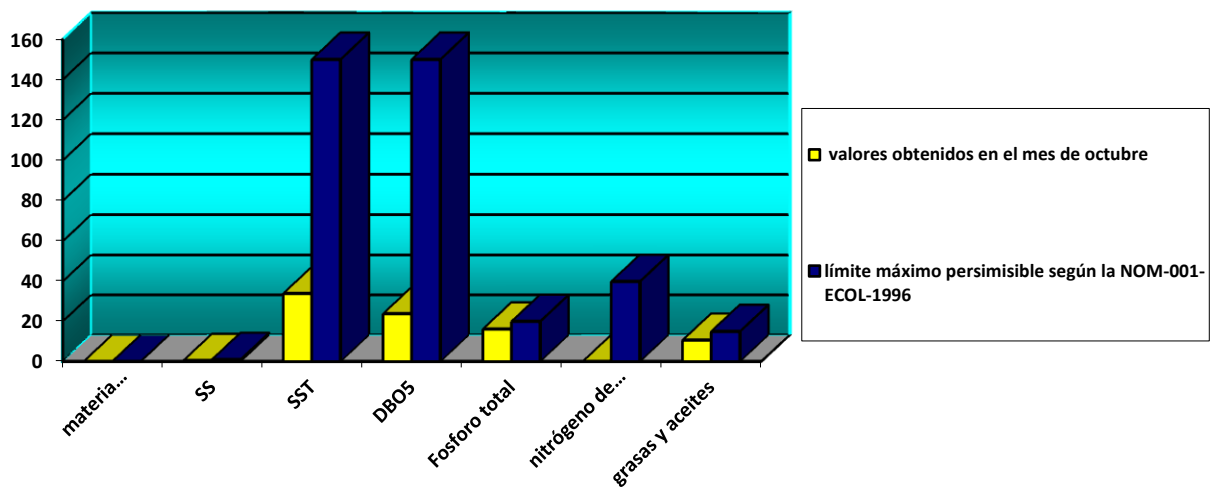


FIGURA No.14. Representación de los valores obtenidos en el mes de octubre, comparados con los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996.

CUADRO No.5. Valores obtenidos en los parámetros realizados durante el mes de noviembre del 2006, comparados con los límites máximos permisibles de contaminación que establece la NOM-001-ECOL-1996

PARAMETROS	NOVIEMBRE 2006	NOM-001-ECOL-1996
Temperatura	28°C	N.A
pH	8	N.A
Materia Flotante	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables	<0.5 mL/L	1 mL/L
Sólidos suspendidos totales	133.572 mg/L	150 mL/L
DBO ₅	41.505 mg/L	150 mL/L
Fósforo Total	18.327 mg/L	20 mg/L
Nitrógeno de Nitrito	<0.0018 ml/L	40 mg/L
Grasas y Aceites	18.602mg/L	15 mg/L

N.A = No Aplicable.

