

2ej.

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA.**

**"EVALUACION DE LA CALIDAD FISICO-QUIMICA Y BACTERIOLOGICA DE
LAS AGUAS RESIDUALES SANITARIAS TRATADAS, EN LA ZONA
HOTELERA DE IXTAPA ZIHUATANEJO, GRO."**

TESIS

Que para obtener el Título de Biólogo

presenta

LONGARES MÉNDEZ DORA ALICIA.



**BIBLIOTECA
INSTITUTO DE ECOLOGIA
UNAM**

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. JESÚS FLORES GUEVARA.

ASESOR INTERNO: BIÓL. MARICELA ARTEAGA MEJÍA

NOVIEMBRE, 1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

LEYES NO DEBE
DE LA BIBLIOTECA

Dedicatoria.

A mi Madre: Ma. del Pilar Méndez Ruiz

Por que siempre tuvo una sonrisa
para todas mis alegrías,
lágrimas para mis dolores,
consuelo para mis desgracias,
excusas para mis faltas,
suplica para nosotros y
esperanza para nuestros corazones.
Por que siempre estará conmigo.

A mi padre. Urbano Longares Villalobos

Quien me dio su confianza, amor y comprensión.
Por la educación de recibí, por ser como es
por que a sabido ganarse muy bien el titulo de padre
GRACIAS.

A mis hermanos.

A quienes quiero, por el apoyo,
comprensión y ayuda que he recibido
de todos ustedes.

Agradecimientos.

Agradezco de todo corazón a los maestros que me brindaron su apoyo, así como ayuda en todo momento tanto en mi carrera como el termino de la misma, el presente trabajo es parte de ustedes, con todo el respeto y cariño que les tengo gracias.

Biól. Maricela Arteaga Mejía

M. en C. Miguel Castillo González.

M. en C. Lourdes Castillo Granada.

A todos mis tíos y primos

que han participado con mis estudios,
por su ayuda y comprensión

A mis amigas.

Quienes me conocen y me estiman
a quienes estimo y quiero.

ÍNDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Aspectos generales de la contaminación del agua.	1
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Tipos de contaminantes	6
2.1.1 Contaminación química	6
2.1.2 Contaminación física	7
2.1.3 Contaminación biológica	8
2.2 Parámetros físicos, químicos, biológicos e indicadores de contaminación que permiten evaluar la calidad del agua tratada en plantas de tratamiento de tipo aerobio.	9
2.2.1 Parámetros biológicos	20
2.3 Tratamiento del agua residual	22
2.3.1 Tratamiento primario	23
2.3.2 Tratamiento biológico o secundarios	28
2.4 Degradación Microbiológica de los Compuestos Orgánicos	28
2.4.1 Síntesis	29
2.4.2 Respiración	30
2.4.3 Decaimiento	31
2.5 Tratamientos Biológicos Aerobios	32
2.5.1 Parámetros de operación del proceso de lodos activados	43
2.5.1.1 Concentración de lodos	43
2.5.1.2 Índice del Volumen de Lodos (IVL) o índice de Mohlman	43
2.5.1.3 Índice de Densidad de los Lodos o Índice de Donaldson (IDL)	44
2.5.1.4 Tiempo de Residencia de los Lodos (TRL)	44
2.5.1.5 Nivel de carga	45
2.5.1.6 Tiempo de Retención	46
2.6 Tratamiento Anaerobios	46
2.6.1 Digestión anaerobia	47
2.6.2 Digestión anaerobio de contacto	48
2.7 Tratamientos Terciarios	49
2.7.1 Coagulación	49
2.7.2 Intercambio iónico	50
2.7.3 Precipitación química	50
2.7.4 Osmosis inversa	51
2.8 Procesos de Desinfección	51
2.8.1 Procesos mecánicos	51
2.8.2 Procesos físicos	52
2.8.3 Agentes químicos	52
2.8.4 Ventajas de Cloración Libre Residual	59
2.9 Disponibilidad y reutilización del agua tratada (efluente)	60
2.10 Legislación Mexicana en materia de prevención de la contaminación del agua	63

CAPÍTULO 3	
3.1 Localización	65
3.2 Topografía	67
3.3 Vegetación	67
3.4 Clima	67
3.5 Geohidrología	68
3.6 Datos estadísticos	68
CAPÍTULO 4. JUSTIFICACIÓN	70
CAPÍTULO 5. HIPÓTESIS	71
CAPÍTULO 6. OBJETIVOS	72
CAPÍTULO 7. MÉTODO	73
CAPÍTULO 8. RESULTADOS	75
CAPÍTULO 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS	80
CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES	95
CAPÍTULO 11. RECOMENDACIONES	96
CAPÍTULO 12. BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	101

