

TÍTULO DEL TRABAJO:
**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA LA UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE
BIOTECNOLOGÍA**

**TRABAJO ESCRITO CORRESPONDIENTE A LA OPCIÓN DE TITULACIÓN:
CURRICULAR EN LA MODALIDAD DE:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

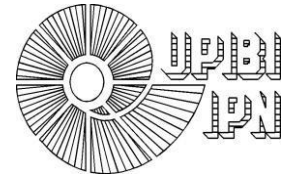
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTAN:
PRIETO VALLEJO JESÚS ADRIÁN
RODRÍGUEZ TOVAR SHARED ELI**

DIRIGIDA POR:

AGUSTÍN RIVERA HERNÁNDEZ

México, D. F. JULIO 2015

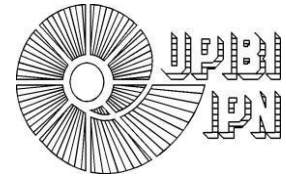


CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 14 de Julio de 2015, el que suscribe Jesús Adrián Prieto Vallejo, alumno del Programa Académico Ingeniería Ambiental con número de boleta 2011620621, de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo escrito bajo la Dirección de Agustín Rivera Hernández y cede los derechos del trabajo titulado “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología” al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con los fines académicos que desarrolla.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser solicitado en la siguiente dirección de correo electrónico: adrian0815@outlook.com . Si el permiso se otorga, el usuario deberá citar la fuente y dar el agradecimiento correspondiente.

Nombre y firma



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 14 de Julio de 2015, el que suscribe Shared Elí Rodríguez Tovar, alumno del Programa Académico Ingeniería Ambiental con número de boleta 2011620347, de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo escrito bajo la Dirección de Agustín Rivera Hernández y cede los derechos del trabajo titulado “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología” al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con los fines académicos que desarrolla.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser solicitado en la siguiente dirección de correo electrónico: sharedelirt@gmail.com . Si el permiso se otorga, el usuario deberá citar la fuente y dar el agradecimiento correspondiente.

Nombre y firma

Agradecimientos

Jesús Adrián Prieto Vallejo

- *A Cesar y a mi familia por brindarme el apoyo, el amor y los recursos necesarios para llevar a cabo este trabajo y en general por todos los momentos a lo largo de este trayecto en los que estuvieron presentes. Esto es para ustedes en su totalidad.*
- *A los I.V. por estar siempre ahí durante el largo camino hasta este trabajo, por los consejos, las risas, las lágrimas, las victorias, las derrotas y en general por su incomparable e incondicional hermandad.*
- *A Agustín Rivera Hernández por el apoyo, los recursos y la confianza para lograr este objetivo.*
- *A Ven por su paciencia en los días de estrés, por su apoyo y por su cariño. Gracias.*

Shared Eli Rodríguez Tovar

- *A mis padres y familiares que con empeño, dedicación a través de un esfuerzo en conjunto para obtener los recursos a fin de poder cumplir con el objetivo de culminar mi formación académica en una escuela de nivel superior como lo es el IPN.*
- *A un grupo de amigos que con sus aportaciones personales, permitieron y colaboraron en la integración del mismo, para no mencionar a cada uno me referiré a ellos como mis hermanos en esta institución como Indios Verdes, ya que jugaron un papel importante a lo largo de mi formación, que con sus cualidades particulares me fomentaron la superación académica y personal.*
- *De manera puntual a Agustín Rivera Hernández, puesto que puso a disposición recursos de todo tipo para finalizar este proyecto brindando las herramientas indispensables para la realización de éste, cómo es la disposición de su laboratorio para la realización de pruebas estandarizadas con la respectiva asesoría.*
- *A las maestras que se encuentran en el laboratorio de microbiología de la UPIBI, por su colaboración y aportes de mención particular a la profesora Miriam Juárez, Oyuky Ishida al brindar asesoría personalizada.*

Tabla de contenido

I. INTRODUCCIÓN	6
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA.....	6
AGUAS RESIDUALES	7
<i>Aspecto</i>	7
<i>Composición</i>	7
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	7
CLIMA	8
INFRAESTRUCTURA EN CUANTO A AGUAS RESIDUALES	8
PROCESOS DE TRATAMIENTO	10
<i>Procesos unitarios (químicos)</i>	11
<i>Desinfección</i>	11
<i>Trenes de tratamiento</i>	11
PRE TRATAMIENTO	11
<i>Desbaste</i>	11
<i>Desarenado</i>	11
<i>Cribado</i>	12
TRATAMIENTO PRIMARIO	12
<i>Sedimentación</i>	12
TRATAMIENTOS SECUNDARIOS.....	12
<i>Tratamiento y disposición de los Lodos</i>	14
TRATAMIENTOS Terciarios.....	15
II. ANTECEDENTES	15
ANTECEDENTES EN OTRAS ESCUELAS EN MÉXICO	18
III. JUSTIFICACIÓN	19
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	19
JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO	20
<i>Lodos Activados</i>	20
<i>Aereación extendida</i>	22
<i>Lagunas de estabilización</i>	23
<i>Tratamiento anaerobio</i>	26
<i>Elección del método</i>	27
IV. HIPÓTESIS	27
V. OBJETIVO GENERAL	28
VI. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
VII. METODOLOGÍA	28
PLAN DE MUESTREO Y MUESTREO	28
PARÁMETROS A DETERMINAR	30

- pH	30
- Demanda bioquímica de oxígeno ₅ (DBO ₅)	30
- Grasas y aceites	30
- Sólidos Totales	30
- Coliformes Fecales	31
VIII. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	31
RESULTADOS DE CAMPO	31
Flujos.....	31
Temperatura, conductividad y pH	31
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO	32
IX. DISEÑO.....	33
CANAL DE ENTRADA	33
PRETRATAMIENTO	33
CÁRCAMO DE BOMBEO	33
REACTOR BIOLÓGICO	33
REQUERIMIENTOS DE OXIGENO	34
SEDIMENTADOR	34
TANQUE DE CLORACIÓN	34
CISTERNA DE AGUA TRATADA	34
MANEJO DE LODOS Y BIOSÓLIDOS	34
DELIMITACIÓN DEL ÁREA	35
X. COSTOS	36
XI. CONCLUSIONES	37
XII. RECOMENDACIONES	38
XIII. REFERENCIAS	39
XIV. MEMORIA DE CÁLCULO.....	40
CAUDALES.....	40
VOLUMEN MUESTRA SIMPLE	41
CANAL.....	42
Área libre de paso del agua	42
Tirante hidráulico.....	42
REJILLAS	42
CARCAMO DE BOMBEO	43
REACTOR BIOLÓGICO	44
Procedimiento 1.....	44
Procedimiento 2.....	44
REQUERIMIENTOS DE OXIGENO	45
SEDIMENTADOR	46
PRODUCCIÓN DE LODOS	47
CLORACIÓN	49
CISTERNA DE AGUA TRATADA	49

ANEXOS 51

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA..... 51

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS 52

Reactivos..... 53

Equipos y materiales 53

Recolección, preservación y almacenamiento de muestras..... 54

Procedimiento 54

Cálculos..... 55

Interferencias 55

Índice de Tablas

Tabla 1 - PTAR en el Distrito Federal6

Tabla 2. Principales métodos biológicos y sus clasificaciones.13

Tabla 3. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el D.F16

Tabla 4. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el D.F. (Inventario CONAGUA 2013)16

Tabla 5. Comparación de los procesos de lodos activados convencional y de aireación prolongada22

Tabla 6. Número de muestras simples por tiempo de operación con base en la NOM-00228

Tabla 7. Horarios de toma de muestra (simple y compuesta) en las descargas de la UPIBI.28

Tabla 8. Resultados de los flujos de las descargas de la UPIBI tomados en campo30

Tabla 9. Resultados del muestreo en la descarga 1 (Temperatura, conductividad y pH).....30

Tabla 10. Resultados del muestreo en la descarga 1 (Temperatura, conductividad y pH)30

Tabla 11. Resultados del análisis de la DBO.....31

Tabla 11. Resultados del análisis de la DBO.....31

Tabla 12. Peso de muestras empleadas para la determinación de sólidos totales y de grasas y aceites...31

Tabla 13. Comparación de resultados de la caracterización (DBO5, SST y Grasas y aceites) con lo requerido por la NOM-003-SEMARNAT-199731

Tabla 14. Resultados del NMP en contraste con lo requerido por la NOM-003-SEMARNAT-1997.....32

Tabla 15. Eficiencias de remoción de DBO₅ requeridas para las descargas de la unidad.33

Tabla 16. Clasificaciones de loa tipos de lodos y posible aprovechamiento como la marca la NOM-004-SEMARNAT-200234

Tabla 17. Costos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UPIBI36

Tabla 18. Listado de los Equipos diseñados para la planta de tratamiento.....49

Tabla 19. Fotografías de los materiales y métodos utilizados.50

Índice de Figuras

Figura 1.- Localización de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología	5
Figura 2.- Acuíferos sobreexplotados en México.	7
Figura 3. No de Plantas por Proceso a registradas a nivel Nacional	8
Figura 4. Resumen por Proceso.	9
Figura 5. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Diagnóstico del Programa Operación y Mantenimiento en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales 2014).....	15
Figura 6. Proceso Convencional de lodos activados	19
Figura 7. Proceso general para una unidad de aireación prolongada	22
Figura 8. Propuesta de Ubicación de la PTAR de la UPIBI	35

I. Introducción

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología

La Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional fue creada en 1988 por un decreto del entonces director general del IPN Raúl Talán Ramírez, con el fin afrontar la necesidad de realizar actividades de formación de recursos humanos, desarrollo tecnológico e investigación en el campo de la Biotecnología en su más amplia acepción, para la solución de problemas nacionales, con un enfoque interdisciplinario de la ingeniería conjugada con las ciencias médico biológicas y ambientales, y una visión integral de la realidad social, económica, política y cultural del país.

LaUPIBI ofrece las siguientes carreras de Licenciatura:

- Ingeniería Ambiental
- Ingeniería en Alimentos
- Ingeniería Biomédica
- Ingeniería Farmacéutica
- Ingeniería Biotecnológica

EnUPIBI se atiende a 2800 estudiantes entre el nivel Licenciatura y Posgrado, para lograrlo cuenta con aproximadamente 300 docentes de los cuales 30 son investigadores miembros del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del CONCACyT.

Se encuentra ubicada en la delegación Gustavo A. Madero (GAM) que tiene las siguientes coordenadas Entre los paralelos $19^{\circ} 35'$ y $19^{\circ} 27'$ de latitud norte; los meridianos $99^{\circ} 03'$ y $99^{\circ} 11'$ de longitud oeste; altitud entre 2 200 y 2 900 m. La delegación (GAM) Colinda al norte y al este con el estado de México; al sur con las delegaciones Venustiano Carranza y Cuauhtémoc; al oeste con la delegación Azcapotzalco y el estado de México. En cuestión territorial ocupa el 5.9% de la superficie del Distrito Federal y una población total de 1 185 772 habitantes. (INEGI 2014)

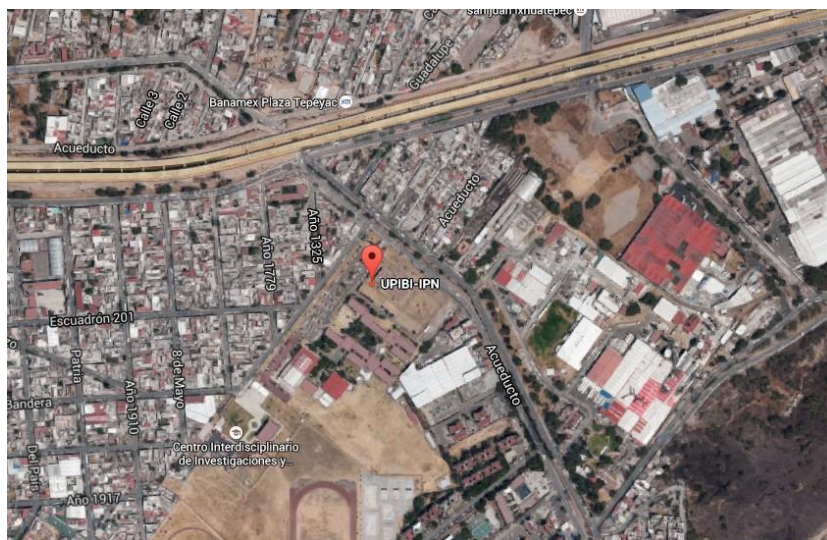


Figura 1.- Localización de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología

Aguas residuales

Las aguas residuales en general son fundamentalmente las aguas de abastecimiento 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 las casas habitación, edificios comerciales e instituciones, junto con los provenientes de los establecimientos industriales, y las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que puedan agregarse. (Departamento de sanidad del estado de Nueva York, 2006)

De manera general estas aguas pueden originarse por 4 fuentes principales:

1. Desechos humanos y animales: Son los generados por las exoneraciones meramente corporales que llegan a las aguas residuales mediante los retretes y en menor grado por los desechos de animales que se incorporan a las aguas residuales mediante el alcantarillado al lavar las calles. Son considerados como los desechos más importantes debido a los organismos perjudiciales a la salud pública que pueden contener y a que son los que le aportan en mayor proporción la carga orgánica al agua.
2. Desperdicios caseros: Proceden en su mayoría de los usos domésticos como el lavado de ropa, el baño, desperdicios de cocina, limpieza, etc. Casi todos estos desechos contienen jabones, detergentes sintéticos que generalmente tienen agentes espumantes.
3. Aguas de lavado de calles y corrientes pluviales: Las aguas provenientes de la precipitación arrastran polvo, arenas, hojas y otras basuras al "lavar" la calle.
4. Desechos industriales: Estos desechos varían mucho por su tipo y volumen, pues dependen de la clase de establecimiento fabril ubicado en la localidad. Muchos de estos desechos contienen agentes espumantes, detergentes y otras sustancias que dificultan su disposición o que pueden dañar la infraestructura hidráulica. Por esta razón no pueden agregarse directamente a las aguas residuales, sino que debe procurarse darles un tratamiento preliminar.

En la UPIBI las fuentes de generación de aguas residuales son principalmente tres: los desechos humanos, las aguas de lavado de pasillos y pisos y las corrientes pluviales. El volumen va a variar a cada hora dentro de la escuela y también en temporadas vacacionales.

Aspecto

Son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión. Al poco tiempo de su generación su color es grisáceo y tienen olor a moho, flotan en ellas cantidades variables de sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel y otros residuos provenientes de las actividades cotidianas de una población. Con el transcurrir del tiempo, el color cambia de gris a negro desarrollándose un olor ofensivo y sólidos negros aparecen flotando en la superficie del líquido.

Composición

Las aguas residuales consisten de agua, sólidos disueltos y sólidos suspendidos. La cantidad de sólidos es casi siempre menor al 0.1% en peso, pero es la fracción que representa el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuados. (Departamento de sanidad del estado de Nueva York, 2006)

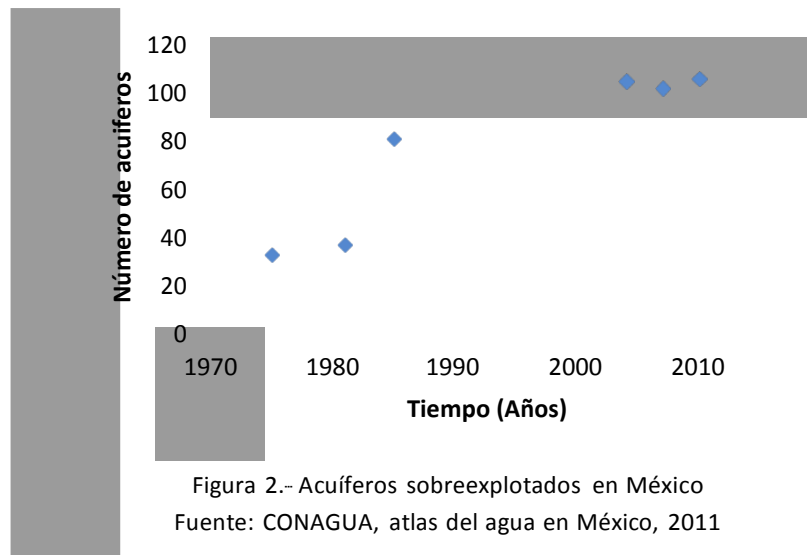
Planta de tratamiento de aguas residuales

Una planta de tratamiento de aguas residuales es una instalación donde a las aguas provenientes de algún proceso natural o antropogénico se les retiran los contaminantes, para convertirla en un agua sin

8 | Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en la UPIBI

riesgos a la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o por su reúso en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano (no para aseo personal o ingestión).