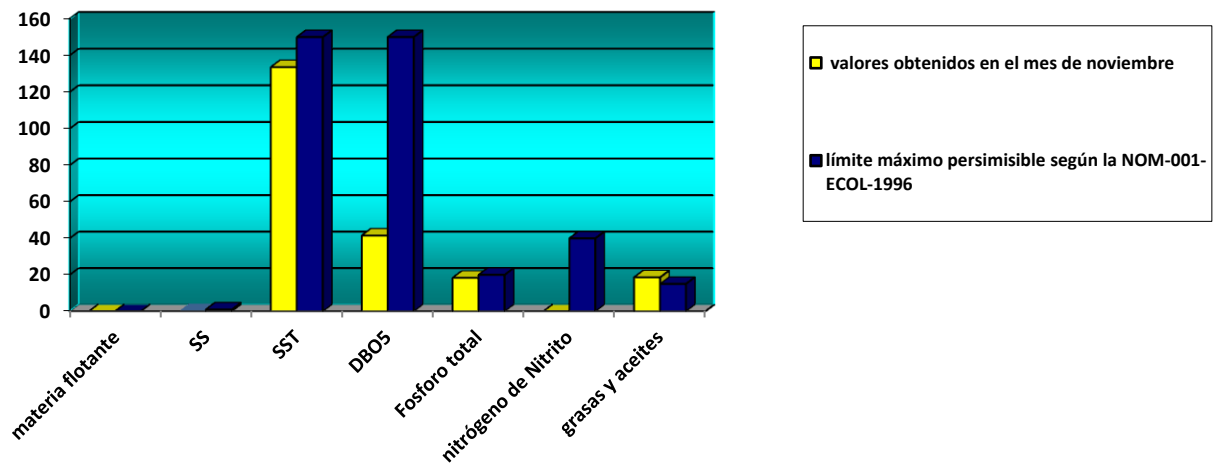


FIGURA No.15. Representación de los valores obtenidos en el mes de noviembre, comparados con los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996.

Los resultados muestran que en los meses de agosto y octubre no hubo variación significativa en los análisis realizados comparados con la NOM-001-

ECOL-1996, debido a que las muestras fueron tomadas en época de lluvia, esto provocó una dilución natural en el caudal de descarga. El caudal de descarga es abierto como se aprecia en la figura No.16.



FIGURA No.16. Caudal de descarga de la planta de tratamiento del Aeropuerto “Ángel Albino Corzo”. FUENTE: SEMAVIHN.

En el tercer monitoreo realizado en el mes de noviembre, los parámetros de grasas y aceites, fósforo total, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno, aumentaron con respecto a los 2 primeros meses de monitoreo, posiblemente a las variaciones de flujo que la época de lluvia provoca. En este mes

ya había terminado la época de lluvia y el caudal no venía diluido, aumentando el flujo de agua residual a la entrada de la planta tratadora, esto repercutió en que la planta de tratamiento no desempeñara el proceso de forma eficiente.

La poca eficiencia de la planta de tratamiento se debió a que hubo un aumento en la materia orgánica, así lo demuestran los valores de DBO_5 . Cuando el flujo de aguas residuales contiene grandes cantidades de materia orgánica provoca la obstrucción de los filtros en el tanque regulador, desequilibrando el proceso de la planta. El único parámetro que no cumplió con la NOM-ECOL-1996, en el mes de noviembre fue el de grasas y aceites, aunque el valor para este mes, excede en un 20% comparado con el valor establecido por la norma. La razón de esta variación fue por el aumento en la tensión superficial del agua, provocando que estas sustancias de naturaleza lipídica permanecieran en la superficie, dando lugar a la aparición de natas y espumas, estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos de tratamiento, en un agua residual.

Para disminuir las grasas y aceites en el efluente de salida se establecieron trampas de grasas que disminuyen la tensión superficial, fragmentando las grasas en moléculas pequeñas, esto permite aumentar la velocidad de degradación de las grasas y aceites.

Es necesario verificar las variaciones de flujo, tanque de aireación, clarificador y la extracción inadecuada de lodos, para evitar deficiencias en el proceso de operación en las plantas de tratamiento.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. CONCLUSIONES

- Todos los parámetros analizados que implican pruebas físico – químicas en los meses de agosto y octubre, están dentro de los lineamientos demandados por la norma. Sin embargo, en el mes de noviembre, el parámetro de grasas salió fuera de lo que establece la norma, por lo que se recomienda realizar el mantenimiento de los monitoreos ya establecidos.
- Los resultados obtenidos demuestran que el proceso biológico para el tratamiento de las aguas residuales utilizado en la planta de tratamiento del Aeropuerto Internacional de Tuxtla Gutiérrez, es adecuado, y está cumpliendo con el 86% de los límites máximos permisibles por la NOM-001-

ECOL-1996. El proceso se puede mejorar con el mantenimiento periódico (cada semana) a la planta para que se cumpla con un 100% con la norma NOM-001-ECOL-1996.

10.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda que para el buen desempeño de la planta de tratamiento, es necesario que el oxígeno disuelto que proporcionan las cámaras de aireación se mantengan en valores mayor a 1 y menor a 3; el pH óptimo debe ser 7, la alcalinidad debe ser mayor a 50 mg/L, se debe utilizar una trampa de grasa, la cloración se realizará cada mes, no se deberán recircular las natas al tanque de aireación, y el raspado de las tolvas deberá ser adecuada.