RESUMEN

Considerando que en años recientes el efecto acumulativo de la contaminación ha llevado a una preocupación general y a una legislación cada vez más estricta en lo que concierne a la descarga de residuos líquidos y gaseosos, es prioritario buscar alternativas para tratar dichos residuos. En el presente trabajo se evaluó la calidad del agua tratada de dos plantas de tratamiento biológico del tipo aireación extendida, localizadas en la zona hotelera de Ixtapa Zihuatanejo (Plantas Club de Golf y Punta Ixtapa), para lo cual se realizaron parámetros físicos, químicos y biológicos establecidos en las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

NOM-031-ECOL-1993 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicio y tratamientos de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado o municipal.

NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

De acuerdo a las normas antes mencionadas se encontró que los coliformes fecales, zinc, grasas y aceites en los meses de Febrero a Septiembre en la Planta Punta Ixtapa rebasan los Límites Máximos Permitidos, para la Planta Club de Golf en los meses de Febrero, Marzo, Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre presentaron valores por arriba de los Límites Máximos Permisibles para los parámetros antes mencionados. Con base en a la DBO5 y DQO se obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción:

EFICIENCIA DE REMOCIÓN CON BASE A LA DBO5 Y DQO EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO CLUB DE GOLF Y PUNTA IXTAPA.

PLANTA DE TRATAMIENTO	DBO5 MÍNIMA	DBO5 MÁXIMA	DQO MÍNIMA	DQO MÁXIMA
CLUB DE GOLF	91.00%	93.00%	90.00%	94.00%
PUNTA IXTAPA	84.00%	94.78%	81.32%	95.49%

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Aspectos generales de la contaminación del agua.

El agua representa uno de nuestros más preciados recursos pues ha sido requerida por los seres vivos desde su existencia en el planeta y forma parte de la materia viva, siendo utilizada en casi todas las actividades humanas (Fair, 1990).

Los usos que el hombre ha dado al agua son múltiples, ya sea como medio de transporte, en la irrigación, industria, para consumo humano, generación de energía o fines recreativos. Para poder utilizarla es preciso que tenga una calidad aceptable; sin embargo, la mala planeación en su manejo, la incorporación de enormes cantidades y gran variedad de desechos líquidos, sólidos y gaseosos ha deteriorado su calidad y limitando su uso potencial (SARH, 1983).

En los últimos años, los problemas de abastecimiento y disposición de las aguas residuales se han incrementado gravemente en los núcleos urbanos e industriales, sobre todo en los niveles locales y regionales, por lo irregular de la distribución geográfica y por el uso irracional de los recursos hidráulicos, para comunidades que tiene acceso al mar, es muy atractiva la posibilidad de utilizarlos para eliminar el agua residual. En muchas partes del mundo es común que se consideren las aguas del mar como un sumidero infinito para tirar los materiales indeseables, desafortunadamente las aguas del mar pueden tener características sumamente variables y la evaluación de los efectos de la contaminación requiere de extremo cuidado especialmente si se descargan aguas residuales en la vecindad de bancos de moluscos o playas frecuentadas por bañistas, pues en estas circunstancias se justifica la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales (Tebbutt, 1990).

La protección del agua en lo que se refiere a calidad, es prioritario, y es por ello que para el bienestar de la población las aguas subterráneas, superficiales, de manantiales, etc., que sirven para cubrir las necesidades de agua potable deben ser protegidas en una mejor forma posible de impurezas y deterioro en su calidad (Merck, 1992).

El agua residual puede definirse como una combinación de agua con desechos, procedentes de comunidades e industrias y establecimientos comerciales, junto con aguas superficiales o pluviales (Alvarez, 1993). La Ley de Aguas Nacionales, define al agua residual como un "líquido de composición variada procedente de los usos domésticos, incluyendo fraccionamientos, agropecuarios, industriales, comerciales, de servicio o de cualquier otro uso" (LGEEPA, 1997).

Un aspecto importante en la protección del ambiente es el control de las aguas residuales, procedentes de comunidades e industrias. A medida que la población aumenta se requieren más recursos y se generan más desperdicios; el problema de eliminarlos consiste en recordar que a excepción de las reacciones nucleares, debe tomarse en cuenta la ley de la conservación de la materia. La masa total que ingresa en una fábrica o una ciudad, debe permanecer ahí o volver a salir. El agua es el mayor producto de consumo por lo cual volúmenes importantes se convierten en desperdicio (SARH, 1983).