Según datos de INEGI, la sobreexplotación de los acuíferos representa un grave problema en México ya que esta ha ido en aumento de manera descontrolada pasando de 32 acuíferos en esta condición en 1975 a 105 acuíferos en 2010, es decir, presenta un aumento de más del triple en 35 años.



Es por esto y por otras razones, que se abordarán más adelante, que es necesario el reúso de este recurso utilizando plantas de tratamiento de aguas residuales para actividades en las que la calidad del agua no es un requerimiento absolutamente necesario y/o no requiere estándares de salud muy altos.

Clima

El clima en la ciudad de México, donde se lleva a cabo el proyecto, presenta un rango de temperatura de entre 12 y 18°C y una precipitación media anual de entre 500 y 700 mm. Es predominante el clima Templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (73%) y Seco semiseco templado (27%). La temporada de lluvias en el Distrito Federal es de junio a septiembre y es un dato de mucha importancia ya que en este periodo de tiempo el influente que llegue a la planta de tratamiento se incrementará sustancialmente y se tendrán que tomar medidas preventivas para controlarlo.

Infraestructura en cuanto a aguas residuales

Para el tratamiento de aguas residuales municipales, en la Región se tienen 77 plantas de tratamiento en operación, las cuales en el año 2004 trataron aproximadamente un caudal medio de 5 599 l/s. Acorde al inventario más reciente se tiene la siguiente información para el Distrito Federal.

Tabla 1 ... PTAR en el Distrito Federal Fuente: CONAGUA, Estadísticas del Agua 2013.

Entidad Federativa	No. Total de plantas	Capacidad instalada(l/s)	Caudal tratado(l/s)
D.F.	29	6,820.5	3,112.8

En cuanto a los procesos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales, en el inventario de CONAGUA señala los siguientes procesos más utilizados así como la distribución por proceso, así como por el número de plantas que se encuentran en operación.

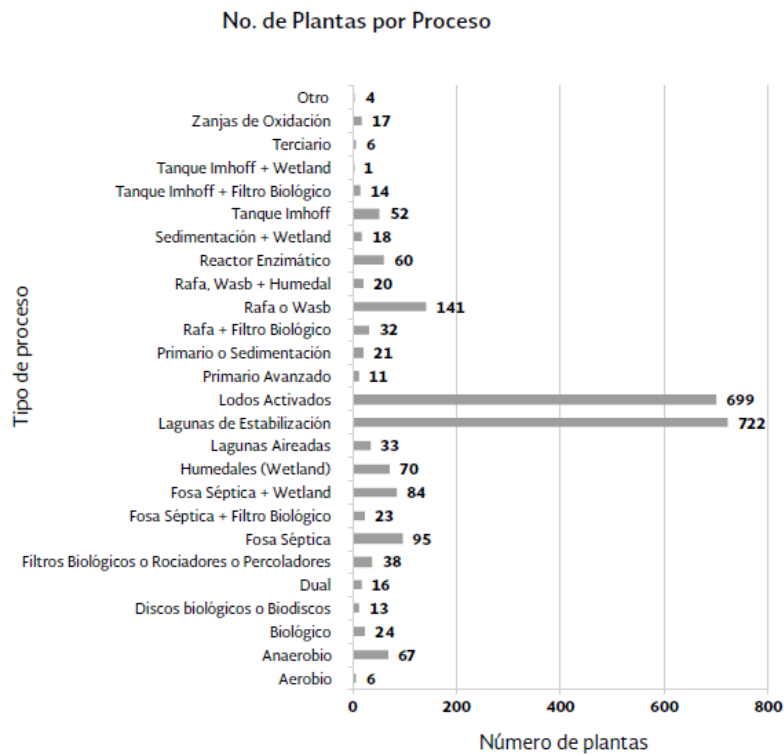


Figura 3. No de Plantas por Proceso a registradas a nivel Nacional

Fuente Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2013. Pág. 98.

Uno de los problemas en las plantas de tratamiento de aguas residuales, es que en poco tiempo, por diversos factores, pasan a ser lo que se le denomina elefantes blancos, o en otras palabras obras que no se usan, ya sea por falta de mantenimiento o porque las organizaciones gubernamentales las consideran como una inversión poco productiva al ser una inversión a mediano y largo plazo.

Destacan por su capacidad instalada 14 plantas de tratamiento, sin embargo la mayoría de ellas operan muy por debajo de lo diseñado. En el año 2004, estas plantas trataron un caudal de 4 784 l/s, el cual equivale al 85% del caudal total tratado ese año.

De las plantas fuera de operación, destaca la planta Santa Fe, ubicada en la delegación Álvaro Obregón en el Distrito Federal, la cual tiene una capacidad instalada de 280 l/s.

El resumen por proceso a nivel nacional, la cobertura y la capacidad instalada quedan distribuidos en porcentajes de la siguiente manera:

Proceso	Plantas		Capacidad Instalada		Caudal Tratado	
	No.	%	l/s	%	l/s	%
Aerobio	6	0.26	25.8	0.02	17.9	0.02
Anaerobio	67	2.93	916.9	0.6	515.9	0.49
Biológico	24	1.05	681.1	0.45	467.9	0.44
Discos biológicos o biodiscos	13	0.57	736.0	0.48	466.5	0.44
Dual	16	0.7	6 464.0	4.25	5 747.5	5.43
Filtros biológicos o rociadores o percoladores	38	1.66	7 125.7	4.68	5 469.0	5.16
Fosa séptica	95	4.15	203.0	0.13	113.6	0.11
Fosa séptica + filtro biológico	23	1.01	37.6	0.020	21.9	0.02
Fosa séptica + Wetland	84	3.67	197.5	0.13	119.2	0.11
Humedales (Wetland)	70	3.06	675.6	0.44	517.1	0.49
Lagunas aireadas	33	1.44	9 656.8	6.35	7 336.4	6.93
Lagunas de estabilización	722	31.57	19 645.4	12.91	14 231.0	13.43
Lodos activados	699	30.56	92 777.5	60.97	60 725.4	57.32
Primario avanzado	11	0.48	4 485.0	2.95	4 455.0	4.21
Primario o sedimentación	21	0.92	2 787.2	1.83	1 600.4	1.51
Rafa + filtro biológico	32	1.4	285.1	0.19	249.0	0.24
Rafa o Wasb	141	6.17	1 938.3	1.27	1 520.7	1.44
Rafa, Wasb + humedal	20	0.87	181.9	0.12	148.8	0.14
Reactor enzimático	60	2.62	141.2	0.09	115.6	0.11
Sedimentación + wetland	18	0.79	41.2	0.03	28.2	0.03
Tanque Imhoff	52	2.27	545.6	0.36	348.5	0.33
Tanque Imhoff + filtro biológico	14	0.61	59.5	0.04	31.9	0.03
Tanque Imhoff + -wetland	1	0.04	10.0	0.01	5.0	0.01
Terciario	6	0.26	330.0	0.22	202.1	0.19
Zanjas de oxidación	17	0.74	2 177.8	1.43	1 458.5	1.38
Otro	4	0.17	46.0	0.03	22.0	0.02
Total nacional	2 287	100	152 171.9	100	105 934.9	100

Figura 4. Resumen por Proceso.
Fuente CONAGUA Inventario 2013

Procesos de tratamiento

De manera general se puede decir que en un proceso de tratamiento de aguas residuales se tienen etapas generales que permiten identificar de los diferentes procesos que se tienen inventariados y así facilitar la elección de un tren de tratamiento o de una operación en particular, de los que se enlistan en la figura 3 la mayoría se pueden incluir dentro de los rubros que se mencionarán a continuación.

Los contaminantes presentes en las aguas residuales enlistados con anterioridad pueden eliminarse por medios físicos, químicos y biológicos. Individualmente, los métodos de tratamiento suelen clasificarse en operaciones y procesos. A lo largo del desarrollo de estos métodos de tratamiento se ha considerado importante estudiar las bases científicas de cada uno de ellos por separado, ya que los principios básicos no varían.

Operaciones unitarias

Los métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como operaciones unitarias. Los métodos físicos fueron los primeros en ser utilizados en el tratamiento de

aguas, debido a que la mayoría han evolucionado directamente de las primeras observaciones de la naturaleza efectuadas por el hombre. Algunas de las operaciones unitarias típicas son el cribado, desarenación y sedimentación.

Procesos unitarios (químicos)

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes es provocado por la adición de productos químicos o por otras reacciones químicas se conocen como procesos químicos unitarios. La precipitación, transferencia de gases, adsorción y desinfección son ejemplos de los procesos mayoritariamente utilizados para el tratamiento del agua residual, aunque el más utilizado actualmente es el proceso de oxidación biológica por lodos activados.

Desinfección

Consiste en la destrucción selectiva de los organismos patógenos que se encuentran en los efluentes de aguas residuales. En la actualidad, el método más común de desinfección del agua residual consiste en la adición de cloro.

Trenes de tratamiento

Un sistema de tratamiento está compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios diseñados para reducir ciertos constituyentes del agua residual a un nivel aceptable. Pueden hacerse muchas combinaciones de operaciones y procesos, pero a través de los años del desarrollo del tratamiento de aguas residuales, un agrupamiento general de estos ha evolucionado, gracias a su probada efectividad contra los contaminantes más importantes del agua residual. Los sistemas de tratamiento se dividen normalmente en subsistemas primario, secundario y terciario.

Pre tratamiento

Desbaste

Es una operación unitaria en la cual se emplea una rejilla que consiste en un elemento con aberturas generalmente de tamaño uniforme donde su función principal es retener los sólidos gruesos que vienen en el agua residual a través de una secuencia de unidades que modificará la distribución del tamaño de partícula con la retirada de ciertos sólidos de varios tamaños que consiste en un tamizado generalmente de las aguas a través de rejillas de un determinado tamaño de luz. Según la malla concreta se puede hablar de desbaste fino, con rejillas cuya separación es menor a 10 mm, desbaste medio, en el que las rejillas se hallan separadas entre 10 y 25 mm, y finalmente desbaste grueso o pre desbaste, con rejillas de luz superior a 5 cm. Las rejillas de desbaste son un sistema de barras paralelas cuya inclinación con la horizontal es muy variable el rango que se recomienda para esa inclinación oscila entre 60° y 80°. (Ramalho pp 92-145)

Desarenado

Esta operación tiene como objetivo eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras para evitar sedimentación en los canales y conducciones y proteger a las bombas contra las sobrecargas y abrasión posteriormente. Se eliminan también gravas y partículas minerales, así como elementos de origen orgánico, no putrescibles, esto sólo se logra con lo siguiente en un lugar donde se remansa el agua, se reduce la velocidad del agua, aumentando la sección de paso. Las partículas en suspensión, debido al mayor peso, se depositan en el fondo del desarenador.

Cribado

El cribado se refiere a la operación unitaria que se encarga de retener sólidos de cierto tamaño que arrastra el agua residual con la ayuda de una rejilla, la cual cuenta generalmente con aberturas de tamaño uniforme. Los elementos separadores en general son varillas de hierro. El emparrillado de la rejilla debe instalarse con cierta inclinación respecto al piso del canal donde es instalada y puede ser de dos tipos: de limpieza manual o de limpieza mecánica. Se recomienda instalar rejillas de limpieza manual cuando el caudal entrante es menor a $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$, en caso de que el caudal sea mayor o igual se recomiendan rejillas de limpieza mecánica. En algunos casos existe la posibilidad de instalar un desmenuzador, que es un triturador mecánico que se encarga de homogenizar la basura que recibe, para que posteriormente ésta pueda ser removida por sedimentación o flotación.

Tratamiento Primario

Los sistemas primarios son los más sencillos en la limpieza del agua y tienen “la función de preparar el agua, limpiándola de todas aquellas partículas cuyas dimensiones puedan obstruir o dificultar los procesos consecuentes”. (Rodie B. Edward y Hardenberg. Ingeniería Sanitaria. Ed. Continental S.A. de C.V. México D.F. 1987). Estos tratamientos son, el cribado o las mallas de barreras, la flotación o eliminación de grasas y la sedimentación. Algunos sistemas como es el caso de la flotación y la sedimentación, pueden ser utilizados dentro del proceso de tratamientos secundarios y no forzosamente como un método primario. Es importante que como tratamiento primario se busque remover la materia flotante que trae consigo el agua, y sobre todo si proviene de mantos superficiales, que fácilmente pueden ser contaminados por papel, plásticos grandes, troncos de madera etc., ya que si no se eliminan pueden causar daños a los mecanismos o bloquear tuberías.

Sedimentación

Se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar los sólidos en suspensión de las mismas. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión. En una planta típica de lodos activados, la sedimentación se utiliza en tres de las fases del tratamiento: 1) En los desarenadores, en los cuales la materia inorgánica (arena, a veces) se elimina del agua residual; 2) en los clarificadores o sedimentadores primarios, que preceden al reactor biológico, y en el cual los sólidos (orgánicos y otros) se separan; 3) en los clarificadores o sedimentadores secundarios, que siguen al reactor biológico, en los cuales los lodos del biológico se separan del efluente tratado. (R.S. Ramalho, Tratamiento de Aguas residuales, Editorial Reverté, pp 92-145).

Tratamientos secundarios

En esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción.

Los métodos de tratamiento en los cuales se involucra la actividad de microorganismos para la remoción o transformación de contaminantes se llaman procesos biológicos. Los métodos biológicos son utilizados para la remoción de materia biodegradable (soluble o coloidal) del agua residual. Básicamente, los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos que son liberados al medio ambiente.

En los procesos de lodos activados, los microorganismos se encuentran mezclados con la materia orgánica que digieren para crecer y sobrevivir. Cuando los microorganismos crecen y son mezclados con la agitación del aire, éstos tienden a agruparse (floculación) para formar una masa activa de microorganismos denominada lodo activado y a la mezcla de este lodo con el agua residual se llama licor mezclado. El licor mezclado fluye del tanque de aireación a un clarificador secundario donde el lodo activado sedimenta. Una porción del lodo sedimentado debe ser retornado al tanque de aireación para mantener una apropiada relación sustrato-microorganismo y permitir así una adecuada degradación de la materia orgánica.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los principales procesos biológicos utilizados, así como sus usos en el tratamiento de las aguas residuales, y para cuya mejor comprensión es necesario citar algunas definiciones básicas sobre el tratamiento biológico; tales como:

Procesos aerobios: son los procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno.
Procesos anaeróbicos: Son los procesos del tratamiento biológico que no se dan en presencia de oxígeno.

Eliminación de la DBO carbonosa: Es la conversión biológica de la materia orgánica carbonosa del agua residual en tejido celular y diversos productos gaseosos. En la conversión se supone que el nitrógeno presente en los diversos compuestos se convierte en amoníaco.

Nitrificación: Es el proceso biológico de dos etapas por el cual el amoníaco se transforma primero en nitrito y luego en nitrato.

Desnitrificación: Es el proceso biológico por el que el nitrato se convierte en gas nitrógeno y otros productos gaseosos.

Estabilización: Es el proceso biológico en el que la materia orgánica de los lodos producidos en la decantación primaria y en el tratamiento biológico del agua residual se estabiliza, generalmente por conversión en gases y en tejido celular. Según se lleve a cabo la estabilización, bajo condiciones anaerobias o aerobias, el proceso se conoce como digestión anaerobia o aerobia.

Sustrato: Es el término utilizado para representar la materia orgánica o los nutrientes que sufren una conversión o que pueden constituir un factor limitante en el tratamiento biológico.

Procesos de cultivo en suspensión: Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular, se mantienen en suspensión dentro del líquido.

Procesos de cultivo fijo: Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular, están fijados a un medio inerte tal como piedras, escorias o materiales cerámicos y plásticos, especialmente diseñados. Se conocen también como procesos de película fija.

Tabla 2. Principales métodos biológicos y sus clasificaciones.