Realizar la prueba de sedimentabilidad en 30 min, una vez por semana; para esto hay que tomar la muestra después que el soplador ha estado en operación por lo menos 5 minutos. Es recomendable, no tomar las muestras cerca de:

❖ Línea del influente

- ❖ Línea de retorno de lodos
- ❖ Línea de retorno del desnatador

11. BIBLIOGRAFIA

- CRITES. R. (2001). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*, editorial Mc Graw Hill, Colombia, Pp. 21- 74, 324.
- *Determinación de fosforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. NMX-AA-029-SCFI-2001.
- *Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. NMX-AA-005-SCFI-2000.
- *Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas*. NMX-AA-028-SCFI-2001.
- *Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. NMX-AA-007-SCFI-2000.

- *Determinación de materia flotante en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.* NMX-AA-006-SCFI-2000.
- *Determinación de nitrógeno de nitritos y/o nitritos en aguas por espectrofotometría uv/vis.* NMX-AA-026-SCFI-1980.
- *Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.* NMX-AA-004-SCFI-2000.
- *Determinación de sólidos suspendidos totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.* NMX-AA-SCFI-034.
- *Determinación del Ph.* NMX-AA-008-SCFI-2000
- HILLEBOE. G. (1996). *Manual de tratamiento de aguas negras.* México, editorial LIMUSA, S.A de C.V, Pp.15-99.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, II Censo de Captación, Tratamiento y suministro de Agua. Censos Económicos. MÉXICO 2007, <http://www.inegi2007.gob.mx/tratamiento> ,revisado el 9 de septiembre del 201.
- JET-INC, 2006.<http://www.plantasdetratamiento.JET-INC2006>.

- MARIANO S. (1999). *Aguas residuales urbanas “tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento”*, ediciones Mundi-prensa, México, Pp. 24-41.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM –001–ECOL-1996, *que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.*
- RAMALHO. R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. España, editorial REVERTÉ, S.A. Pp. 27-62
- Sedapal, 2011. <http://www.sedapal2011.camaradeclearificacion>. Revisado el 8 de septiembre del 2011.
- Semarnat.conagua. estadísticas del agua en México, varios años, http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080//ibi_apps/WFServlet?B. Revisado el 14 de septiembre del 2011.
- TEBUTT. (1999). *Fundamentos de control de la calidad del agua*, editorial LIMUSA, Pp 20, 75, 162,203.
- VILLATORO. F, JIMENEZ. R. (2001). *Evaluación de algunos parámetros que determinan el comportamiento de las lagunas de estabilización de aguas residuales en el estado*, residencia profesional, I.T.T.G, Pp 12-35.

12. ANEXOS



INSTITUTO DE HISTORIA NATURAL Y ECOLOGÍA
DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
LABORATORIO DE MONITOREO AMBIENTAL

Gobierno de
Chiapas
Uno con Todos

RESULTADOS INTERNOS DE GRASAS ACEITES

MTRA	NO. MATRAZ	VOL (mL)	PESO DEL MATRAZ	PESO DEL MATRAZ	DIF. PESO	BCO	CONC. mg/L
BCO	1	950	68866.7	68870.8	4.1		
STD	3	950	71093.3	71340	246.7	4.1	255
63-1	5	905	69105.5	69126.6	21.1	4.1	18.7845
63-2	6	910	69915.0	69928.8	13.8	4.1	10.659

RESULTADOS INTERNOS DE FOSFORO

MTRA	mL DE MTRA	VOL (mL)	ACTOR DE DILUCION	ABSORBANCIA P-PO4 mg/L	PO4 mg/L CORREGIDA	CONC. TEORICA
STD	1	100	NA	0.492	0.49145	0.509
63-1	5	100	20	0.835	0.844	NA
63-1'	5	100	20	0.800	0.838	NA
63-2	5	100	20	0.728	0.757	NA
63-2'	5	100	20	0.771	0.8056	NA
DICIONADO	nL STD/5 mL MTF	100	NA	1.186	1.2752	NA

% RECUP 96.552 %

63-1

% DIF DU 0.667 %

63-2

% DIF DU 6.01 %

RESUL. REPORTADO = 16.225 mg/L

ADICIONADA

63-1

16.8221mg 1000mL

X 5 mL

X = 0.0841105 mg

XT =

0.1350105 mg

STD

50.9 mg

X

X = 0.0509 mg

1000 mL

1 mL

$$\frac{0.1350105}{100 \text{ mL}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 1.350105 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{RECUP. ADICIONADO} = \frac{1.2752 \text{ mg/L}}{1.350105 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{RECUP. ADICIONADO} = 94.45\%$$