Es esencial conocer lo mejor posible la naturaleza de las aguas residuales las cuales se caracterizan en términos de su composición física, química y biológica. La EPA (Environmental Protection Agency) identificó aproximadamente 129 contaminantes de alto riesgo, orgánicos e inorgánicos, y han sido clasificados en 65 clases. La selección se ha hecho con base en su conocida o supuesta acción cancerígena, mutagénica y tóxica (Alvarez, 1993).

El comprender la naturaleza de las aguas residuales requiere esencialmente conocer sus características físicas, químicas y biológicas, imprescindibles para su control, el cual está relacionado con el diseño de las instalaciones de colección, tratamiento y desecho. Si las aguas residuales no se tratan y se acumulan ocurre una descomposición de la materia

orgánica que contiene, seguida de malos olores y generando una gran cantidad de gases. Adicionalmente contiene un gran número de microorganismos patógenos, nutrimentos que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas y compuestos tóxicos. Por estas razones es importante una inmediata salida del sitio donde se generan, seguida de un tratamiento y una disposición adecuada.

En los últimos años se ha demostrado que no tiene por qué existir un antagonismo entre el desarrollo económico y la protección ambiental, esa contradicción es irreal y opuesta a lo que se observa en las economías modernas. Se requiere un enfoque dinámico para comprender el verdadero papel de las regulaciones ambientales en el desempeño competitivo de las empresas, esto resulta de entender que la contaminación no solamente es una manifestación físico-química sujeta a controles técnicos; si no que es expresión profunda insuficiencia microeconómica.

El turismo tiene un efecto multiplicador, ya que estimula el modelo económico de nuestro país, donde la inversión directa dinamiza otros sectores como la infraestructura sanitaria, el suministro de agua, la construcción de vías de comunicación, etc. Hasta hace unos cuantos años el turismo se consideraba como una actividad neutral; ahora existe conciencia ecológica, económica y social que genera costos y beneficios, a partir de la década de los 60's. Tal es el caso de la instalación de sistemas de tratamientos de aguas residuales Ixtapa-Zihuatanejo es un desarrollo turístico cuidadosamente planeado, elaborando un proyecto, desde un estudio preinvestigativo. balance ecológico, logístico y una labor suplementaria.

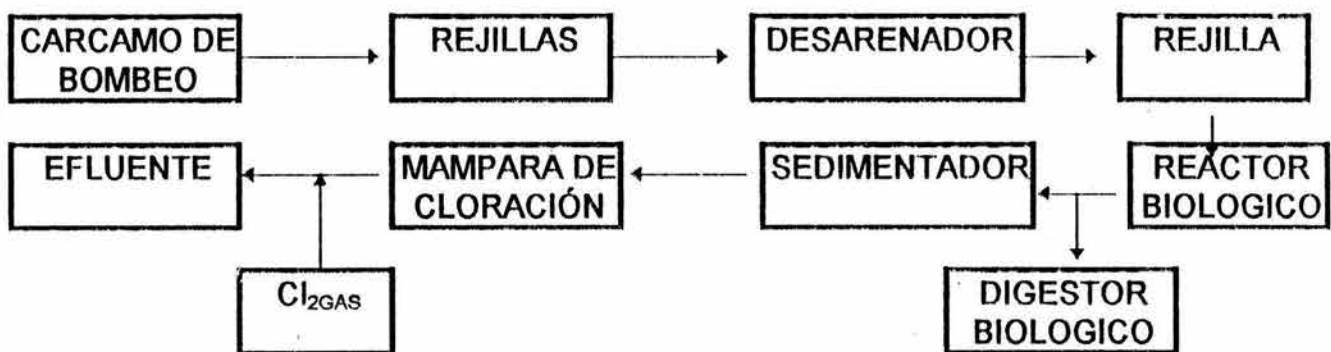
A través de la SARH se realizaron las obras de distribución de agua potable y sistema de alcantarillado, el agua es obtenida del río Ixtapa donde se perforaron varios pozos que proporcionan 18,610 L/seg. Se realizó la instalación de una línea de conducción para las aguas pluviales de los cuales la mayor parte se deriva a la zona pantanosa que será dragada para convertirla en una laguna en donde se practicarán deportes acuáticos. Ixtapa-Zihuatanejo se beneficia anualmente con 480,000 turistas de los cuales 190,000 son nacionales y 290,000 son extranjeros. El transporte de las aguas residuales sanitarias se realiza por medio de bombeo y gravedad, para evitar la contaminación de la

bahía y aguas continentales como son las corrientes originadas en la Sierra Madre del Sur, como el río Ixtapa, o en las estimaciones próximas a la planicie costera, constituyendo pequeñas cuencas exorréicas cuyas aguas desembocan en el Océano Pacífico.