Tipo	Nombre común	Uso
Procesos aerobios: Cultivo en suspensión	Proceso de fangos activados: Convencional (flujo pistón) Tanque de mezcla completa Aireación graduada Oxígeno puro Aireación modificada Canales de oxidación	Eliminación de la DBO carbonosa y nitrificación
	Nitrificación de cultivos en suspensión	Nitrificación
	Lagunas aireadas	Eliminación de la DBO carbonosa
	Digestión aerobia Aire convencional Oxígeno puro	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques aerobios de alta carga	Eliminación de la DBO carbonosa
Cultivo fijo	Filtros percoladores Baja carga Alta carga	Eliminación de la DBO carbonosa
	Filtros de pretratamiento	Eliminación de la DBO carbonosa
	Biodiscos	Eliminación de la DBO carbonosa
	Reactores de lecho compacto	Nitrificación
Procesos combinados	Filtros percoladores	Eliminación de la DBO carbonosa
	Fangos activados	Eliminación de la DBO carbonosa
Procesos anóxicos	Cultivo en suspensión	Desnitrificación con cultivo en suspensión
	Crecimiento fijo	Desnitrificación con cultivo fijo
Procesos anaerobios	Cultivo en suspensión	Digestión anaerobia Baja carga, una etapa Alta carga, una etapa Doble etapa
		Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa
	Cultivo fijo	Proceso anaerobio de contacto
		Eliminación DBO
	Filtro anaerobio	Desnitrificación
	Lagunas anaerobias (estanques)	Estabilización
Procesos aerobios, anóxicos o anaerobios: Cultivo en suspensión	Fase única Nitrificación-desnitrificación	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación
Crecimiento vinculado	Nitrificación-desnitrificación	Nitrificación, desnitrificación
Procesos combinados de cultivo fijo	Estanques facultativos	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques de maduración	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques anaerobios-facultativos	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques anaerobios-facultativos-aerobios	Eliminación de la DBO carbonosa

Fuente Mettcalff & Eddy, Ingeniería de las Aguas Residuales, 3° Edición, Ed. Mc. Grawhill.

Tratamiento y disposición de los Lodos

Una planta de tratamiento puede generar otro tipo de residuo sólido como los lodos producidos por la coagulación floculación, arenas, sólidos voluminosos retenidos en el tratamiento preliminar, grasas y aceites.

Algunos procesos para el tratamiento del lodo aerobio son la digestión anaerobia o aerobia, el composteo mezclado con residuos celulósicos, acondicionamiento químico, incineración y pasteurización. Como destino final podrán ser desechados en lugares especialmente acondicionados

para ello o utilizados como mejoradores de suelos (Metcalf y Eddy Inc). Para llegar a estabilizarlos y mandarlos a disposición acorde a lo especificado en la NOM-004-SEMARNAT-2002, marca los parámetros de lodos y biosólidos y sus especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para el aprovechamiento y disposición final de los mismos. La estabilización alcalina es el proceso mediante el cual se añade suficiente cal viva (Óxido de Calcio) o cal hidratada (hidróxido de calcio) o equivalentes, a la masa de lodos y biosólidos final para evitar o reducir sus efectos contaminantes al medio ambiente.

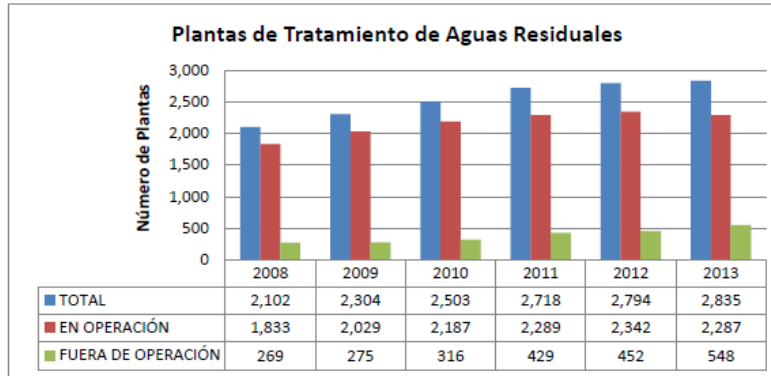
Tratamientos Terciarios

La cloración es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas. Los objetivos de la cloración se resumen como sigue:

- 1.- Desinfección. Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.
- 2.- Reducción de la DBO. El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.
- 3.- Eliminación o reducción de colores y olores. Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro. La capacidad oxidante del cloro se emplea para el control del olor y la eliminación del color en muchos tratamientos industriales.
- 4.- Oxidación de los iones metálicos. Los iones metálicos que están presentes en forma reducida se oxidan por el cloro (por ejemplo, ferroso a férrico y manganeso a mangánico).
- 5.- Oxidación de los cianuros. El cloro se emplea para oxidar los cianuros a productos inocuos. Esto se lleva a cabo en un medio alcalino con valores de pH superiores a 8.5. (Ramalho, pp 637 -641)

II. Antecedentes

De acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas Potabilizadoras y de Tratamiento de Aguas Residuales en su edición 2014, para finales del 2013 se registraron un total de 2287 plantas municipales de tratamiento en operación, con una capacidad total instalada de 152,781.88 l/s que daban tratamiento a 105,934.85 l/s. Ello implicaba tratar para el 2013 el 50.2 % del total de las aguas residuales colectadas, es decir, casi la mitad de las aguas residuales generadas por los municipios iban a parar a los cuerpos de agua en condiciones que ponían en riesgo la capacidad de resiliencia de los ecosistemas. Así como aumenta la cantidad de aguas residuales generadas y la infraestructura para tratarla existe un fenómeno que va de manera paralela, en este caso es la cantidad de plantas de tratamiento que están fuera de operación como lo muestra en la figura en la que las plantas de tratamiento de aguas aumentan pero de manera similar aumentan las que se encuentran fuera de operación.



Base de datos del Sistema de Información de Servicios Básicos del Agua, CONAGUA.

Figura 5. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Diagnóstico del Programa Operación y Mantenimiento en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales 2014).

Es de suma importancia implementar programas que permitan dar una cobertura mayor a la cantidad de aguas residuales que se generan simultáneamente seguir con los incentivos para que permita reactivar la infraestructura que se ha implementado.

Un factor que ha favorecido a que se permita el aumento de plantas fuera de operación es el requerimiento energético puesto que depende de la capacidad de la planta, tipo de tecnología, manejo de sólidos y factores locales como el clima predominante, el tipo de suelos, la topografía, etc. En este sentido, las lagunas de estabilización, ampliamente utilizadas en México contribuyen con la eficiencia energética y pueden constituir una solución adecuada para el clima de la mayor parte del país. Sin embargo este tipo de sistemas requiere de una mayor extensión territorial en comparación con otros procesos de tratamiento por lo que se debería poner de relieve la importancia de que el organismo operador cuente con la posesión legal del terreno de dimensiones considerables para la ejecución de las obras, además de considerar un diseño apropiado y asegurar su operación eficiente.

Después del inventario realizado por estado, veremos a continuación las plantas de tratamiento de aguas residuales del Distrito Federal, en esta figura se observa que las plantas operan muy por debajo de la capacidad instalada, de ahí se parte del problema de la eficiencia energética y costes de inversión, ya que como se verá muchas no operan ni al 50%.

Tabla 3. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el D.F

Municipio	Localidad	Nombre de la planta	Proceso	Capacidad instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Cuerpo receptor o reuso	Observaciones
Alvaro Obregón	Alvaro Obregón	Santa Fe	Lodos activados	280.0	80.0	Barrancas	Se incorporó en 2009
Azcapotzalco	Azcapotzalco	El Rosario	Terciario	25.0	25.0	Riego de áreas verdes llenado del lago parque Tezozomoc	Opera Sacm
Coyoacán	Coyoacán	Ciudad Universitaria "FCPS"	Lodos activados	7.5	0.8	Áreas verdes	Operada por la UNAM, servicios propios
Coyoacán	Coyoacán	Coyoacán	Lodos activados	400.0	150.0	Áreas verdes, reuso industrial y comercial en las delegaciones de Coyoacán, Xochimilco, Benito Juárez y Álvaro Obregón.	Operada por Sacm
Coyoacán	Coyoacán	Ciudad Universitaria	Lodos activados	60.0	30.0	Áreas verdes	Operada por la UNAM, servicios propios.
Cuauhtémoc	Cuauhtémoc	Tlatelolco	Lodos activados	22.0	11.0	Áreas verdes	Operada por Sacm
Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero	San Juan de Aragón	Lodos activados	500.0	161.0	Áreas verdes, llenado de lago de San Juan de Aragón y Alameda Oriente	Operada por Sacm
Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	Lodos activados	110.0	77.0	Áreas verdes e industrial	Concesionada a "Aguas Industriales de Vallejo, S.A. de C.V"
Iztacalco	Iztacalco	Cd. Deportiva	Lodos activados	230.0	97.0	Áreas verdes e industrial	Operada por Sacm
Iztacalco	Iztacalco	Iztacalco	Lodos activados	13.0	10.0	Áreas verdes	Operada por Sacm
Iztapalapa	Iztapalapa	Cerro de la Estrella	Lodos activados	4 000.0	2 020.0	Áreas verdes, industrial, zona agrícola y Chinampera de Xochimilco y Tlahuac	Operada por Sacm
Iztapalapa	Iztapalapa	Santa Martha Acatitla	Lodos activados	14.0	11.0	Áreas verdes	Inició operación en 2005
La Magdalena Contreras	La Magdalena Contreras	Magdalena Contreras	Lodos activados	50.0	50.0		
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Bosques de las Lomas	Lodos activados	55.0	16.0	Áreas verdes delegación Miguel Hidalgo	Operada por Sacm

Tabla 4. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el D.F. (Inventario CONAGUA 2013).

Municipio	Localidad	Nombre de la planta	Proceso	Capacidad instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Cuerpo receptor o reuso	Observaciones
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Chapultepec	Lodos activados	160.0	74.0	Áreas verdes de la primera y segunda sección del bosque de Chapultepec, llenado de lagos y corredor turístico de la avenida Paseos de la Reforma.	Operada por Sacm
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Campo Militar No. 1-A	Lodos activados	30.0	25.0	Áreas verdes	Operada por Sedena
Milpa Alta	San Pedro Atocpan	San Pedro Atocpan	Lodos activados	60.0	25.0	Riego agrícola	Operada por Sacm
Tláhuac	San Andrés Mixquic	San Andrés Mixquic	Primario avanzado	30.0	17.0	Riego de Hortalizas	Operada por Sacm
Tláhuac	San Juan Ixtayopan	San Juan Ixtayopan (La Lupita)	Lodos activados	15.0	12.0	Zona agrícola	Operada por Sacm
Tláhuac	San Juan Ixtayopan	El Llano	Lodos activados	250.0	57.0	Riego agrícola y recarga del acuífero	Operada por Sacm
Tláhuac	San Nicolás Tetelco	Tetelco	Lodos activados	30.0	10.0	Zona agrícola de la delegación Tláhuac, pueblo de San Nicolás Tetelco	Operada por Sacm
Tláhuac	Tláhuac	San Lorenzo	Lodos activados	225.0	41.0	Llenado de canales y recarga del acuífero	Operada por Sacm
Tlalpan	Parres (El Guarda)	Parres	Lodos activados	8.0	2.0	Áreas verdes	Operada por Sacm
Tlalpan	Tlalpan	H. Colegio Militar	Lodos activados	30.0	26.0	Áreas verdes	Requiere ampliación / operada por Sedena
Tlalpan	Tlalpan	Abasolo	Lodos activados	15.0	7.0	Áreas verdes y control de la contaminación de las barrancas del Ajusco	Operada por Sacm
Tlalpan	Tlalpan	San Miguel Xicalco	Lodos activados	8.0	5.0	Áreas verdes	Operada por Sacm
Tlalpan	Tlalpan	U. H. Pemex Picacho	Lodos activados	13.0	12.0	Áreas verdes de la delegación Tlalpan	Operada por Sacm
Xochimilco	Xochimilco	Reclusorio Sur	Lodos activados	30.0	12.0	Riego áreas verdes del reclusorio sur y río San Lucas, delegación Xochimilco	Operada por Sacm
Xochimilco	Xochimilco	San Luis Tlaxialtemalco	Lodos activados	150.0	49.0	Agrícola/Áreas verdes	Operada por Sacm
Total de plantas:				29	6 820.5	3 112.8	

Antecedentes en otras escuelas en México

Como ya se mencionó este proyecto consta en hacer una propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales para la Unidad Profesional de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional. Como marco de referencia se tienen este tipo de instalaciones en campus de diferentes universidades que abarcan tanto el sector privado como público en México. Se destacan proyectos como el del Tec de Monterrey, la Universidad Iberoamericana, UNAM y la UAM. Se describen a continuación los objetivos que impulsaron al desarrollo de tales proyectos así como algunos de sus resultados hasta ahora. Esto con aras de

- **UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA**

En 1985, la Universidad Iberoamericana, Ciudad de México, inició el proyecto de diseño y construcción de su planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de aprovechar el agua tratada para el riego de las áreas verdes de la Universidad.

Desde 1996, la Universidad cuenta con la planta de tratamiento de aguas residuales. La planta recibe el agua proveniente de las descargas de toda la Universidad y la trata para ser usada en el riego de jardines y opera bajo la combinación de principios físicos, biológicos (con tecnología aerobia de biomasa fija sumergida) y químicos.

- **TECNOLÓGICO DE MONTERREY CAMPUS SANTA FE**

Sus instalaciones constan de 132,898.55 m² y una población total superior a las 10,000 personas; esto se refleja de una manera considerable en el consumo de agua potable y otros servicios. Por lo que fue necesario el establecimiento de un proyecto de concientización sobre el uso racional de agua y, la difusión de los servicios y beneficios de la PTAR para fomentar un compromiso con la naturaleza, aprovechando racionalmente nuestros recursos naturales.

Tiene como objetivos principales el reúso de agua en sanitarios y riego de áreas verdes, la concientización sobre el uso racional del agua y la difusión de los beneficios ecológicos que se obtienen al contar con una planta de tratamiento.

Se han presentado diferentes logros como la reutilización del 100% del agua tratada que representa el 85% del agua potable utilizada en el campus, cuentan con certificación ISO 14000, recibe aproximadamente 1500 visitantes por semestre y la obtención de la Licencia Ambiental Única del D.F.

- **UAM**

Cuentan con una planta piloto de aguas residuales d 50 m³ que empexó a operar a finales de 1990. Esta planta funciona con base en un proceso biotecnológico de digestión anaerobia, el cual fue desarrollado en México por un grupo de investigadores del Instituto de Ingeniería de la UNAM y del Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo (ORSTOM). Con la puesta en marcha de esta planta, las investigaciones que estos grupos han venido desarrollando en los últimos años, se han visto retroalimentadas por diversas problemáticas generadas por su funcionamiento. Asimismo, esta planta ha brindado a la Unidad la oportunidad de participar de manera más activa y relevante en la

problemática asociada al tratamiento de las aguas en la Delegación Iztapalapa y ofrecer asesoría a la industria nacional en este campo.

Con la puesta en marcha de la planta de tratamiento de agua residuales, la Unidad cuenta ya con cuatro plantas a nivel piloto, en las cuales se investigan problemas y procesos de alto impacto tecnológico que son actualmente de gran relevancia en nuestro país.

- **UNAM**

Cuentan con dos plantas registradas ante CONAGUA ambas plantas implementan la tecnología de lodos activados, es un tren de tratamiento de tipo secundario ambas plantas tratan para servicios de la institución principalmente para el riego áreas verdes. Cuenta además con plantas a nivel piloto para el tratamiento de aguas residuales implementando nuevas tecnologías ejemplo de ello es una planta solar.

- Planta Solar para el Tratamiento Fotocatalítico de Aguas Residuales (PSTFAR)

La Planta Solar para el Tratamiento Fotocatalítico de Aguas Residuales (PSTFAR) tiene como objetivo contribuir a la implementación de una tecnología ambientalmente favorable en el tratamiento de aguas residuales por medio de la fotocatalisis heterogénea. Se busca con esta instalación, realizar investigación aplicada y desarrollo tecnológico que permitan profundizar en el conocimiento de los mecanismos de degradación de los compuestos mediante fotocatalisis, así como diseñar nuevos materiales optimizados como catalizadores. También se desarrollaran estudios, metodologías y procesos basados en simulaciones a pequeña escala con la ayuda de la radiación solar en el rango visible y ultravioleta, que una vez optimizados serán probados a mayor escala en la planta solar fotocatalítica.