INSTITUTO DE HISTORIA NATURAL Y ECOLOGÍA
DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
LABORATORIO DE MONITOREO AMBIENTAL

Gobierno de
Chiapas
Uno con Todos

Resultados de Grasas y aceites

Fecha: 29-30/11/2006

analista Emigdia Flores Gorosquieta

residentes: Patricia Cruz López/ Blanca Areli Macías Ruiz

Muestras	peso del matraz a peso const. (g)	A matraz con mtra. (g)	B dif de peso (g)	volumen (mL)	Resultados mg
bco	68,7937	68,7977	0,004	950	4,210
std	104,0714	104,2619	0,1905	950	196,316
072-1	69,6733	69,722	0,0487	930	48,064
072-2	100,7076	100,7289	0,0213	930	18,602

$$G \text{ y } A = B - A * 1000000 / V$$

B y A deben de estar en gramos

V volumen en mililitros

Resultados de Fosforo total

Fecha: 23-24/11/2006

Analista: Emigdia Flores Gorosquieta

Residentes: Patricia Cruz López y Blanca Areli Macías Ruiz.

Muestras	Volumen mL	ABS	CONC. DE CURVA	FD	Resultados mg/L
bco	100	0,001	0,061	1	0,061
std	1	0,557	0,565	1	0,565
072-1	5	0,875	0,923	20	18,455
072-1'	5	0,857	0,902	20	18,050
adicionado	5 mL mtra/1 mL std	1,266	1,363	1	1,363
072-2	5	0,876	0,924	20	18,477

C -072 Promedio 18.327 mg/L

Resultados de Nitrogeno de Nitritos

Fecha: 15-nov-06

Analista: Emigdia Flores Gorosquieta

Muestras	Volumen mL	Resultados mg/L
bco	50	< 0.0018
std	50	0,061972
072-1	50	< 0.0018
072-2	50	< 0.0018

conc. Teorica 0.06188 mg/L

C -072 Promedio <0.0018 mg/L



INSTITUTO DE HISTORIA NATURAL Y ECOLOGÍA
DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
LABORATORIO DE MONITOREO AMBIENTAL

Gobierno de
Chiapas
Uno con Todos

Resultados de Demanda Bioquímica de DBO al 5 día

Fecha: 16-21/11/2006

Analista: Emigdia Flores Gorosquieta

Residentes: Patricia Cruz López y Blanca Areli Macías Ruiz.

$$1g/L) = [OD1 \text{ mg/L} - OD5 \text{ mg/L}] - C1(B1-B2)(Vt)/C2(Vm)$$

OD1	OD5	(OD1-OD5)	C2 (mL)	C1 (mL)	Vt (mL)
6,8	5,97	0,83	4	4	300
6,87	6,59	0,28	4	4	300
6,88	6,39	0,49	4	4	300
6,83	5,1	1,73	4	4	300
6,71	3,4	3,31	4	4	300
6,93	0,02	6,91	4	4	300
6,38	5,39	0,99	4	4	300
6,85	5,09	1,76	4	4	300
6,8	3,51	3,29	4	4	300
6,37	0	6,37	4	4	300

PROMEDIO MTRAS	BCOS	MTRAS-BCO	C1/C2	MTRAS*C1/C2	MTRAS*C1/C2*Vt	MTRAS*C1/C2
0,533			1,000			
0,533			1,000			
0,533			1,000			
0,533		1,197	1,000	1,197	359,10	35,91
0,533		2,777	1,000	2,777	833,10	41,655
0,533		6,377	1,000	6,377	1913,10	38,262
0,533		0,457	1,000	0,457	137,10	13,71
0,533		1,227	1,000	1,227	368,10	36,81
0,533		2,757	1,000	2,757	827,10	41,355
0,533		5,837	1,000	5,837	1751,10	35,022