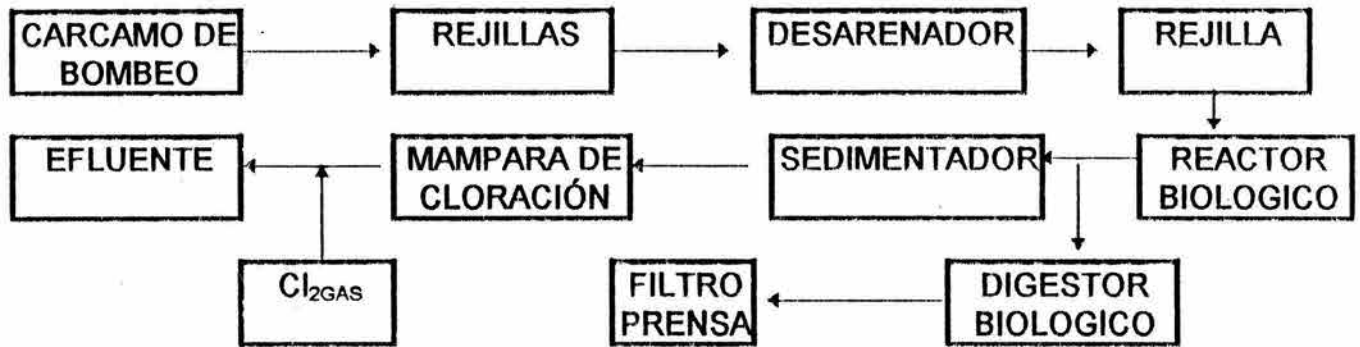
Se construyeron dos plantas de tratamiento aerobio con aireación extendida, la planta de tratamiento Club de Golf que cuenta con tres módulos independientes, cada uno es un tratamiento completo desde desarenador hasta desinfección del agua tratada (efluente). Por otra parte, la planta de tratamiento Punta Ixtapa sólo tiene dos módulos.

	Número de modulo	Capacidad	Puesta en operación
CLUB DE GOLF	M-1	44 LPS	1975
	M-2	56 LPS	1980
	M-3	100 LPS	1990
PUNTA IXTAPA	M-1	20 LPS	1980
	M-2	100 LPS	1996

En el siguiente diagrama se muestra el tren de tratamiento de las Plantas Punta Ixtapa y Club de Golf.



El tren de tratamiento anterior se presenta en cada uno de los módulos de las plantas, excepto el M-2 de Punta Ixtapa el cual presenta el siguiente tren de tratamiento.



El agua residual una vez tratada en estas dos plantas de tratamiento es evaluada constantemente por el laboratorio interno, establecido en la planta Club de Golf, así como también un laboratorio externo se encarga de realizar los análisis tanto del influente como del efluente de los parámetros que establecen las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes. Debido a la escasez de agua potable en la región, el agua tratada (Efluente) se utiliza para riego de áreas verdes, así mismo para la formación de los lagos del campo de Golf y el Club Med.