De los servicios básicos que ofrece la PSTFAR esta la transferencia tecnológica a los actores implicados en la problemática del agua contaminada (Sectores: Agrícola, Industrial, Turístico y Energético). Se espera que al ir madurando la tecnología de la PSTFAR los costos asociados se reduzcan y se ofrezca un abanico de aplicaciones progresivamente más amplio.

III. Justificación

Justificación del proyecto

Existen dos vertientes principales en el desarrollo de este proyecto. La primera, el beneficio ambiental que conlleva contar con una planta de tratamiento de aguas residuales debido a la situación actual del agua y sabiendo que esta ayudará al necesario manejo integral que se le debe dar a este recurso ya que generará un ahorro en la cantidad de agua consumida para el riego de áreas verdes al sustituirla por agua tratada. Y la segunda, el beneficio social que su implementación dentro de la UPIBI generaría ya que sería de gran utilidad para realizar prácticas en muchas materias de la Unidad no sólo de la carrera de ingeniería Ambiental sino también en ingeniería Biotecnológica, generará vacantes para que los alumnos realicen su servicio social y en general fomentará una conciencia ambiental al familiarizar a toda la comunidad con el uso, la interacción y con los beneficios que esta conlleva.

De manera concreta, la planta reforzará los conocimientos relacionados con el funcionamiento general de una planta de tratamiento, obras de ingeniería civil (tuberías y descargas), normatividad aplicable (para muestreo, reúso y biosólidos), manejo de biosólidos (estabilización y disposición), manejo de

biorreactores, seguridad e higiene industrial y servirá para llevar a cabo proyectos alternos relacionados con el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Con la implementación de esta planta se busca coadyuvar en la búsqueda para elevar la preservación, eficiencia y sustentabilidad en el uso del recurso, impulsando el fortalecimiento de los futuros operadores responsables de su manejo, asignando al agua el valor que le corresponde, para mantener la calidad de vida de la población de México.

Justificación del método

Lodos Activados

En la delegación Gustavo A. Madero se cuenta en el registro 2 plantas de tratamiento de agua residual, una operada por el SACM y otra que está concesionada a una empresa “ Aguas Industriales de Vallejo S.A de C.V”, los usos que se especifican para ambas son riego de aguas verdes y para uso industrial, en el caso particular de la que se encuentra concesionada se agregó el uso de agua para la industria. Se emplea en ambos casos el proceso por lodos activados. En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de alimento para su producción. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (aireadores superficiales, sopladores, etc.) los cuales tiene doble función: 1) producir mezcla completa y 2) agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle. La Figura 14 presenta el proceso convencional de lodos activados con todas sus variables, más adelante se describe la nomenclatura para cada variable.

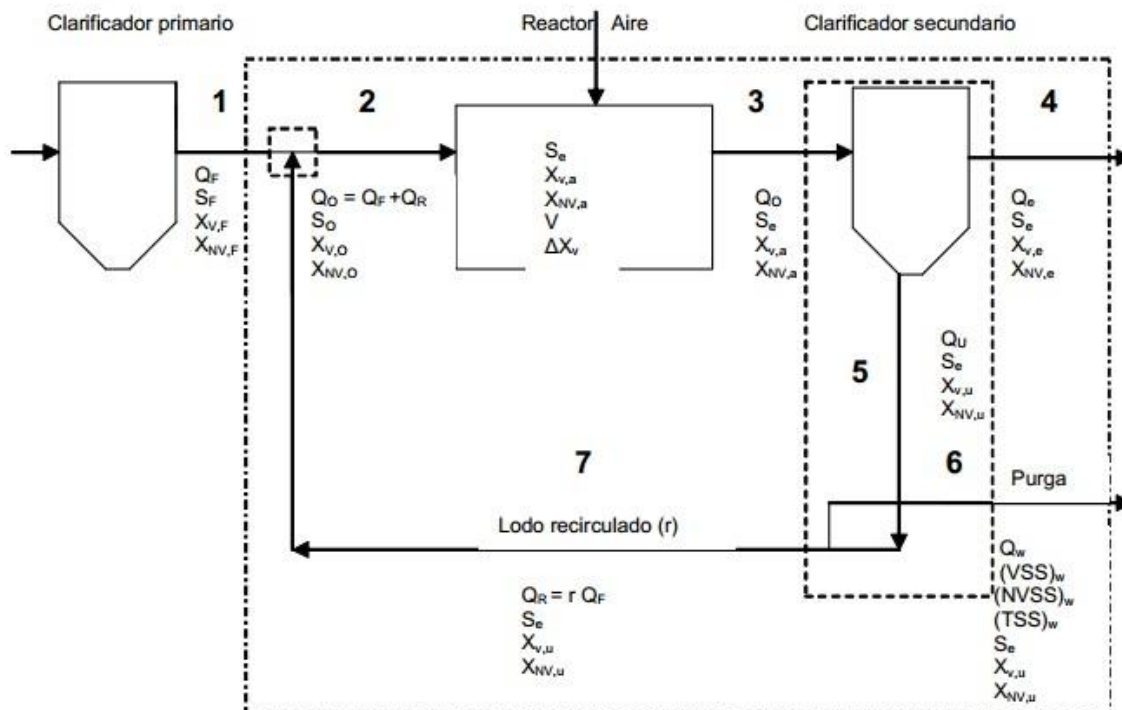


Figura 6. Proceso Convencional de lodos activados

Definición de las variables de la figura 6:

Para los sólidos en suspensión se emplean dos subíndices, por ejemplo, XV,i, XNV,i . El primer subíndice (V o NV) designa el carácter volátil o no volátil de los sólidos en suspensión, respectivamente. El segundo subíndice i se refiere a la corriente específica de que se trate:

F: alimentación inicial [corriente 1].
 o: alimentación combinada [corriente 2].
 a: efluente del reactor [corriente 3].
 e: efluente final [corriente 4].
 u: Descarga del clarificador secundario [corriente 5].

Caudales:

QF: alimentación inicial, m³ /s [corriente 1].
 QR: recirculación, m³ /s [corriente 7].
 r: relación de de recirculación, ($r = QR/QF$).
 QO: alimentación combinada, m³ /s, ($QO = QF + QR$) [corriente 2].
 Qe: efluente final, m³ /s [corriente 4].
 Qw: purga, m³ /s, ($QF = Qe + Qw$) [corriente 6].
 Qu: descarga del clarificador, m³ /s, ($Qu = QR + Qw$) [corriente 5].

Concentraciones (mg/lit) de la DBO soluble:

SF: DBO soluble de la alimentación inicial.
 SO: DBO soluble de la alimentación combinada.
 Se: DBO soluble del efluente.

Concentraciones (mg/lit) de los sólidos volátiles en suspensión (VSS):

XV,F: VSS en la alimentación inicial.
 XV,O: VSS en la alimentación combinada.
 XV,a: VSS en el reactor.
 XV,u: VSS en la descarga del clarificador secundario.
 XV,e: VSS en el efluente final.

Concentraciones (mg/lit) de los sólidos en suspensión no volátiles (NVSS):

NNV,F: NVSS en la alimentación inicial.
 NNV,O: NVSS en la alimentación combinada.
 XNV,a: NVSS en el reactor ($XNV,a = XNV,O$).
 XNV,u: NVSS en la descarga del clarificador secundario.
 XNV,e: NVSS en el efluente final.

Purga:

(VSS)w: kg/día de VSS en la purga.
 (NVSS)w: kg/día de NVSS en la purga.
 (SST)w: kg/día de SST en la purga.

Volumen del reactor. V: volumen del reactor m³.

Producción de lodos. ΔXV : kg/día.

Elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos activados.

Tanque de aeración: Estructura donde el desagüe y los microorganismos (incluyendo retorno de los lodos activados) son mezclados. Se produce reacción biológica.

Tanque sedimentador: El desagüe mezclado procedente del tanque aireador es sedimentado separando los sólidos suspendidos (lodos activados), obteniéndose un desagüe tratado clarificado.

Equipo de aireación: Inyección de oxígeno para activar las bacterias heterotróficas.

Sistema de retorno de lodos: El propósito de este sistema es la de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación. Una gran parte de sólidos biológicos sedimentables en el tanque sedimentador son retomados al tanque de aireación.

Exceso de lodos y su disposición: El exceso de lodo, debido al crecimiento bacteriano en el tanque de aireación, es eliminado, tratado y dispuesto.

Aereación extendida

En el proceso de aereación extendida incluye un canal desarenador después del canal de rejillas, con el objeto de eliminar del agua residual cruda las partículas pequeñas de arena y otros materiales que pudieran afectar bombas, válvulas y demás piezas usadas en el reactor. Debido a las características del proceso de Aereación extendida nos necesario usar el clarificador primario incluido en el proceso de lodos activados. Como se puede ver más adelante el proceso de aereación extendida es capaz de manejar mayores cargas orgánicas debido a su mayor tiempo de retención.

Existen cuatro características básicas que distinguen la aireación prolongada del proceso convencional de lodos activados.

1.- Mayor tiempo de retención en el reactor

2.- Cargas Orgánicas menores. En el proceso de aireación prolongada, la carga orgánica, expresada como en relación de sustrato a microorganismos (A/M), se encuentra normalmente comprendida entre 0.10 y 0.25 d⁻¹, frente a los valores de 0.3 a 0.7 d⁻¹, del proceso convencional de lodos activados.

3.- Mayores concentraciones de sólidos biológicos en el reactor. Estos valores varían entre 3500 y 5000 mg/L en la aireación prolongada frente a 2000 – 3000 mg/L del proceso convencional de lodos activados. La combinación de las características definidas en los párrafos anteriores (esto es, menor sustrato para una mayor población de microorganismos) producen condiciones de inanición en los microorganismos. El canibalismo resultante (condiciones de respiración endógena) reduce la producción neta de MLVSS, con lo que se consigue una disminución de la acumulación de lodos.

4.- Mayor consumo de oxígeno en el proceso de aireación prolongada. Para el tratamiento de aguas residuales urbanas, Pasveer (15) indica que para el proceso de aireación prolongada da un consumo de oxígeno aproximadamente doble del requerido para el proceso de lodos activados en convencional, concretamente 15 frente a 9 kWh/cápita y año. Con este pequeño coste adicional energético pueden

conseguirse ahorros sustanciales de capital. En el siguiente cuadro se muestra una comparación de ambos procesos.

Tabla 5. Comparación de los procesos de lodos activados convencional y de aireación prolongada, Fuente R-S Ramalho, Tratamiento de Aguas Residuales.

Características	Lodos Activados Convencional	Aireación Prolongada
Sustrato a microorganismos, kg DBO ₅ /d kg MLVSS	0.3-0.7	0.10-0.25
Concentración de MLVSS en el reactor (mg/L)	2000-3000	3500-5000
Rendimiento global de disminución de la DBO ₅ (Incluye tanto la DBO ₅ , soluble como la insoluble, %)	85-95	85-98
Características del efluente		
DBO ₅ soluble (mg/L)	10-20	10-20
DBO ₅ total (en suspensión+ coloidal+soluble) (mg/L)	15-25	20-40
Sólidos en suspensión(mg/L)	< 20	<70
Producción de lodos(kg/kg DBO ₅ consumida)	0.03	0.01
Requisitos de O ₂ (como % de la DBO ₅ , consumida)	90-95	120
Tiempo de residencia en el reactor biológico	4-8 h	15-36 h
Edad de los lodos	5-15 d	20-60 d

El proceso de aireación prolongada ha sido aplicado principalmente en el tratamiento de las aguas residuales cuando el volumen diario es menor de 8 m³/d. Estos caudales corresponden al tratamiento de las aguas negras de pequeñas comunidades, urbanizaciones, áreas de recreo y algunos residuos industriales.

El proceso general para una unidad de aireación prolongada convencional se muestra en la figura

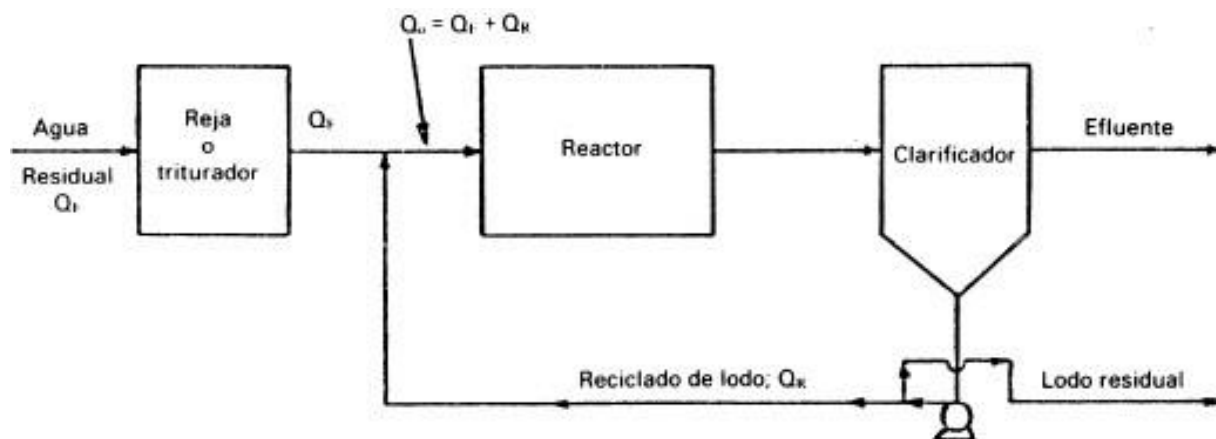


Figura 7. Proceso general para una unidad de aireación prolongada

Lagunas de estabilización

En el inventario de tipos de procesos que se aplican mayormente en México está en segundo lugar las lagunas de estabilización que consiste en una excavación en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros

organismos. Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza en forma espontánea un proceso de auto purificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico. En esta simple descripción se establecen los aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua que se lleva a cabo en las lagunas de estabilización:

- Es un proceso natural de autodepuración
- La estabilización de materia orgánica se realiza mediante la acción simbiótica de bacterias, algas, y otros organismos superiores.
- Se presentan, procesos físicos de remoción de materia suspendida.
- Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua que, entre otros aspectos, mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables y, en algunos casos, nutrientes.
- Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas, residuales.

Por lo tanto, las lagunas de estabilización se consideran y se pueden proyectarse como un método de tratamiento de la materia orgánica y de remoción de los patógenos presentes en el agua residual. Dependiendo, de las condiciones del problema por resolver las lagunas de estabilización pueden utilizarse solas, combinadas con otros procesos de tratamiento biológico, o bien, entre ellas mismas (sistemas lagunares de tratamiento). Racault, et al, (1993) indican que el 60% de los sistemas que utilizan este método está compuestas por tres lagunas operando en serie y el 35%, de dos. Es frecuente el uso de lagunas para complementar ("pulir") el tratamiento biológico de sistemas de lodos activados y filtros percoladores, por ejemplo.

Las lagunas y estanques de estabilización pueden clasificarse de diversas formas, ya sea por:

- El tipo de la reacción biológica predominante,
- La duración y frecuencia de la descarga,
- La extensión de la laguna,
- La presencia o ausencia de equipo de aeración, y
- El tipo de células presentes.

La forma más adecuada de clasificar a las lagunas es en función de la reacción biológica dominante. La estabilización de la materia orgánica se realiza ya sea mediante microorganismos que la metabolizan en presencia de oxígeno (aerobios), o bien, por microorganismos fermentativos que lo hacen en ausencia de oxígeno (anaerobios). En este sentido se distinguen los siguientes tres tipos de lagunas:

1. Aerobias. Donde la estabilización de la materia orgánica soluble y la conversión de los nutrientes se realizan en presencia de oxígeno disuelto, el cual se suministra en forma natural o artificial.
2. Anaerobias. La depuración se realiza en ausencia de oxígeno libre (condiciones anóxicas) y/o combinado (anaerobia).