DBO5 (mg/L) = [(ODi mg/L - OD5 mg/L) - (C1(B1-B2)(Vt)/C2(Vm))]/P
 B1 es el OD del inóculo antes de la incubación en mg/L
 B2 es el OD del inóculo después de la incubación en mg/L
 C1 es el volumen de inóculo en la muestra
 C2 es el volumen de inóculo en el inóculo control
 Vt es el volumen total del rasco Winkler
 Vm es el volumen de muestra sembrada

PROMEDIO DE DBO AL 5 DÍA = 41.505 mg/L



Resultados de demanda bioquímica de oxígeno

de la planta tratadora de agua residual del aeropuerto del mes de Oct.2006

Fecha: 11 al 16 de Octubre del 2006

Analista: I.Q Emigdia Flores Gorosquieta

No. Muestra	OD1	OD5	(OD1 - OD5)	C1 (mL)	% dilución/100
bco1	6.91	6.83	0.08	0.3	0.0
bco2	7.33	6.94	0.39	0.3	0.0
5(063)1	7.03	5.68	1.35	0.295	0.0167
5(063)1	6.95	5.78	1.17	0.295	0.0167
20(063)1	6.78	1.940	4.84	0.28	0.0667
20(063)1	6.74	2.01	4.73	0.28	0.0667
50(063)1	6.36	0.07	6.29	0.25	0.1667
50(063)1	7.09	0.05	7.04	0.25	0.1667
5(063)2	6.88	5.72	1.16	0.295	0.0167
20(063)2	6.63	1.91	4.72	0.28	0.0667
50(063)2	6.27	0.05	6.22	0.25	0.1667

Vm (mL)	C1/C2	B1 - B2	$\frac{X}{(B1-B2)(Vt)/Vm}$	X*C1/C2	Resultado
0	1.0	0.235	0		
0	1.0	0.235	0		
5	1.0	0.235	14.1	14.1	-763.473
5	1.0	0.235	14.1	14.1	-774.251
20	0.9	0.235	3.525	3.1725	25.000
20	0.9	0.235	3.525	3.1725	23.851
50	0.8	0.235	1.41	1.128	30.966
50	0.8	0.235	1.41	1.128	35.465
5	1.0	0.235	14.1	14.1	-774.850
20	0.9	0.235	3.525	3.1725	23.201
50	0.8	0.235	1.41	1.128	30.546

$$DBO5 \text{ (mg/L)} = ((OD1 \text{ mg/L} - OD5 \text{ mg/L}) - C1(B1-B2)(Vt)/(C2(Vm))) / P$$

B1 es el OD del inóculo antes de la incubación en mg/L
 B2 es el OD del inóculo después de la incubación en mg/L
 C1 es el volumen de inóculo en la muestra
 C2 es el volumen de inóculo en el inóculo control (0.3 mL)
 Vt es el volumen total del frasco winkler (300mL)
 Vm es el volumen de muestra sembrada
 P es el % de dilución expresada en decimales

resultado de DBO = 23.851 mg/L

$$\% \text{ Dif. Duplicado} = 100 \cdot (((23.201 \text{ mg/L}) / (100)) / 25.0 \text{ mg/L})$$

$$\% \text{ Dif. Duplicado} = 7.196 \%$$



INSTITUTO DE HISTORIA NATURAL Y ECOLOGÍA
DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
LABORATORIO DE MONITOREO AMBIENTAL

Gobierno de
Chiapas
Uno con Todos

Resultados de Sólidos suspendidos totales

Fecha: 15-17/11/2006

Analista: Emigdia Flores Gorosquieta

Muestras	peso del crisol a peso const. (mg) A	crisol con mtra. (mg) B	dif de peso (mg)	volumen (mL)	resultados mg/l
bco	24140.5	24140.7	0.2	100	2
072-1	25323.3	25313	10.3	70	147.143
072-2	24019.5	24013.5	6	50	120.000

c-063

promedio

133.572 mg/L

$$\text{sst} = \frac{B-A}{V} \times 1000$$

B y A deben de estar en miligramos
V volumen en mililitros

Resultados de Sólidos sedimentables

Fecha: 12-Oct-06

Analista: Emigdia Flores Gorosquieta

Muestras	Volumen mL	Resultados mL/L
bco	1000	< 0.5
072-1	1000	< 0.5
072-2	1000	< 0.5

C-072 Promedio

< 0.5 mL/L



INSTITUTO DE HISTORIA NATURAL Y ECOLOGÍA
DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
LABORATORIO DE MONITOREO AMBIENTAL

Gobierno de
Chiapas
Uno con Todos

Resultados de Sólidos suspendidos totales

Fecha: 16-sep-06

Analista: Emigdia Flores Gorosquieta

Residentes: Patricia Cruz López y Blanca Areli Macías Ruiz.