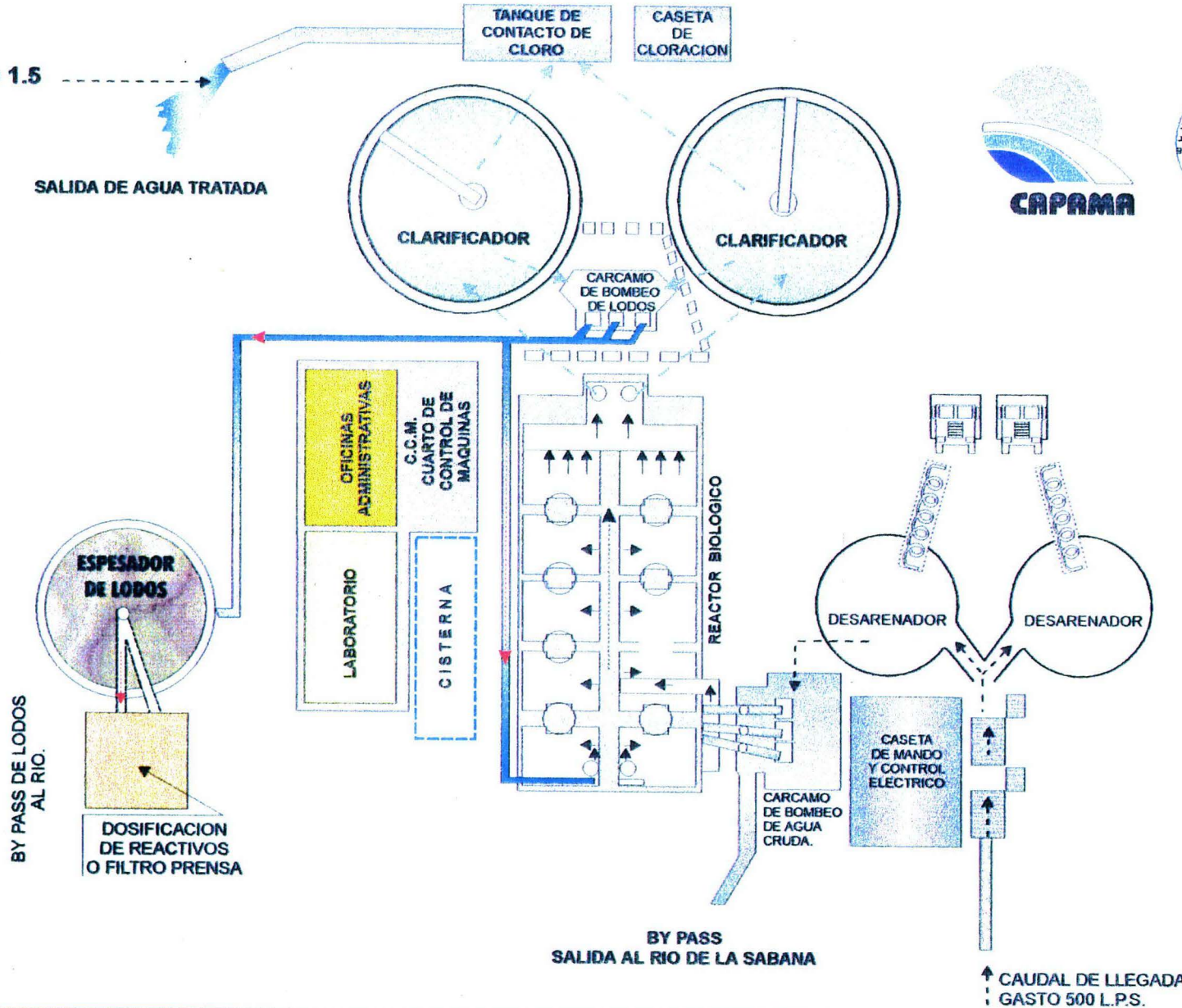
El agua tratada se vende a los hoteles de la zona de Ixtapa para el riego de sus áreas verdes debiendo contar previamente con una cisterna o un tanque de almacenamiento con capacidad para poder regar sus áreas durante tres días en caso de que en se le pudiera proporcionar agua diariamente. La cantidad de agua tratada disminuye o aumenta según la ocupación hotelera. El costo de venta al usuario, esta en función de la tabla de valores de consumo que tiene CAPAZ (Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Ixtapa-Zihuatanejo) para la venta de agua potable del cual se cobra el 33%.



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

p.m.p. $C1_2 = 1.5$

SALIDA DE AGUA TRATADA



↑ CAUDAL DE LLEGADA
- - - GASTO 500 L.P.S.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Tipos de contaminantes.

2.1.1. Contaminación química.

Existen dos tipos de contaminantes químicos: los compuestos orgánicos, tales como proteínas, grasas, jabones, carbohidratos, resinas, hules, carbón, petróleo, alquitrán, colorante, detergentes sintéticos y varios más, así con los compuestos inorgánicos, que incluyen ácidos y álcalis, sales de metales pesados y sales solubles. Las características de cada uno de los compuestos se describen a continuación.

Proteínas. Proviene de aguas domésticas, fábricas de productos lácteos, emparadoras, rastros o mataderos, curtidurías y otras instalaciones; producen agua residual con una DBO elevada y organismos patógenos.

Grasas. Agua de desecho doméstico y en efluentes de diversas industrias, tales como procesadoras de lana, lavanderías, producción de jabón y procesamiento de alimentos.