3. Facultativas. La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo tanto en condiciones aerobias como anaerobias. Las primeras se mantienen en él, estrato superior de la laguna, mientras que en el inferior, se realiza la degradación anaerobia en ausencia de oxígeno. En algunos casos puede haber aeración artificial en parte de ellas.

En general, cualquier tipo de laguna se puede utilizar para tratar aguas residuales domésticas. Las lagunas aeradas se utilizan normalmente para tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas de alta carga, mientras que las no aeradas se emplean casi en su totalidad para tratar residuos municipales. Las anaerobias se utilizan para tratamiento de residuos líquidos de origen industrial con elevado contenido de materia orgánica, casi siempre se emplean como el primer paso de un sistema lagunar con alta carga. El término lagunas de maduración o de pulimento se aplica a aquellas lagunas aerobias ubicadas como el último paso de los sistemas lagunares en serie o a las unidades que mejoran el efluente de otros sistemas de tratamiento biológico. Este tipo de laguna se diseña primordialmente para remover microorganismos patógenos sin necesidad de adicionar agentes químicos desinfectantes. También, se utilizan para nitrificar efluentes.

Las ventajas asociadas con el uso de las lagunas de estabilización como sistema de tratamiento son las siguientes (Shelef y Kanarek, 1995):

- Bajo consumo de energía y costo de operación.
- Bajo capital de inversión, especialmente en los costos de construcción.
- Esquemas sencillos de flujo.
- Equipo y accesorios simples y de uso común (número mínimo de tuberías, bombas y aeradores).
- Operación y mantenimiento, simple. No requieren equipos de alta tecnología y, por tanto, no es necesario personal calificado para estas labores.
- Remoción eficiente de bacterias patógenas, protozoarios y huevos de helmintos.
- Amortiguamiento de picos hidráulicos, de cargas orgánicas y de compuestos tóxicos.
- Disposición del efluente por evaporación, infiltración en suelo o riego.
- En algunos casos, remoción de nutrientes.
- Posibilidad de establecer un sistema de cultivo de algas proteicas para la producción de animales (empleando lagunas de alta tasa).
- Empleo como tanque de regulación de agua de lluvia o de almacenamiento del efluente para reúso.

Las principales desventajas son:

- Altos requerimientos de Área.
- Efluente con elevado contenido de algas que al ser descargado en los cuerpos de agua es objetado, generando grandes controversias por su calidad proteica y su potencial de taponamiento del suelo, si se usa en riego.
- Su funcionamiento depende de las condiciones ambientales tales como la temperatura, la irradiación solar, la velocidad del viento, etc., que son propiedades aleatorias.
- Generación de, olores desagradables y deterioro de la calidad del efluente por sobrecargas de contaminantes, bajo ciertas condiciones climáticas
- Contaminación de acuíferos por infiltración, particularmente en lagunas construidas sobre suelos arenosos.

- Pérdidas de agua debido a la evaporación e infiltración, que en zonas de escasez pueden ser importantes.

Tratamiento anaerobio

El otro tipo que aparecen en operación destacan en número son los tratamientos anaerobios de aguas residuales con reactores de tipo WASB, generalmente este tipo de tratamientos se basan en la digestión anaerobia es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO₂, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas.

La digestión anaerobia es un proceso que se produce en ambientes naturales como los pantanos, en zonas anegadas para el cultivo de arroz, en los sedimentos de lagos y mares, en las zonas anóxicas del suelo, en fuentes de aguas termales sulfurosas y en el tracto digestivo de los rumiantes (Díaz-Báez, 2002).

Por lo que el tratamiento anaerobio: La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido.

La digestión anaerobia ha sido utilizada ampliamente para estabilizar lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, y en una menor proporción, pero con una tendencia de aumento significativo, es utilizada para el tratamiento de aguas residuales diluidas como es el caso de las aguas residuales domésticas, con bastante éxito en zonas de clima tropical, y aguas residuales concentradas como las industriales (destilerías, cervecerías, malherías, papeleras, alimentos, etc.).

Limitaciones asociadas a la digestión anaerobia.

Arranque de reactores anaerobios: una característica particular de los microorganismos anaerobios es su baja tasa de crecimiento; por lo tanto, al iniciar el proceso de arranque del reactor se requiere de un periodo de tiempo que dependerá de la calidad y cantidad de inóculo utilizado. Sin embargo, en los casos en que no se cuenta con inóculos adecuados, esta etapa se puede prolongar, incluso hasta condiciones críticas en las que nunca alcanza la estabilidad. Por ello, el arranque de reactores anaerobios requiere contar con herramientas apropiadas para la obtención y evaluación de los inóculos más eficientes.

Postratamientos: la digestión anaerobia es un proceso eficiente para la remoción de materia orgánica, pero tiene poco efecto sobre la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo), y sobre la remoción de patógenos es apenas parcial. Dependiendo de la disposición final del efluente y de la legislación local sobre la calidad mínima de vertimientos, puede existir la necesidad de postratamientos para remover la concentración residual de la materia orgánica y de sólidos suspendidos, y para reducir la concentración de nutrientes y patógenos. Los recursos tecnológicos más utilizados incluyen procesos biológicos como Lodos Activados, Filtros Percoladores, Lagunas de Oxidación, Humedales y Plantas Acuáticas; también

pueden ser utilizados procesos físicos, químicos o fisicoquímicos como Filtración en Arena, Desinfección y Floculación Coagulación (van Haandel, 1994).

Elección del método

La revisión por los métodos que se tienen registrados en el inventario, por orden en prioridad se dio a los que se emplean con frecuencia, las ventajas y desventajas a fin de seleccionar el que se adecua a las necesidades de la UPIBI, puesto que la unidad se encarga de formar ingenieros para el país, el inventario indica que es de necesidad aprender los sistemas de lodos activados, una variación de éste método es la aireación prolongada, específicamente en el pretratamiento así que los métodos por lodos activados y aireación prolongada llevan la ventaja en este aspecto de cubrir la necesidad por la demanda que se tiene inventariada a fin de formar íntegramente a sus alumnos.

En la revisión técnica las lagunas de estabilización pese a que son económicas su gran desventaja es que limita la aplicación en la Unidad ya que requieren un área grande y la infraestructura nos descarta esta opción. Pese a que los tratamientos anaerobios y sus condiciones nos permitan un ahorro en cuestión de bombeo y tener un ahorro en capital, es la condición postratamiento la que la posiciona como descartada pues para la reducción de patógenos no es tan eficaz este tipo de tratamiento y se requiere un método que a priori elimine el residual de materia orgánica y sólidos, entonces implica la implementación de un proceso adicional, por lo que el tren de tratamiento por lodos convencionales y la aireación extendida son técnicas aptas para que se desarrolle un proyecto de ésta naturaleza en la UPIBI. En la tabla 5 donde se comparan ambos procesos la aireación prolongada nos brinda una mayor cantidad de tratamiento en el reactor con casi el doble de la concentración de los sólidos suspendidos en el licor mezclado, por el arreglo de los procesos se reduce la producción de lodos por kg de DBO_5 en una proporción 3 veces menor para la aireación prolongada, por lo que es un proceso que su generación de residuos es menor, por lo que para en términos de disposición y tratamiento de lodos este proceso resulta conveniente, pues se reduciría en costos de disposición y tratamiento de este tipo de residuos como son los lodos. La carga que maneja de materia orgánica es mayor, puesto que para la aireación prolongada o extendida maneja concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado de 3000-5000 mg/L en el reactor, así que por la carga que se maneja en estos tipos de procesos nos permite operar a tasas de sustrato mayores, con una cantidad de eficiencia alta de remoción, puesto que a cargas altas en el reactor, se tiene mayor remoción de los contaminantes, puesto que la tasa de producción de residuos del proceso es 3 veces menor comparada con el método convencional.

En términos generales es conveniente por las necesidades de la UPIBI una planta de tratamiento de aguas residuales por Aireación Prolongada.

IV. Hipótesis

Con base en la caracterización del agua residual generada dentro de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología se determinará que los parámetros rebasan los límites máximos permisibles de la NOM-003-SEMARNAT-1997 para reúso en servicios al público con contacto directo y se diseñará el tren de tratamiento adecuado para que el efluente cumpla con lo establecido en la normatividad y se le pueda dar un reúso dentro de las Unidad.

V. Objetivo General

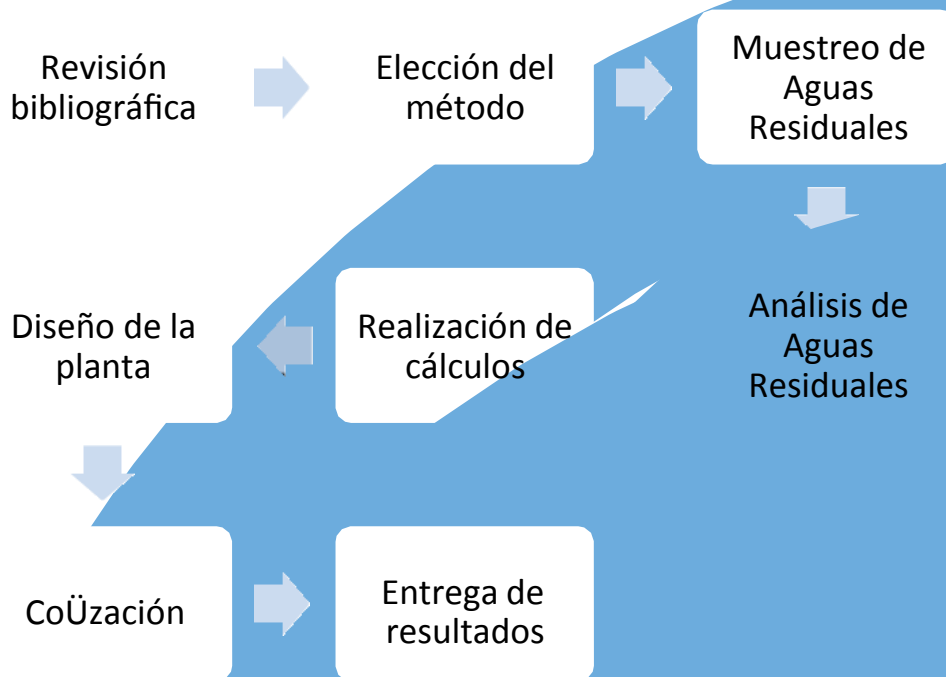
Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales que se adapte a las necesidades de la UPIBI y cuyo efluente cumpla con la normatividad vigente (NOM-003-SEMARNAT-1997) para que sea reús en servicios al público. Esto, con el fin de alcanzar beneficios ambientales, sociales y económicos.

VI. Objetivos Específicos

- Hacer la caracterización del agua residual actualmente descargada al alcantarillado para los parámetros establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997.
- Analizar alternativas viables con el propósito de evaluar técnica y económicamente las opciones más adecuadas de tratamiento para el agua de la UPIBI.
- Elaborar una propuesta de diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Proponer el presupuesto requerido para la construcción de la PTAR.

VII. Metodología

En este apartado se hablará de los materiales y métodos que se necesitaron para llevar a cabo este proyecto, como son las normas oficiales mexicanas, las normas mexicanas, etc. A continuación se presenta un resumen del trabajo realizado en este proyecto.



Plan de muestreo y muestreo

Para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales es necesario conocer el grado de contaminación que el agua presenta y para esto es indispensable llevar a cabo un muestreo que cumpla con diferentes características como son: que la muestra sea representativa del proceso generador de la descarga, que se identifiquen las descargas principales y que el volumen sea suficiente para realizar los análisis subsecuentes. Para llevar a cabo el muestreo es preciso basarse en las normas NMX-AA-003-

1980 en donde se especifica el procedimiento y la identificación de las muestras; y la NOM-002-SEMARNAT-1996 en donde se especifica la frecuencia de muestreo y el cálculo para las muestras simples.

Existen dos tipos diferentes de muestras: las muestras simples y las muestras compuestas. De acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996 la muestra simple es aquella que se toma en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativamente y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generen la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, el volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo; mientras que la muestra compuesta es aquella que resulte de mezclar el número de muestras simples.

Se identificaron dos descargas principales en la UPIBI y se realizaron los cálculos para el número de muestras simples y la frecuencia de muestreo de la manera siguiente:

Para calcular las horas por día que opera el proceso generador de la descarga se estimó que las clases en un día normal en la Unidad comienzan a las 7 am y terminan aproximadamente a las 10 pm lo que representa un total de 15 horas de descarga por lo que en la tabla siguiente se muestra el número de muestras simples y los intervalos de muestreo.

Tabla 6. Número de muestras simples por tiempo de operación del generador con base en la NOM-002-SEMARNAT-1996.

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo máximo entre toma de muestras (horas)	
		Mínimo	Máximo
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3

Tabla 7. Horarios de toma de muestra (simple y compuesta) en las descargas de la UPIBI.

No. de muestra	Hora		Volumen (ml)	Tipo de muestra
	Descarga 1	Descarga 2		
1	7:00	7:15	500	Simple
2	10:00	10:15	500	
3	13:00	13:15	500	
4	16:00	16:15	500	
5	19:00	19:15	500	
6	22:00	22:15	500	
Compuesta			3000	Compuesta

Para conformar una muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma y se determina mediante:

$$VM_i = VMC * \frac{Qi}{Qt}$$

Donde:

VMS_i= volumen de cada una de las muestras simples "i", litros

VMC= volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros

Q_i= caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo

Q_t= sumatoria Q_i hasta Q_n, litros por segundo

Adicionalmente fue necesario realizar la medición del caudal en las dos descargas previamente identificadas para conocer el caudal a tratar y por ende el dimensionamiento de los equipos y de los procesos del tren de tratamiento ya que este es el insumo principal de la planta.

Parámetros a determinar

... pH

La concentración de ion hidronio es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para las aguas naturales como residuales. El intervalo de concentración adecuado para la apropiada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidronio inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos y el efluente puede modificar la concentración de ion hidronio en las aguas naturales si esta no se modifica antes de la evacuación de las aguas. La determinación del pH se realiza en campo, es decir en la muestra simple e instantánea utilizando un potenciómetro portátil.

El rango permisible de pH es de 5.5 y 10 determinado para cada una de las muestras simples. Ninguna debe salirse del intervalo

... Demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅)

Estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos.

... Grasas y aceites

Las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. En la determinación de grasas y aceites no se mide una sustancia específica, sino un grupo de sustancias con unas mismas características fisicoquímicas (solubilidad). Entonces la determinación de grasas y aceites incluye ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia susceptible de ser extraída con hexano. También es posible la extracción de otras sustancias principalmente aceites minerales como el queroseno, aceites lubricantes y aceites de materiales empleados en la construcción de firmes carreteras.

... Sólidos Totales

Analíticamente se define el contenido total de sólidos como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103°C a 105°C. No se define sólido aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos

totales se pueden clasificar en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. Para este proceso de separación suele emplearse un filtro de fibra de vidrio con un tamaño de poro nominal de 1.2 µm, aunque también suele emplearse filtro de membrana de policarbonato.

...**Coliformes Fecales**

Son organismo capaces de crecer aeróbicamente ya sea a 308 o 310 K en un medio de cultivo líquido lactosado con producción de ácido y gas dentro de un periodo de 48 h. El análisis de muestras de aguas para determinar la presencia de estos microorganismos que habitan normalmente en el intestino humano y de otros animales de sangre caliente, da una indicación de la calidad de un cuerpo de agua ya que estos microorganismos son un riesgo para la salud pública al estar en contacto con el ser humano.

VIII. Resultados y Análisis

Resultados de campo

Tabla 8. Resultados de los flujos de las descargas de la UPIBI tomados en campo.

Flujos

Descarga 1				Descarga 2			
Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Caudal (l/s)	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Caudal (l/s)
1	50	0.0196	1.037	0.5	6.11	0.0818	1.17
	22	0.0454			5	0.1	
	55	0.0181			6.66	0.075	
	60	0.0166			7.2	0.0694	
	55	0.0181			6.8	0.0735	
	70	0.0142			7.2	0.0694	
Promedio		0.022		Promedio		0.0781	

Temperatura, conductividad y pH

Tabla 9. Resultados del muestreo en la descarga 1 (Temperatura, conductividad y pH).