Muestras	peso del crisol a peso const. (mg)	A crisol con mtra. (mg)	B dif de peso (mg)	volumen (mL)	resultados mg/l
bco	24140,5	24140,7	0,2	100	2
AR	23,1232	23,1249	1,7	30	56,6666667
ARD	26,0362	26,0386	2,4	30	80

c-062

promedio

68.335mg/L

$$\text{sst} = \frac{B-A \times 1000}{V}$$

B y A deben de estar en miligramos

V volumen en mililitros

Resultados de Sólidos sedimentables

Fecha: 12-sep-06

Analista: Emigdia Flores Gorosquieta

Residentes: Patricia Cruz López y Blanca Areli Macías Ruiz.

Muestras	Volumen mL	Resultados mL/L
bco	1000	< 0.5
AR	1000	< 0.5
ARD	1000	< 0.5

C-062

Promedio

< 0.5 mL/L



INSTITUTO DE HISTORIA NATURAL Y ECOLOGÍA
DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
LABORATORIO DE MONITOREO AMBIENTAL

Gobierno de
Chiapas
Uno con Todos

Datos experimentales para establecer los Límites de Cuantificación y Detección del Método

No. Réplicas	Absorbancia promedio	Concentración obtenida (mg/L)	Concentración (mg/L)
1	0,146	0,101	0,10145
2	0,14	0,095	0,10145
3	0,151	0,107	0,10145
4	0,143	0,098	0,10145
5	0,144	0,099	0,10145
6	0,144	0,099	0,10145
7	0,145	0,100	0,10145
8	0,143	0,098	0,10145
9	0,152	0,108	0,10145
10	0,148	0,104	0,10145

Promedio = 0,1009 mg/L
Desviación Estándar = 0,004222

Determinación del Límite de Detección del Método (LDM)

LDM = 3 * Desviación Estándar

LDM = 3 * 0,004222

LDM (mg/L) = 0,013

t de student de tablas para n=10 y 99%
de tablas
mg/L

Cálculo del Límite de Cuantificación del Método (LCM)

LCM = 10 * Desviación Estándar

LCM = 10 * 0,004222

LCM (mg/L) = 0,042



INSTITUTO DE HISTORIA NATURAL Y ECOLOGÍA
DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
LABORATORIO DE MONITOREO AMBIENTAL

Gobierno de
Chiapas
Uno con Todos

Resultados de Validación para Fosforo total

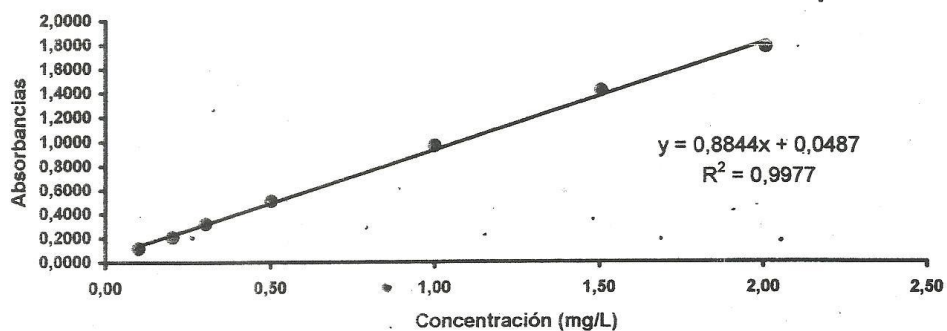
Fecha: 12-17/10/2006
Analista: Emigdia Flores Gorosquieta
Equipo: Spectronic Genesys 2
Longitud de onda (nm): 690 nm