Jabones. Los jabones están presentes en las aguas de desecho, en los desperdicios de plantas textiles y lavanderías.

Carbohidratos. Existen en aguas de desecho en los desperdicios de las fábricas textiles y en las de papel; su principal efecto es la elevación en la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la coloración que imparten al agua.

Resinas. Fábricas de pinturas, recubrimientos asfálticos para pisos, papel y textil.

Carbón. Puede estar presente en forma de partículas suspendidas.

Petróleo y aceites. Proveniente de diversos orígenes, entre los cuales están los barcos, refinerías, ductos, industrias metálicas y los talleres mecánicos.

Ácidos. Aparecen frecuentemente en los desperdicios de minas, fábricas de productos químicos, acumuladores, hierro y cobre y en las procesadoras de pulpa de papel; producen valores elevados del pH, con efectos directos sobre la fisiología de la vida acuática.

Alcalis. Las industrias químicas, textiles y de curtidurías, arrojan desperdicios alcalinos, con presencia de un pH elevado.

Sales de metales pesados. Se encuentran presentes en los efluentes de las instalaciones industriales y de manufactura.

Sales solubles. Se encuentran en las aguas de drenaje cuando se usa sal sobre los pavimentos en invierno, en los desperdicios de las fábricas de productos químicos, minas de sal y en los efluentes ablandadores de agua.

2.1.2. Contaminación física.

Dentro de los parámetros físicos que indican algún grado de contaminación del agua se tienen al color, temperatura, olor y turbidez.

Color: Frecuentemente el color del agua residual es gris oscuro, en ciertas ocasiones negro. Existen algunas fuentes naturales pero los colorantes orgánicos son el aporte principal de este tipo de contaminación, dentro de los cuales es importante considerar algunos minerales.

Temperatura. En el agua residual la temperatura es ligeramente más alta que la del agua potable, que es debido al efecto de las actividades microbianas, gases solubles y viscosidad. La temperatura del agua residual varía ligeramente con la estación pero es normalmente más elevada que la temperatura ambiente.

Olor. Frecuentemente provocada por jabones o grasas y aceites o simplemente la desagradable presencia de olores putrefactos; su determinación es organoléptica de carácter subjetivo, para la cual no existe instrumento de observación ni registro, ni unidades de medida.

Turbidez. Se puede definir como la dificultad del agua para transmitir la luz causada por los sólidos suspendidos, coloidales o muy finos que se encuentran elevados, que son difíciles de decantar y filtrar, dando una apariencia nebulosa que es poco atractiva; además interfieren con la mayoría de los procesos a que se pueda destinar el agua (Tebbutt, 1990).

2.1.3. Contaminación biológica.

La contaminación biológica es provocada por microorganismos patógenos como son las bacterias coliformes las cuales se utilizan como indicadores más sensibles de contaminación. Casi todos los desechos orgánicos contienen grandes cantidades de microorganismos, el agua residual contiene más de 10^6 NMP/100 mL, pero los números reales presentes regularmente no se determinan. Después del tratamiento convencional del agua residual el efluente todavía contiene una gran cantidad de microorganismos, al igual que muchas aguas superficiales naturales (Tebbutt, 1990).

2.2. Parámetros físicos, químicos, biológicos e indicadores de contaminación que permiten evaluar la calidad del agua tratada en plantas de tratamiento de tipo aerobio.

Para evaluar los niveles de calidad y grado de contaminación presente en las aguas tratadas en las diferentes plantas de tratamiento, existen ciertos indicadores, dentro de los cuales destacan los siguientes:

Sólidos suspendidos totales: Es una medida de sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser retenidos en un filtro, después de secados. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavaderos, trituradores de basura (Brennan, 1980).

Los sólidos suspendidos se componen de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 1 milimicrón y 1μ y se componen de moléculas orgánicas y iones presentes en dilución verdadera en el agua. A su vez, los sólidos suspendidos, coloidales y disueltos pueden clasificarse de acuerdo a su volatilidad a $550 \text{ }^\circ\text{C}$; como los sólidos suspendidos volátiles, la fracción orgánica se oxidará y será expulsada como gas a dicha temperatura, permaneciendo la fracción inorgánica como ceniza. De acuerdo a lo anterior, los términos sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos fijos se refieren, respectivamente, al contenido orgánico e inorgánico (mineral) de los sólidos suspendidos. La determinación de sólidos volátiles se aplica frecuentemente a los lodos del agua residual para medir su estabilidad biológica.