Muestra	pH	Conductividad (mS)	Temperatura °C
1	9.05	1.11	20.6
2	9.05	1.17	22.4
3	9.12	1.23	22.2
4	8.46	1.19	22
5	8.51	1.15	22
Promedio	8.838	1.17	21.84

Tabla 10. Resultados del muestreo en la descarga 1 (Temperatura, conductividad y pH).

Muestra	pH	Conductividad (mS)	Temperatura °C
1	9	1.13	22.3
2	9.25	1.19	22.8
3	9.34	1.17	23
4	8.83	1.4	24.1
5	8.84	1.15	23.7
Promedio	9.052	1.208	23.18

Resultados de los análisis realizados en el laboratorio

Para estas determinaciones se contó con el apoyo del laboratorio A. R. Laboratorios, S.A. de C.V ubicado en Lago Chápala Mz 35, Lt 52. Colonia Llano de los Báez, Ecatepec de Morelos, Estado de México. Y los resultados se enlistan a continuación.

Tabla 11. Resultados del análisis de la DBO.

Muestra	Concentración	DBO (ppm)
Descarga 1	0.5	4.61
	1	5.25
	2	5.28
Descarga 2	0.5	5.33
	1	5.27
	2	5.38
Control	1	5.37
	3	5.42
	5	5.46
Blanco	-	5.57

Tabla 12. Peso de muestras empleadas para la determinación de sólidos totales y de grasas y aceites

Muestra	Volumen recuperado (ml)	Peso matraz (g)	Peso crisoles (g)
Blanco	910	(#3) 106.7490	24.9182
Control	900	(#5) 105.9079	30.3733
Descarga 1	910	(#28) 105.0630	25.1220
Descarga 2	910	(#6) 97.7817	30.7649

Tabla 13. Comparación de resultados de la caracterización (DBO5, SST y Grasas y aceites) con lo requerido por la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Tipo de reuso	NOM-003-SEMARNAT-1997			Descarga 1			Descarga 2		
	Grasas y aceites mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l	Grasas y aceites mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l	Grasas y aceites mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l
Contacto directo	15	20	20	68	386	140	77	400	260
Indirecto u ocasional	15	30	30						

Como se puede observar en la tabla anterior los resultados obtenidos por los análisis realizados en el laboratorio rebasan de manera considerable a los límites máximos permisibles establecidos en la norma 003 para reúso con contacto directo y reúso con contacto indirecto u ocasional. En el caso de grasas y aceites el contenido en la descarga 1 es 4.5 veces el establecido por la norma y para la descarga 2 es 5.1 veces el valor; para DBO₅ los valores son 19.3 y 20 veces el límite máximo permisible para la descarga 1 y 2 respectivamente, y para SST los valores son 7 y 13 veces el límite para la descarga 1 y 2 respectivamente.

Adicionalmente se llevaron a cabo los análisis microbiológicos en las instalaciones de la Unidad teniendo los siguientes resultados.

Tabla 14. Resultados del NMP en contraste con lo requerido por la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Tipo de reúso	NOM-003-SEMARNAT-1997		Descarga 1		Descarga 2	
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Coliformes fecales NMP/100 ml	Coliformes totales NMP/100 ml	Coliformes fecales NMP/100 ml	Coliformes totales NMP/100 ml
Contacto directo	240	Menor o igual a 1	=<24 00	240	1600	=<24 00
Indirecto u ocasional	1000	Menor o igual a 5				

IX. Diseño

Canal de entrada

Es el canal por donde llegarán las aguas residuales a la planta de tratamiento, es importante diseñarlo con un tiempo de retención mínimo de 5 segundos para evitar acumulaciones de agua, por lo tanto el canal tiene un volumen de 0.56 m³, un área de 0.186 m², un ancho de 0.3 m y un largo de 3 m.

Pretratamiento

Para proteger las tuberías, válvulas y bombas es necesario contar con un proceso físico de separación de sólidos de tamaño grande. Se colocarán rejillas en el canal de entrada con una separación entre barras de 25 mm, un espesor de barra de 5 mm, una velocidad de 0.6147 m/s y un total de 10 barras. Estas rejillas son de limpieza manual y se recomienda que se depuren mínimo una vez al día.

Cárcamo de bombeo

El cárcamo a donde llegará el agua después del pretratamiento tendrá un tiempo de retención de 4 horas, un volumen de 31.68 m³, un área de 31.68 m², un ancho de 3.9799 m y un largo de 7.9598 m.

Reactor biológico

El reactor biológico es el equipo más importante de la planta ya que en él ocurre la degradación aerobia de la materia orgánica presente en el agua llevada a cabo por los microorganismos, si las condiciones de aire, temperatura y pH son las adecuadas se puede alcanzar una eficiencia de remoción del 95%. Se calcularon sus dimensiones de dos formas, ambas con un tiempo de retención de 12 horas. El primer

reactor tiene un volumen con un factor de seguridad del 20% de 118.7812 m³, una altura útil de 3.5 m, un área de 33.9375 m² y un diámetro de 6.5734 m. Mientras que el segundo reactor tiene un volumen de 116.5906 m³, un área de 33.3116 m² y un diámetro de 6.5125 m.

Con los resultados de DBO₅ obtenidos experimentalmente se necesita una eficiencia del 95% para estar dentro de los límites máximos permisibles.

Tabla 15. Eficiencias de remoción de DBO₅ requeridas para las descargas de la unidad.

Descarga	DBO ₅ LMP (mg/l)	DBO ₅ Valor real (mg/l)	Eficiencia	DBO ₅ efluente final (mg/l)
1	20	386	95%	19.3
2	20	400	95%	20

Requerimientos de oxígeno

Con una concentración de 400 mgDBO/l y un gasto de 190.08 m³/día, se tiene una carga orgánica de 76.032 KgDBO/día, se tomó un requerimiento de 272 m³ de aire por kg de DBO removida, por lo tanto se necesitan 20 680 m³ de aire al día o 14.3311 m³ de aire por minuto. El CFM obtenido con un factor de seguridad por perdidas en tuberías y difusores es de 760.7626 ft³ de aire por minuto. Se requieren 91.2384 Kg de oxígeno al día.

Sedimentador

El objetivo de este tanque es separar las partículas pesadas del agua mediante paletas para depositarlas en una tolva y recircular una parte de ellos al reactor biológico. Con un tiempo de retención de 4 horas, un volumen con un factor de seguridad del 20% de 39.6 m³, una altura de 2.5 m, un área de 15.48 m², un diámetro de 4.4908 m si fuera circular o un ancho de 2.8142 m y un largo de 5.6284 si fuera rectangular.

Tanque de cloración

El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento de aguas residuales, ya que destruye a los microorganismos patógenos oxidando el material celular. El cloro puede ser suministrado de muchas formas que incluyen el gas cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorados en forma sólida o líquida. Con un tiempo de retención de 0.5 horas, un volumen de 4.942 m³, una altura de 0.5 m, un área de 9.8841, un diámetro de 3.5475 m si fuera circular o un ancho de 2.223 m y un largo de 4.4461 m si el tanque fuera rectangular.

Cisterna de agua tratada

Es en donde se le dará un almacenamiento temporal al agua ya tratada al final del tren, se diseñó con un tiempo de retención de 12 horas tiene un volumen de 118.8 m³, una altura de 3.5 m, un área de 33.9428 m², un diámetro de 6.5739 m si fuera circular o un ancho de 4.1199 m y un largo de 8.2399 m si fuera rectangular.

Manejo de lodos y biosólidos

Con base en la NOM-004-SEMARNAT-2002 los lodos producidos por la planta de tratamiento pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando presenten un informe de resultados de las pruebas que realicen los laboratorios acreditados en donde se demuestre que no exceden los parámetros establecidos para ninguna de las características de peligrosidad indicadas en la NOM-052-SEMARNAT-

2005. Cabe mencionar que estos análisis deben ser realizados antes de que los lodos se sometan a un proceso de estabilización.

La estabilización se refiere a cualquier proceso que se le puede aplicar a los lodos para acondicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final para atenuar o eliminar los efectos nocivos que puedan presentar y para esto se puede tomar en cuenta el anexo 1 de la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Una vez realizadas las pruebas y conociendo las concentraciones de contaminantes de los lodos se puede determinar qué tipo de lodo es y el tipo de aprovechamiento que se le puede asignar.

Tabla 16. Clasificaciones de loa tipos de lodos y posible aprovechamiento como la marca la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	- Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación - Los establecidos para clase B y C
Excelente o bueno	B	- Uso urbanos sin contacto público directo durante su aplicación - Los establecidos para clase C
Excelente o bueno	C	- Usos forestales -Mejoramiento de suelos - Usos agrícolas

Para un agua residual cualquiera donde se cuente con el rendimiento observado ($Y_1''_{\#}$) valor que es variable con la cantidad de sustrato con que venga definido ya sea DBO, bDQO o DQO. La producción de estos residuos será aproximadamente de 58 kg. Para mantener la carga en el reactor se recomienda una relación de recirculación de 0.75-1.5 (Metcalf y Eddy), el valor que se recirculará será de 1, lo que indica que será de 1.1 lps acorde al influente que entrará a la planta, que es el valor promedio del gasto de descargas que la unidad produce.

Delimitación del área

Con las dimensiones de los equipos anteriormente calculadas se tiene que es necesaria un área de aproximadamente 40 m de largo por 20 m de ancho y el único lugar en la Unidad que cuenta con este espacio libre es en la parte posterior de la Unidad, a un lado de las instalaciones del CIEMAD y a un costado de planta piloto. A continuación se muestra la ubicación en un mapa digital:

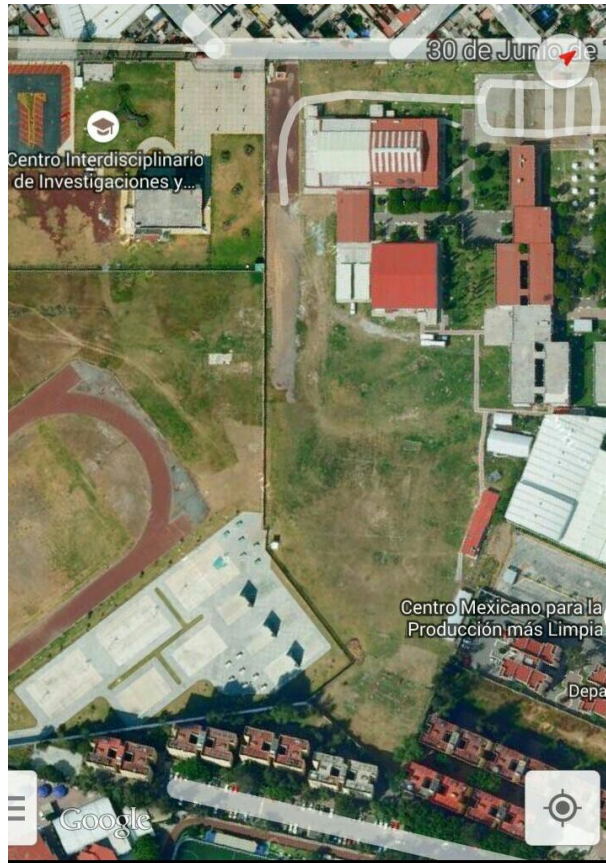


Figura 8. Propuesta de Ubicación de la PTAR de laUPIBI (Mapa digital extraído del Sistema de Información Geográfica (GoogleMaps)).

En la tabla 18 se muestra que el área requerida de acorde a las dimensiones de los equipos es de 95m^2 por lo que se sugiere la ubicación en esa área, para establecer la planta de tratamiento de aguas residuales.

X. Costos

Se realizó un análisis de los costos directos que tendría implementar la planta de tratamiento de aguas residuales en la Unidad utilizando estimaciones por índices.

Se tomaron en cuenta diferentes conceptos como son el proyecto ejecutivo (3%), la construcción de la obra civil (40%), el equipo y la obra electromecánica (35%), las obras complementarias (12%) y la capacitación y puesta en marcha (10%). Los porcentajes se refieren a la parte del importe que representa cada concepto.

Tabla 17. Costos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UPIBI

CONCEPTO	% DEL IMPORTE	COSTO	
PROYECTO EJECUTIVO	3	\$ 36,734.17	\$ 36,734.17
CONSTRUCCION OBRA CIVIL	40	\$ 489,788.89	\$ 489,788.89
Limpieza, despalme, trazo y nivelación del terreno	1	\$ 12,244.72	
Pretratamiento (desarenador, tanque de homogenización, etc.)	6	\$ 73,468.33	
Reactores biológicos	15	\$ 183,670.83	
Sedimentadores	6	\$ 73,468.33	
Sistema de desinfección	2	\$ 24,489.44	
Cisterna de agua tratada e instalaciones para el tratamiento de subproductos	10	\$ 122,447.22	
EQUIPO Y OBRA ELECTROMECAÁNICA	35	\$ 428,565.28	\$ 428,565.28
Suministro de equipo electromecánico (bombas, sopladores, tubería de aireación, tuberías de alimentación, equipo de difusión de aire, medidor de flujo, equipo de cloración, tablero de control, conductores eléctricos, etc.)	25	\$ 306,118.06	
Instalación del equipo electromecánico	10	\$ 122,447.22	
OBRAS COMPLEMENTARIAS	12	\$ 146,936.67	\$ 146,936.67
Caseta de operación.	5	\$ 61,223.61	
Banqueta perimetral en pretratamiento, cárcamo de homogenización, reactores, sedimentadores, cisterna de almacenamiento y caseta de operación.	3	\$ 36,734.17	
Cercado perimetral, alumbrado exterior con fotocelda	3	\$ 36,734.17	
Colocación de pasto, toma de agua y manguera para riego, limpieza general y retiro de escombros fuera de las instalaciones.	1	\$ 12,244.72	
CAPACITACIÓN Y PUESTA EN MARCHA	10	\$ 122,447.22	\$ 122,447.22
Entrega de tres manuales de operación y mantenimiento y 2 carpetas de argollas conteniendo: Proyecto ejecutivo, manual de operación y mantenimiento, características de los equipos instalados y garantías de los mismos	1	\$ 12,244.72	
Capacitación del personal	1	\$ 12,244.72	
Puesta en marcha, estabilización y operación por 30 días.	5	\$ 61,223.61	
Equipo de laboratorio para determinar cloro residual, sólidos sedimentables, pH y temperatura, un bote de basura de plástico de 50 litros, un juego de botas de hule y un juego de guantes	1	\$ 12,244.72	
Análisis químicos	2	\$ 24,489.44	
TOTAL (COSTO DIRECTO)*			\$ 1,224,472.23

Así pues se tendría una inversión de aproximadamente 1.3 millones de pesos de forma directa y un costo de aproximadamente 1.6 millones de pesos si se hacen consideraciones por traslado de material y actividades afines.

XI. Conclusiones

- Es necesario que se le aplique un tratamiento al agua residual generada en la UPIBI ya que gracias a la caracterización que se le dio se puede observar que está fuera de los límites máximos permisibles que marca la normatividad aplicable (NOM-003-SEMARNAT-1997) y no puede ser reutilizada en ese estado ya que afectaría a la salud humana.

- Ser realizó el diseño del tren de tratamiento por aireación extendida para laUPIBI con el cual se espera cubrir la demanda de agua potable utilizada actualmente en riego de áreas verdes y posteriormente en usos sanitarios una que vez que se adecue la infraestructura de la Unidad.
- La planta de tratamiento diseñada consiste en un canal con rejillas, el cárcamo de bombeo, el reactor biológico, el clarificador, el tanque de cloración y la cisterna en donde el agua se almacenará temporalmente.
- El costo total de inversión para la implementación de la planta es de 1.6 millones de pesos, calculados por índices.
- Ante la problemática actual de contaminación de agua que se vive en el Distrito Federal es necesario realizar proyectos con técnicas efectivas para el tratamiento de aguas residuales.
- Los beneficios que traerá la planta de tratamiento a laUPIBI son importantes ya que con esta se podrán aplicar los conocimientos adquiridos en las clases, el consumo de agua potable será disminuido de gran manera y ayudará en general a la situación respecto al manejo del recurso hídrico.
- El área requerida para la construcción de la planta es de 95m².