Bitacora: BT-MPFQ-LMA
Folio: 00000-000002

Curva Patrón		Absorbancia promedio			Promedio
No. de Estándar	Concentración (mg/L)	A	B	C	
1	0,10145	0,104	0,106	0,129	0,113
2	0,20289	0,215	0,209	0,206	0,210
3	0,30434	0,326	0,336	0,302	0,321
4	0,50207	0,538	0,517	0,473	0,509
5	1,00041	0,995	0,963	0,938	0,965
6	1,50620	1,42	1,380	1,452	1,4173
7	2,00826	1,79	1,76	1,79	1,78

Pendiente, m =	0,888201	0,867117	0,897863	0,8844
Ordenada al origen, a =	0,055904	0,056134	0,034139	0,0487
Coef. de determinación, r ² =	0,996333	0,997425	0,997333	0,9977
Coef. Correlación, r =	0,9982	0,9987	0,9987	0,9989

Rango de Trabajo para Fosforo



Conclusión:

Los resultados del método en el rango de trabajo muestran una buena **linealidad**, como se observa en la gráfica, al tener un coeficiente de correlación $\geq 0,995$, cumple criterio



INSTITUTO DE HISTORIA NATURAL Y ECOLOGÍA
DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL
LABORATORIO DE MONITOREO AMBIENTAL

Gobierno de
Chiapas
Uno con Todos

Resultados de Sólidos suspendidos totales

Fecha: 16-oct-06

Analista: Emigdia Flores Gorosquieta

Residentes: Patricia Cruz López y Blanca Areli Macías Ruiz.

Muestras	peso del crisol a peso const. (mg) A	crisol con mtra. (mg) B	dif de peso (mg)	volumen (mL)	resultados mg/l
bco	24140,5	24140,7	0,2	100	2
63-1	25389,8	25392,9	3,1	100	31
63-1	24633,2	24636,6	3,4	100	34
63-2	21682,5	21685,9	3,4	100	34
63-2	31626,4	31630,1	3,7	100	37

c-063

promedio

34 mg/L

$$sst = \frac{B-A \cdot 1000}{V}$$

B y A deben de estar en miligramos

V volumen en mililitros

Resultados de Sólidos sedimentables

Fecha: 12-oct-06

Analista: Emigdia Flores Gorosquieta

Residentes: Patricia Cruz López y Blanca Areli Macías Ruiz.

Muestras	Volumen mL	Resultados mL/L
bco	1000	< 0.5
63-1	1000	< 0.5
63-1	1000	< 0.5
63-2	1000	< 0.5
63-2	1000	< 0.5

C-063 Promedio

< 0.5 mL/L

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996.

ESTA NORMA OFICIAL MEXICANA ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES VERTIDAS A AGUAS Y BIENES NACIONALES, CON EL OBJETO DE PROTEGER SU CALIDAD Y POSIBILITAR SUS USOS, Y ES DE OBSERVANCIA OBLIGATORIA PARA LOS RESPONSABLES DE DICHAS DESCARGAS. ESTA NORMA OFICIAL MEXICANA NO SE APLICA A LAS DESCARGAS DE AGUAS PROVENIENTES DE DRENAJES PLUVIALES INDEPENDIENTES.

T A B L A 1

FRECUENCIA DE MUESTREO			
HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO N.E.	MÁXIMO N.E.
Menor que 4	mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

N.E. = No especificado.

T A B L A 2

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																SUELO			
	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A	N.A	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A	N.A.	N.A.	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A.	N.A.	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D.= Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual;

N.A. = No es aplicable.

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

2. REFERENCIAS

Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales - Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de septiembre de 1977.

Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas - Determinación de grasas y aceites - Método de extracción soxhlet, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 8 de agosto de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas - Determinación de materia flotante - Método visual con malla específica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 5 de diciembre de 1973.

Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas - Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 23 de julio de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas - Determinación de pH - Método potenciométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas - Determinación de nitrógeno total - Método Kjeldahl, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de octubre de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas - Determinación de demanda bioquímica de oxígeno- Método de incubación por diluciones, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas - Determinación de fósforo total - Métodos espectrofotométricos, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de octubre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas - Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas - Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales - Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de junio de 1987.

Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas - Determinación de arsénico en agua-Método espectrofotométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de febrero de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de septiembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas - Determinación de cianuros - Método colorimétrico y titulométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de diciembre de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas - Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de marzo de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas - Determinación de cobre - Método de la neocuproína, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 16 de noviembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas - Determinación de zinc - Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de julio de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-079 Aguas Residuales- Determinación de nitrógeno de nitratos (Brucina), publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de abril de 1986.

Norma Mexicana NMX-AA-099 - Determinación de nitrógeno de nitritos- Agua potable, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de febrero de 1987.

3. DEFINICIONES

3.1 Aguas costeras

Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

3.2 Aguas nacionales

Las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

3.3 Aguas residuales

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

3.4 Aguas pluviales

Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

3.5 Bienes nacionales

Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

3.6 Carga contaminante

Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

3.7 Condiciones particulares de descarga

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

3.8 Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno₅, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

3.9 Contaminantes patógenos y parasitarios

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

3.10 Cuerpo receptor

Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

3.11 Descarga

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

3.12 Embalse artificial

Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

3.13 Embalse natural

Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

3.14 Estuario

Es el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.

3.15 Humedales naturales

Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.

3.16 Límite máximo permisible. Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

3.17

T A B L A 4

DESCARGAS MUNICIPALES	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACIÓN
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

T A B L A 5

DESCARGAS NO MUNICIPALES		
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	CARGA CONTAMINANTE	
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO₅ t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)
1 de enero de 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

4.6 Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas 4 y 5 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.

4.7. Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la

Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que rebasen los límites máximos permisibles de esta norma, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en las fechas establecidas en las Tablas 6 y 7.

Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

T A B L A 6

DESCARGAS MUNICIPALES	
RANGO DE POBLACIÓN	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
de 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

T A B L A 7

CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO₅ Y/O SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 3.0	30 de junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

4.8 El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 8 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 9 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de

abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un período de tres años posteriores a su realización.

T A B L A 8

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

T A B L A 9

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO₅ t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

4.9 El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

4.10 En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en los puntos 4.1, 4.2 y 4.3 de la

presente Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua.

4.11 Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

4.12 El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

5. MÉTODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar los métodos de prueba indicados en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. El responsable de la descarga podrá solicitar a la Comisión Nacional del Agua, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos podrán ser autorizados a otros responsables de descarga en situaciones similares.

Para la determinación de huevos de helminto se deberán aplicar las técnicas de análisis y muestreo que se presentan en el Anexo 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

6. VERIFICACIÓN

La Comisión Nacional del Agua llevará a cabo muestreos y análisis de las descargas de aguas residuales, de manera periódica o aleatoria, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados en la presente Norma Oficial Mexicana.

7. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

7.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

8. BIBLIOGRAFÍA

- 8.1** APHA, AWWA, WPCF, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. USA. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales. 19ª Edición. E.U.A.).
- 8.2** Code of Federal Regulations. Title 40. Parts 100 to 149; 400 to 424; and 425 to 629. Protection of Environment 1992. USA. (Código de Normas Federales. Título 40. Partes 100 a 149; 400 a 424; y 425 a 629. Protección al Ambiente. E.U.A.)
- 8.3** Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M. Fair, John Ch. Geyer, Limusa, México.
- 8.4** Industrial Water Pollution Control, 1989. 2nd Edition. USA. (Control de la contaminación industrial del agua Eckenfelder W.W. Jr. 2ª Edición McGraw-Hill International Editions. E.U.A.)
- 8.5** Manual de Agua para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell. Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. 1ª edición. Volúmenes 1 al 4. México.
- 8.6** Manual de Agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.
- 8.7** U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines And New Source Performance Standard For The 1974 (Documento de Desarrollo de La U.S.E.P.A. para guías de límites de efluentes y estándares de evaluación de nuevas fuentes para 1974).
- 8.8** Water Treatment Chemicals. An Industrial Guide, 1991. (Tratamiento químico del agua. Una guía industrial) Flick, Ernest W. Noyes Publications. E.U.A.
- 8.9** Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de tratamiento de agua. Degremont 6ª Edición Vol. I y II. E.U.A.)
- 8.10** Wastewater Engineering Treatment. Disposal, Reuse, 1991. 3rd Edition. USA. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reuso. Metcalf And Eddy. McGraw-Hill International Editions. 3ª Edición. E.U.A.)