Los sólidos suspendidos conducen al desarrollo de depósitos de fango y aumentan las condiciones anaerobias de la zona en los que son vertidos. Se descargan en aguas naturales incrementando su turbidez.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): la prueba de DBO estima el oxígeno gastado en la descomposición biológica actual de una muestra residual, y es efectivamente una simulación de laboratorio del proceso microbiano de autopurificación, mide la cantidad de

oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer la materia orgánica de una muestra de agua residual. Esta prueba se utiliza de bioensayo para medir el oxígeno consumido por los organismos vivos (principalmente bacterias) al utilizar como alimento a la materia orgánica presente en el desecho bajo condiciones aeróbicas y favorables en cuanto a nutrientes (fósforo y nitrógeno). La DBO es una medida del oxígeno requerido para la estabilización química y biológica de la materia orgánica en un intervalo específico, entre más sea la cantidad de materia orgánica vertida a un cuerpo de agua, mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición, por lo tanto un descenso en la cantidad del oxígeno disuelto, creara condiciones que van en detrimento de la vida acuática y otros usos benéficos (SARH, 1983).

La medida de la DBO es importante para el tratamiento de las aguas residuales y para la gestión técnica de la calidad del agua, ya que con su determinación se mide el rendimiento de algunos procesos de tratamiento; y a partir de esta medida se podrá calcular la velocidad a la cual se requerirá el oxígeno. Un alto valor de la DBO puede indicar un incremento en la microflora presente, interfiere en el equilibrio de la vida acuática, una cantidad excesiva de algas, producen olores y sabores desagradables y tapan los filtros de arena utilizados en las plantas de tratamiento. Así la DBO determina la carga orgánica de una planta de tratamiento y evalúa la eficiencia del sistema, por lo cual es importante para la regulación en trabajos y estudios de desecho o evaluación de la capacidad de purificación del agua residual.

Es importante para conocer indirectamente la cantidad de carga orgánica biodegradable, a someter dentro del sistema de tratamiento, como serían los carbohidratos o sustancias similares a los azúcares, conocidas por lo general como contaminación carbonácea; la prueba tarda teóricamente un tiempo infinito en completarse, sin embargo, la oxidación se ha completado del 95 al 99% un periodo de 20 días, y utilizando la determinación de laboratorio de la DBO, en un plazo de 5 días la oxidación se ha efectuado en un 60 a 70%. La prueba es netamente un bioensayo que utiliza a los microorganismos mediante la aplicación de inóculo, a fin de colocarlos en óptimas condiciones para su desarrollo.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): este parámetro indica el contenido de materia orgánica y otras sustancias reductoras, tales como Fe, NH₄, S, Mn, Mg, y mide la cantidad de consumo de un oxidante químico (dicromato o permanganato), por las materias oxidables contenidas en el agua, y también se expresa en ppm de Oxígeno. La determinación de la DQO se utiliza para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales o municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual es mayor que la DBO, debido a que es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológica.

En muchos tipos de aguas residuales es posible relacionar la DQO con la DBO, lo cual es muy útil debido a que la DQO puede determinarse en 2 horas comparada con los 5 días que supone la DBO. Una vez que la correlación ha sido establecida, puede utilizarse la medida de DQO para el funcionamiento y control de la planta de tratamiento. La relación DQO/DBO tiende a aumentar con el tiempo, tratamiento del desecho y/o las condiciones que favorezcan la estabilización. No es posible establecer relaciones fijas entre la DQO/DBO, antes que una muestra haya sido determinada por ambos parámetros y solo se podrá establecer su composición principalmente por sustancias oxidables por ambos procedimientos.

La DQO es un parámetro importante y rápido para determinar el grado de contaminación de corrientes y aguas residuales, así como para el control de las plantas de tratamiento, junto con la prueba de DBO, la DQO es utilizada para indicar la presencia de sustancias tóxicas y sustancias orgánicas resistentes biológicamente (SARH, 1983).

Temperatura: es una manifestación de la energía cinética molecular, más exactamente es el promedio de la energía cinética de las moléculas y se utiliza para conocer el grado relativo de calentamiento o de enfriamiento. Básicamente es importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores, etc. En el agua residual la temperatura es generalmente más alta que la de abastecimiento (Potable), debido a la adición de aguas calientes procedentes de las casas y actividades industriales. Como el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas de las aguas

residuales observadas son más altas que las temperaturas locales del aire durante la mayor parte del año y sólo son más bajas durante los meses más cálidos del verano, la temperatura media anual del agua residual puede variar, según su localización geográfica.