XII. Recomendaciones

- Específicamente, para las determinaciones microbiológicas de coliformes fecales y totales es recomendable trabajar mayor número de diluciones para que exista menor incertidumbre y se tenga una mejor estimación en la cantidad de microorganismos de este tipo.
- En caso de que se cuente con los recursos necesarios se sugiere que se lleven a cabo más de una determinación de parámetros DBO₅, grasas y aceites y SST ya que estos pueden variar de un día a otro y así se puedan realizar los cálculos con promedios mensuales.
- Se sugiere registrar el proyecto ante la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del Instituto Politécnico Nacional ya que este organismo otorga apoyos económicos a los proyectos de este tipo.
- El proyecto se basa en como la reutilización de agua tratada disminuye la cantidad de agua potable utilizada en la unidad, sin embargo, en época de lluvias el agua se combina en los sistemas de alcantarillado por lo que no se puede estimar un volumen de agua exclusivamente potable que va a dar al alcantarillado, por lo que se recomienda que se separen ambas tuberías.
- Se recomienda seguir de cerca las innovaciones tecnológicas en cuanto a tratamiento de aguas se refiere para modificar este proyecto cuando se encuentren tecnologías más eficaces a la elegida en esta ocasión.

- Adicionalmente se recomienda que se le dé seguimiento a este proyecto para complementarlo con otros métodos de cálculo de los parámetros de diseño para comprobar los métodos eurísticos utilizados en este trabajo.
- Se propone el diseño de ésta planta que opere de manera modular, que se constituirá de 2 módulos permitiendo que pueda tener mantenimiento el reactor, y se continúe con el tratamiento y la planta pueda operar continuamente, brindándole así el servicio para que funcione en óptimas condiciones.

XIII. Referencias

Metcalf & Eddy, Ingeniería de las Aguas Residuales, 3° Edición, Ed. Mc. Grawhill.

R.S. Ramalho, Tratamiento de Aguas residuales, Editorial Reverté, pp 92-145 , pp 637-641.

Ley de Aguas Nacionales

Reglamento de Aguas Nacionales

NOM-004-SEMARNAT 2002. Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Rodie B. Edward y Hardenberg. Ingeniería Sanitaria.Ed.Continental S.A. de C.V. México D.F.1987

Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2013.

DÍAZ-BÁEZ, M.; Espitia, S. y Molina, F. (2002) Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología. UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombiagastos menores a 8 m³/d. Por lo que se harán cálculos para este diseño de la planta.

van HAANDEL, A. y Lettinga G. (1994) Tratamiento Anaeróbico de Esgotos. Editora EPGRAF. Campina Grande, Brasil.

Shelef G. y Kanarek A. (1995) "Stabilization ponds with recirculation" Water Science and Technology, Vol 3 1, No. 12, pp. 389-397. Gran Bretaña.

Racault Y. (1993) "Pond malfunction: case study of three plants in the south-west of France" Water Science and Technology, Vol. 28, No. 10, pp. 183-192. Gran Bretaña.

Rubens Sette Ramalho (1996). Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté.

Ron Crites (2000); Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Editorial Mc Graw Hill.

Pasveer,A., " The oxidation Ditch:Principles,Results and Aplicattions",Proc.Symp. Low Cost Waste Treatment,pags 163-171. CIPHERI, Nagpur,India,1969.

Aguilar Chávez Ariosso, Serie Autodidáctica de Medición (Vertedores), Coordinación de Tecnología Hidráulica (IMTA), Subdirección General de Administración del Agua (CNA), pp.11.

UPIBI - Historia <http://www.upibi.ipn.mx/Conocenos/Paginas/Historia.aspx>

INEGI- Agua (2011) <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/sobreexplota.aspx?tema=T>

NMX-AA-004 Determinación de sólidos sedimentables Imhoff.

NMX-AA-005 Determinación de grasas y aceites. Método de extracción soxhlet.

NMX-AA-006 Determinación de materia flotante. Método visual con malla específica.

NMX-AA-007 Determinación de la temperatura.

NMX-AA-008 Determinación de pH

NMX-AA-028 Determinación de DBO5.

NMX-AA-042 Determinación de Coliformes

NOM-003-SEMARNAT- 1997 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público,

XIV. Memoria de Cálculo

Caudales

Se calculó el caudal en la descarga 1, con una de las ecuaciones más utilizadas para determinar el gasto de un vertedor rectangular con contracciones laterales es la propuesta por Sociedad de Ingenieros y Arquitectos de Suiza (SIA), la cual es:

$$Q = 1.6064 \left(1 + 0.064 \left(\frac{b}{B} \right)^3 + \frac{0.00626 \left(1 - 0.82907 \left(\frac{b}{B} \right)^3 \right)}{h + 0.0016} \right) \left(1 + 0.5 \left(\frac{b}{B} \right)^3 \left(\frac{h}{h+p} \right)^3 \right) \sqrt{2gh}$$

Donde b es el ancho de la cresta vertedora; B el ancho del canal, p la altura de la cresta vertedora, y su rango de aplicación se tiene para:

$$0.025 \leq h \leq 0.8$$

$$b \geq 0.3B$$

$$p \geq 0.30m$$

$$h/p \leq 1$$

Para el caso de la descarga 1 se tiene que los valores de h=0.025; b=0.41;p=1 y el cociente de h/p=0.025 y sustituyendo en la ecuación anterior se calculó el flujo de esa descarga:

$$Q = 1.6064 \left(1 + 0.064 \left(\frac{0.41}{1.20} \right)^1 + \frac{0.00626 \left(1 - 0.82907 \left(\frac{0.41}{1.20} \right)^1 \right)}{h + 0.0016} \right) \left(1 + 0.5 \left(\frac{0.41}{1.20} \right)^1 \left(\frac{0.025}{0.025 + 1} \right)^1 \right) 0.41 * 0.025^{1/2} = 0.001037 \frac{l}{s} = 1.037 \frac{l}{s}$$

Para el caso de la descarga 2 se tiene que es en una canaleta y para el cálculo del flujo en la descarga se tomó un objeto conocido y se midió el tiempo que tardó en recorrer una distancia conocida. Las dimensiones de la canaleta son 25 cm de ancho y la altura del tirante en el día del muestreo se tuvo de 6 cm.

La velocidad promedio es de 0.078 m/s. Se considera un área de 0.25m de ancho del canal por una altura (tirante hidráulico) de 0.06m por lo que:

$$Q = v(A) = \left(0.078 \frac{m}{s} \right) (0.25 * 0.06) = 0.00117 \frac{l}{s} = 1.17 \frac{l}{s}$$

Para el cálculo del gasto medio, mínimo, máximo instantaneo y máximo extraordinario se sumaron los caudales de ambas descargas dandonos un gasto medio de 2.2 l/s

Para el gasto mínimo:

$$Qm = \frac{2.2}{2} = 1.1 \frac{l}{s}$$

Para el gasto máximo:

=

$$Qm_{max} = 1.1 * 2 = 2.2 \frac{l}{s}$$

Para el gasto máximo instantáneo:

$$Qm_{max} = \mu * Qm$$

$$\mu = Co = \frac{4}{4 + \sqrt{\frac{nu}{hab}}} = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{3.4}} = 3.4$$

$$Ha = 1 +$$

$$Qm_{max} = \mu * Qm = 3.4 * 1.1 = 3.74 \frac{l}{s}$$

l

Para el gasto máximo extraordinario:

Se utiliza un factor de seguridad de valor 1.5

$$Q_{\text{requerida}} = F_{\text{seg}} * Q_{\text{disponible}} = 1.5 * 7.48 = 11.22 \text{ l/s} \neq$$

$$0.01122 \text{ s}$$

Volumen muestra simple

$$VM_{\text{requerida}} = VMC \frac{Q_i}{Q_t} = 3 \text{ li} * \frac{1.17 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{7.02 \frac{\text{l}}{\text{s}}} = 0.5 \text{ l}$$

0Donde:

*

42 | Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en la UPIBI

VMSi= volumen de cada una de las muestras simples "i", litros

VMC= volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros

Qi= caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo

Qt= sumatoria Qi hasta Qn, litros por segundo

Canal

Área libre de paso del agua

$$A = \frac{Q_m}{v} = \frac{0.01122 \text{ m}^3/\text{s}}{0.6 \text{ m/s}} = 0.0186 \text{ m}^2$$

Donde:

A= área libre al paso del agua

QmaxE= Flujo máximo extraordinario

v= Velocidad recomendada del flujo para evitar sedimentación de arena en la parte inferior de las rejillas (0.6m/s a 0.9 m/s, valor medio: 0.65m/s). Dinotec, sociedad de aguas y medio ambiente. Depuración de aguas residuales. 2.3 sistemas de pretratamiento. Disponible en: <http://dinotec.es/pdf>

Tirante hidráulico

$$A = b * h$$

$$h = \frac{A}{b} = \frac{0.0186 \text{ m}^2}{0.3 \text{ m}} = 0.0622 \text{ m} = 6.2253 \text{ cm}$$

Donde:

h= Tirante hidráulico del canal (altura del canal).

b= Ancho del canal, este se propone en base al flujo que se tendrá, 0.3 en este caso, (WEF, 1992 recomienda que debe ser de 0.3 a 3 m).

El tiempo de retención sugerido para que el flujo sea uniforme debe ser de 5 s y con este se puede calcular el volumen de agua en el canal de la siguiente forma:

$$V = Q * t = 0.01122 \text{ m}^3/\text{s} * 5 \text{ s} = 0.056 \text{ m}^3$$

Para la longitud del canal se tiene la siguiente expresión:

$$L = \frac{V}{A} = \frac{0.056 \text{ m}^3}{0.0186 \text{ m}^2} = 3 \text{ m}$$

Rejillas

$$b = \left(\frac{bg}{e} \right) ()$$

Donde:

$$b = \left(\frac{b - e}{s + e} + 1 \right) = 25 \text{ mm} \left(\frac{300 \text{ mm} - 25}{5 \text{ mm} + 25} + 1 \right) = 254.1666 \text{ mm} = 0.2541 \text{ m}$$

bg= Suma de separaciones entre barras

e= Separación entre barras (25 a 50 mm recomendación para barras de limpieza manual, tabla 9-2, Metcalf y Eddy), se tomó el más pequeño para recuperar la mayor cantidad de sólidos e impedir el daño a equipos.

s= Espesor de las barra (5-15 mm, recomendación para barras de limpieza manual, tabla 9-2, Metcalf y Eddy).

Hipotenusa

$$hi = \frac{se}{bg} = \frac{0.0622 \text{ m}}{0.2541 \text{ m}} = 0.0718 \text{ m}$$

Área libre

$$A = 60$$

$$A = hi * b = 0.0718 \text{ m} * 0.2541 \text{ m} = 0.0182 \text{ m}^2$$

Velocidad

$$v = \frac{Qm}{A} = \frac{0.01122 \text{ m}^3/s}{0.0182 \text{ m}^2} = 0.6147 \text{ m/s}$$

Número de barras

$$\frac{bg}{A}$$

$$n = \left(\frac{bg}{e} \right) - 1 = \left(\frac{0.2541 \text{ m}}{0.025 \text{ m}} \right) - 1 = 9.164 \text{ bar} = 10 \text{ bar}$$

Carcamo de bombeo

El gasto diario es 190.08 m³/día y el tiempo de retención sugerido es de 4 horas.

$$t = 4 \text{ hor} \left(\frac{1}{24} \right) = 0.1666 \text{ hor}$$

Por lo tanto el volumen del carcamo se calcula de la manera siguiente:

$$V = Qm \left(\frac{t}{E} \right) = 190.08$$

Tomando en cuenta un área útil de 1 m

666

0.1

666

66

ía

?

=

31.

68

66

!

$$\text{Área} = \frac{31.68 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} = 31.68 \text{ m}$$

Para un cárcamo rectangular el largo es igual a dos veces el ancho, por lo tanto:

$$A_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{\text{Área}}{2}} = \sqrt{\frac{31.68}{2}} = 3.9799 \text{ m}$$

$$L_{\text{ancho}} = 2 * \text{ancho} = 2 * 3.9799 \text{ m} = 7.9598 \text{ m}$$

Reactor Biológico

Procedimiento 1

El gasto diario es 190.08 m³/día y se escogió un tiempo de retención de 12 horas. El volumen se calcula con un factor de 20% por volumen de seguridad.

$$t_{\text{ret}} = 12 \text{ hor} \cdot \frac{1}{24} = 0.5 \text{ días}$$

$$V_{\text{reactor}} = Qm \left(\frac{1}{d} * t_{\text{ret}} \right) (0.5) = 95.025 \text{ m}^3$$

$$= 190.08 \text{ m}^3$$

Con el factor de seguridad de 20%:

$$V_{\text{reactor}} = \frac{95.025}{0.8} = 118.7812 \text{ m}^3$$

Se toma una altura útil de 3.5 m por lo tanto el área del reactor es la siguiente:

$$\text{Área} = \frac{V_{\text{reactor}}}{\text{Altura}} = \frac{118.7812}{3.5 \text{ m}} = 33.9375 \text{ m}^2$$

Para un reactor circular es necesario calcular el diámetro del reactor de la siguiente forma:

$$A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \quad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 (33.9375)}{\pi}} = 6.5734 \text{ m}$$

Procedimiento 2

El gasto diario es 190.08 m³/día y se escogió un tiempo de retención de 12 horas. El volumen se calcula con un factor de 20% por volumen de seguridad.

$$V = \frac{\theta * Q * C}{Xa * Y}$$

Donde:

Va: Volumen del reactor, megagalon

=

θ : T tiempo de retención, días

Qa: Flujo de agua residual, megagalon/día

Ci: Concentración DBO, mgDBO/l

Y: Rendimiento aparente lbSS/lbDBO

Xa: Concentración de solidos, mg/l

$$V * Y \frac{\theta * Q * C}{Xa} = \frac{(0.5) (400) (0.0502)}{m} \left(\frac{400}{m} \right) (0.8) = \frac{260}{l} = 116590.6834 \text{ li} = 116.5906 \text{ m}^3$$

Se toma una altura útil de 3.5 m por lo tanto el área del reactor es la siguiente:

$$\text{Área} = \frac{V}{\text{altura}} = \frac{116.5906}{3.5 \text{ m}} = 33.3116 \text{ m}^2$$

Para un reactor circular es necesario calcular el diámetro del reactor de la siguiente forma:

$$A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \quad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4(33.9375)}{\pi}} = 6.5125 \text{ m}$$

Requerimientos de oxígeno

El gasto diario es de 190.08 m³/día y la carga orgánica del agua es de 400 mgDBO5/L.

$$400 \frac{\text{m}^3}{\text{L}} \left| \frac{\text{Kg}}{1000 \text{ mg}} \right| \left| \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right| = 0.4 \text{ Kg/m}^3$$

Para la carga orgánica por día:

$$\left(0.4 \text{ m}^3 \right) (190.8) = 76.032 \text{ Kg}$$

La necesidad de aire por Kg de DBO removida se tomó de la página de SEMARNAT en donde se especifica que el rango para aireación extendida va de 204 a 272 m³/KgDBO removida, se tomó el dato más alto para los cálculos posteriores.

$$\left(\frac{\quad}{\quad} \right)$$

$$A = \left(\frac{K \cdot 272}{a} \right) \cdot \frac{1}{m} = 20\,680 \cdot \frac{a}{m}$$

76.032

$$20\,680 \cdot \frac{1}{m} = 14.3311 \cdot \frac{a}{m}$$

$$14.3311 \cdot \frac{1}{m} = 507.1751 \cdot \frac{a}{m}$$

$$\frac{e}{m_n} = \frac{1}{m}$$

$$C = 507.1751 \cdot \frac{1}{m}$$

$$a$$

Utilizando el factor de seguridad de 1.5 por pérdidas en tuberías, difusores y regreso de lodos:

$$507.1751 \frac{m^3}{d} * 1.5 = 760.7626 \frac{m^3}{d}$$

$$\left(76.032 \frac{kg}{m^3} * 1.2 \frac{kg}{m^3} = 91.2384 \frac{kg}{m^3} \right)$$

La concentración de oxígeno en el aire es aproximada al 23%, por lo tanto:

$$\frac{91.2384 \frac{kg}{m^3}}{0.23} = 396.6886 \frac{kg}{m^3}$$

Como la densidad del aire es de 1.2 kg/m³:

$$\frac{396.6886 \frac{kg}{m^3}}{1.2 \frac{kg}{m^3}} = 330.5739 \frac{m^3}{m^3}$$

La eficiencia de transferencia de oxígeno de difusores se tomó del 8%, por lo tanto:

$$\frac{330.5739 \frac{m^3}{m^3}}{0.08} = 4132.173 \frac{m^3}{m^3} \left| \frac{1}{1440} \right| = 101.3377 \frac{m^3}{m^3}$$

Utilizando un factor de seguridad recomendado de 2, obtenemos lo siguiente:

$$101.3377 \frac{m^3}{m^3} * 2 = 202.6754 \frac{m^3}{m^3}$$

La altura de la columna de agua es de 3.5 metros

Sedimentador

El gasto diario es 190.08 m³/día y el tiempo de retención elegido es de 4 horas, por lo tanto el volumen del clarificador se calcula de la siguiente forma:

$$t = 4 \text{ hor} \left| \frac{1}{24} \right| = 0.1666 \frac{hor}{hor}$$

$$V_{\text{teórico}} = Qm_{\text{E}} * t / \rho \quad (0.1666 \text{ m}^3/\text{s}) = 31.68 \text{ m}^3$$

$$= 190.08 \text{ m}^3$$

Se utilizó un factor de seguridad de 20%, por lo tanto el volumen final queda así:

$$V_{\text{final}} = \frac{31.68 \text{ m}^3}{0.8} = 39.6 \text{ m}^3$$

Adicionalmente para obtener el área del clarificador se necesita una altura útil y se propuso un valor de 2.5 m, por lo tanto:

$$\text{Área} = \frac{V_{\text{final}}}{h_{\text{útil}}} = \frac{39.6 \text{ m}^3}{2.5 \text{ m}} = 15.84 \text{ m}^2$$

$$\frac{\text{Área}}{h_{\text{útil}}}$$

Área útil

Si el cárcamo es de forma circular, entonces el diámetro del tanque se calcula de la siguiente forma:

$$A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \quad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4(15.84)}{\pi}} = 4.4908 \text{ m}$$

Y si el cárcamo fuera rectangular, el largo es igual a dos veces el ancho, por lo tanto:

$$A_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{\text{Área}}{2}} = \sqrt{\frac{15.84}{2}} = 2.8142 \text{ m}$$

$$L_{\text{largo}} = 2 * A_{\text{ancho}} = 5.6284 \text{ m}$$

Producción de lodos

Hay dos métodos para determinar la producción de lodos. El que se usó para la estimación se basa en un rendimiento observado de la producción de lodo de similitudes. Este primer método nos permite cuantificar la cantidad de lodos producidos diariamente. Para un agua residual cualquiera donde se cuente con el rendimiento observado (Y_{obs}) valor que es variable con la cantidad de sustrato con que venga definido ya sea DBO, bDQO o DQO.

$$P_{\text{XVSS}} = Y_{\text{obs}} \left(\frac{Q(S_0 - S)}{10^3} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}} \right)$$

P_{XVSS} : producción neta de lodos activados por día, kg VSS/d.

Y_{obs} : rendimiento observado, gVSS/g sustrato removido.

Q : influente, m³/d

S_0 : concentración de sustrato del influente, mg/L

S : concentración de sustrato del efluente, mg/L

Sustituyendo en la ecuación anterior

$$P_{\text{XVSS}} = \left(\frac{362.8 \text{ gS}}{453.5 \text{ g}} \right) \left(\frac{190.08 \text{ m}^3}{\text{d}} \right) \left(\frac{400 \text{ mg}}{\text{L}} - 20 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}} \right) = 57.7843 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Es posible calcular la concentración del sustrato a la salida del tanque de aireación a partir de datos de cinética.

$$S = \frac{K(1 + K)S}{(S(\mu - K) - 1)}$$

Donde

S: concentración de sustrato en el efluente gDBO/m³

Ks: constante de velocidad media (20g DBO/m³)

Kd: coeficiente de decaimiento (0.12g VSS/gVSS)

SRT: tiempo de residencia celular, (30 d)

μm: velocidad máxima de crecimiento de bacterias (6 gVSS/gVSS*d)

Estos valores se obtuvieron de la tabla 8-10 Coeficientes cinéticos para procesos de lodos activados para bacterias heterótrofas a 20 °C.

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$S = \frac{(20 \frac{\text{g DBO}}{\text{m}^3})}{(30d(6 \frac{\text{gVSS}}{\text{gVSS}} * d - 0.12 \frac{\text{g VSS}}{\text{gVSS}})) - 1} = 0.5245 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Para determinar la concentración de biomasa en el reactor se obtiene de la siguiente ecuación que se sacó del Metcalf & Eddy Tabla 8-5.

$$X = \left(\frac{S_0}{S} \right) \left(\frac{Y(S_0 - S)}{1 + K_d \text{SRT}} \right)$$

Donde

Kd: coeficiente de decaimiento (0.12g VSS/gVSS)

SRT: tiempo de residencia celular, (30 d)

T: tiempo de residencia hidráulica (0.5/d)

Y:0.8 rendimiento observado, gVSS/g sustrato removido

So= 400 gDBO/m³

S=0.5245 gDBO/m³

Sustituyendo en la ecuación anterior

$$X = \left(\frac{30d}{\frac{0.5}{d}} \right) \left(\frac{\frac{0.8 \text{ gS}}{\text{g}} (400 - 0.5245)}{1 + 0.12 \frac{\text{gVSS}}{\text{gVSS}} * d 30d} \right) = 4168.44 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Para la relación F/M se calcula de la siguiente manera

$$\frac{F}{M} = \frac{So}{TX} = \frac{400 \text{ m}}{L} = 0.1919$$

Caudal de lodo de retorno

$$Q_m = \frac{400 \text{ m}}{L}$$

Se propone una tasa de recirculación de lodos para mantener el contenido de microorganismos de 1 lo establecido por Metcalf y Eddy para un proceso de aireación extendida es de intervalos de 0.75-1.5.

Cloración

El gasto diario es 190.08 m³/día y el tiempo de retención elegido es de 0.5 horas, por lo tanto el volumen del tanque se calcula de la siguiente forma:

$$t = 0.5 \text{ hor} = \frac{0.5}{24} \text{ día} = 0.0208 \text{ día}$$

$$V = Q_m (1 + E) * t = 190.08 (1 + 0.0208) = 190.08$$

Se utilizó un factor de seguridad de 20%, por lo tanto el volumen final queda así:

$$V = \frac{190.08}{0.8} = 237.6 \text{ m}^3$$

Adicionalmente para obtener el área del tanque se necesita una altura útil y se propuso un valor de 0.5 m, por lo tanto:

$$\text{Área} = \frac{V}{h} = \frac{237.6}{0.5} = 475.2 \text{ m}^2$$

Si el cárcamo es de forma circular, entonces el diámetro del tanque se calcula de la siguiente forma:

$$A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \quad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4(475.2)}{\pi}} = 35.475 \text{ m}$$

Y si el cárcamo fuera rectangular, el largo es igual a dos veces el ancho, por lo tanto:

$$L = 2W = \sqrt{\frac{4A}{2}} = \sqrt{\frac{4(475.2)}{2}} = 31.17 \text{ m}$$

$$L_{\text{cisterna}} = 2 * A_{\text{cisterna}} h_o =$$

$$4.4461 \text{ m}$$

Cisterna de agua tratada

El gasto diario es $190.08 \text{ m}^3/\text{día}$ y el tiempo de retención elegido es de 12 horas, por lo tanto el volumen del tanque se calcula de la siguiente forma:

$$t_{\text{ret}} = 12 \text{ hor} \cdot \frac{1}{24 \text{ hor}} = 0.5 \text{ día}$$

$$V_{\text{ret}} = Qm \cdot t_{\text{ret}} = 190.08 \text{ m}^3$$

Se utilizó un factor de seguridad de 20%, por lo tanto el volumen final queda así:

$$V_{\text{final}} = \frac{190.08}{0.8} = 237.6 \text{ m}^3$$

Adicionalmente para obtener el área del tanque se necesita una altura útil y se propuso un valor de 3.5 m, por lo tanto:

$$\text{Área} = \frac{V_{\text{final}}}{h_{\text{util}}} = \frac{237.6 \text{ m}^3}{3.5 \text{ m}} = 67.8857 \text{ m}^2$$

Si el cárcamo es de forma circular, entonces el diámetro del tanque se calcula de la siguiente forma:

$$A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \quad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4(67.8857 \text{ m}^2)}{\pi}} = 9.31 \text{ m}$$

Y si el cárcamo fuera rectangular, el largo es igual a dos veces el ancho, por lo tanto:

$$A_{\text{rect}} = \frac{\text{Área}}{2} = \frac{67.8857 \text{ m}^2}{2} = 33.9428 \text{ m}^2$$

$$L_{\text{rect}} = 2 * A_{\text{rect}} = 67.8857 \text{ m}$$

Resumen

Tabla 18. Listado de los Equipos diseñados para la planta de tratamiento

Equipo	Tr (días)	Volumen (m ³)	Área (m ²)	Diámetro (m)	Ancho (m)	Largo (m)
Canal	-	0.56	0.186	-	0.3	3
Cárcamo de bombeo	0.1666	31.68	31.68	-	3.9799	7.9598
Reactor	0.5	118.7812	33.9375	6.5734	-	-
		116.5906	33.3116	6.5125	-	-
Sedimentador	0.1666	39.6	15.84	4.4908	2.8142	5.6284
Cloración	0.0208	4.942	9.8841	3.5475	2.223	4.4461
Cisterna	0.5	118.8	33.9428	6.5739	4.1199	8.2399

Anexos

Evidencia fotográfica

Tabla 19. Fotografías de los materiales y métodos utilizados. Fuente propia





Normas y procedimientos

NMX-AA-028-SCFI-2001 - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBQ), Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA

El método se basa en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C.

Reactivos

- Fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4)
- Fosfato dibásico de potasio (K_2HPO_4)
- Fosfato dibásico de sodio heptahidratado ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- Cloruro de amonio (NH_4Cl)
- Sulfato de magnesio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- Cloruro de calcio anhidro (CaCl_2)
- Cloruro férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Sulfito de sodio (Na_2SO_3)
- 2-cloro-6 (triclorometil) piridina
- Glucosa grado patrón primario ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)
- Ácido glutámico grado patrón primario ($\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4$)
- Ácido clorhídrico (HCl)
- Ácido nítrico (HNO_3)
- Disolución amortiguadora de fosfato
- Disolución de sulfato de magnesio
- Disolución de cloruro de calcio
- Disolución de cloruro férrico
- Disolución de ácido sulfúrico (0,1N)
- Disolución de hidróxido de sodio (0,1N)
- Disolución de sulfito de sodio
- Disolución patrón de glucosa-ácido glutámico
- Disolución de cloruro de amonio

Equipos y materiales

- Equipo de aireación con difusor
- Incubador: Controlado por termostato a $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. Eliminar toda la luz para evitar la posibilidad de producción fotosintética de oxígeno disuelto.
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg
- Medidor de oxígeno disuelto
- Todo el material usado en la determinación debe ser exclusivo para este procedimiento. Para el lavado del material remojar durante 1 h en una disolución de ácido sulfúrico al 10 % y enjuagar con agua. Los detergentes con base de amoníaco no deben usarse para la limpieza del material.
- Los contenedores de las muestras deben lavarse con disolución de detergente no iónico, libre de metales, enjuagarse con agua, remojar en ácido toda la noche y volver a enjuagarse con agua libre de metales.
- Para el material de cuarzo, politetrafluoroetileno o material de vidrio debe dejarse remojando de 12 h a 24 h con HNO_3 (1:1), HCl (1:1) o con agua regia (3 partes de HCl concentrado + 1 parte de HNO_3 concentrado) a 70°C solo en los casos que presente material adherido, después debe ser enjuagado con agua libre de metales.
- En los casos de que el material presente grasas, enjuagar con acetona y/o hexano.
- Botellas Winkler de vidrio para incubación con capacidad de 300 mL de aforo total y con boca estrecha, reborde y tapón de vidrio esmerilado, de forma cónica.
- Contratapa de politetrafluoroetileno u otro material plástico para botella Winkler
- Bureta

Recolección, preservación y almacenamiento de muestras

- Para aguas residuales (DBO5 mayores a 50 mg/L) deben tomarse mínimo 100 mL. Pueden utilizarse muestras simples o compuestas en envases de polietileno o vidrio.
- No se debe agregar ningún preservador a las muestras. Solo deben conservarse a 4°C hasta su análisis.
- El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 24 h.

Procedimiento

- Preparación de agua de dilución: Colocar el volumen requerido de agua en un frasco y añadir por cada litro de agua 1 mL de cada una de las siguientes disoluciones: disolución de sulfato de magnesio, disolución de cloruro de calcio, disolución de cloruro férrico y disolución amortiguadora de fosfatos..

Antes de usar el agua de dilución debe ponerse a una temperatura aproximada de 20°C. Saturar con oxígeno aireando con aire filtrado, libre de materia orgánica durante 1 h por lo menos.

- Neutralizar las muestras a un pH entre 6,5 y 7,5 con ácido sulfúrico o hidróxido de sodio de concentración tal que la cantidad de reactivo no diluya la muestra en más del 0,5 %. El pH del agua de dilución sembrada no debe verse afectado por la dilución de la muestra.

- Técnica de dilución: Las diluciones que dan lugar a un OD residual mayor de 1 mg/L y una captación de OD de al menos 2 mg/L después de 5 días de incubación, producen los resultados más confiables. Hacer varias diluciones (al menos 3) por duplicado de la muestra preparada para obtener una captación de OD en dicho intervalo. La experimentación con una muestra concreta permite el uso de un número menor de diluciones. Un análisis más rápido tal como la DQO, presenta una correlación aproximada con la DBO5 y sirve como una guía para seleccionar las diluciones. En ausencia de datos previos, utilizar las siguientes diluciones: de 0 % a 1 % para los residuos industriales fuertes, de 1 % a 5 % para las aguas residuales sedimentadas y crudas, del 5 % al 25 % para el efluente tratado biológicamente y del 25 % al 100 % para las aguas superficiales contaminadas.

- Diluciones preparadas directamente en frascos tipo Winkler. Utilizando una pipeta volumétrica, añadir el volumen de muestra deseado a frascos Winkler individuales de 300 mL. Añadir cantidades adecuadas del material de siembra a los frascos tipo Winkler o al agua de dilución. Llenar los frascos con suficiente agua de dilución, sembrada si es necesario, de forma que la inserción del tapón desplace todo el aire, sin dejar burbujas. No realizar diluciones mayores de 1:300 (1 mL de la muestra en un frasco). Determinar el OD inicial en uno de los frascos de cada una de las diferentes diluciones. En los frascos de los duplicados de cada una de las diluciones, Ajustar herméticamente el tapón, poner un sello hidráulico y la contratapa e incubar durante 5 días a 20°C.

- La determinación del OD inicial se realiza por medio del método electrométrico con electrodo de membrana, de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX- AA-012-SCFI. Los aceites, grasas o cualquier sustancia que se adhiera a la membrana puede ser causa de baja respuesta en el electrodo.

- Blanco del agua de dilución. Emplear 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, incubar un frasco de agua de dilución no sembrada. Determinar el OD inicial y final como se especifica en los incisos 10.7 y 10.10. El consumo de OD no debe ser mayor de 0,2 mg/L y preferentemente no menor a 0,1 mg/L.

-- Incubar a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ las botellas de DBO₅ que contengan las muestras con las diluciones deseadas, los controles de siembra, los blancos de agua de dilución y el control de glucosa-ácido glutámico. En caso de no contar con contratapas, diariamente se debe verificar que el sello hidráulico esté intacto en cada botella incubada, agregar agua si es necesario.

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

Cálculos

DBO₅

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{ODi mg/L} - \text{OD}_5 \text{ mg/L}}{\% \text{ de dilución expresado en decimales}}$$

Dónde:

ODi mg/L es el oxígeno disuelto inicial, y

OD₅ mg/L es el oxígeno disuelto al quinto día.

Reportar los resultados en mg/L de DBO₅ con dos cifras significativas con la precisión (media, desviación estándar) correspondiente.

Interferencias

-- El pH ácido o alcalino

-- Cloro residual

-- Nitritos

-- Sustancias inorgánicas y orgánicas reductoras