La temperatura del agua es un parámetro importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidad de reacción. Por otro lado el oxígeno es menos soluble en el agua caliente, parámetro importante en plantas de tratamiento aerobio, finalmente la temperatura elevada puede dar lugar a un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos así como eliminar los microorganismos utilizados en las plantas de tratamiento biológico.

Oxígeno Disuelto (OD): el oxígeno disuelto es un gas poco soluble en agua, está en función de la presión parcial de vapor saturado y de la temperatura del agua, es esencial para la respiración de los microorganismos aerobios así como para otras formas de vida aerobia. La disponibilidad del oxígeno constituye una característica clave en los procesos de control de la contaminación en general y en los procesos de lodos activados en particular. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es deseable para evitar la formación de olores desagradables.

El OD en el agua tiene una fuerte influencia sobre las especies acuáticas que varía entre 1.5 mg/L para peces ordinarios y 5 mg/L para la pesca deportiva. Cerca de estos niveles limitantes de OD, se entorpece la actividad de los peces y se incrementa su sensibilidad a las sustancias venenosas ó tóxicas (Tebbutt, 1990).

En un sistema industrial de tratamiento de aguas residuales, el oxígeno debe estar disponible a una tasa equivalente a la carga de demanda de oxígeno ejercida por las aguas residuales que entran en la planta. La tasa de disponibilidad del oxígeno disuelto determina la velocidad a la que se podrán purificar las aguas residuales.

pH. Es una de las pruebas más importante y frecuentemente utilizada en el análisis químico del agua. Prácticamente se utiliza en todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, tales como la neutralización ácido-base, suavizador,

precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, que dependen del pH. Sorenson definió el pH como $-\log[H^+]$, es el factor de intensidad de acidez. El uso del pH considera la actividad del ión hidrógeno (APHA-AWWA, WPCF, 1992).

La escala práctica del pH, comprende del 0, muy ácido, al 14, muy alcalino con el valor medio de 7, que corresponde a la neutralidad a 25 °C. Los extremos de pH son letales o severamente inhibitorios para los organismos y se puede considerar como un envenenamiento por iones hidrógeno o hidróxilo. La neutralización de los residuos antes de la descarga es un requerimiento normal en zonas controladas, es un proceso bastante simple de llevar a cabo y es posible controlarlo en un efluente, balanceando corrientes ácidas y alcalinas provenientes de diferentes procesos (Winkler, 1986).

El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH entre 6-9, ya que las aguas ácidas o muy alcalinas son indeseables debido que son corrosivas o presentan dificultades en su tratamiento. El agua residual con concentraciones adversas de iones hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos, a no ser que se realice una neutralización previa.

Grasas y aceites: los problemas ocasionados por las grasas y aceites, son originados por su baja solubilidad en agua y su tendencia a formar películas muy finas en la superficie, lo cual interfiere en la transferencia de oxígeno atmosférico, indispensable para la autopurificación de los cuerpos naturales y para los sistemas de tratamiento biológico. En un tratamiento de lodos activados las grasas generalmente se acumula en agregados de distintos tamaños e imparten un aspecto desagradable a los tanques de sedimentación final, mientras que en los sistemas de alcantarillado causa problemas por obstrucción. El término grasas y aceites se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas con características especiales como son su baja solubilidad en agua y su tendencia a formar una película muy fina en la superficie; el concepto incluye las grasas animales, aceites, ceras y constituyentes no polares que se hallan en el agua residual. Las grasas animales y aceites son compuestos (ésteres) de glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Los aceites y grasas, son compuestos muy semejantes entre sí, y están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, en diversas proporciones.

Las grasas se hallan comúnmente en las carnes, germen de los cereales, semillas, nueces y ciertas frutas, son componentes orgánicos muy estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias. Los ácidos minerales las atacan, dando como resultado la formación de glicerinas y ácidos grasos, mientras que en presencia de álcalis, tales como hidróxido de sodio, la glicerina se libera y forma sales alcalinas de los ácidos grasos.

Los aceites minerales derivados del petróleo como el queroseno y aceites lubricantes, están constituidos por carbón e hidrógeno y su mayoría flotan sobre el agua residual aunque una parte de ellos es llevada al fondo por los sólidos sedimentables. Estas partículas interfieren en la acción biológica.

Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM): Las SAAM son sustancias que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del líquido en el cual se encuentran disueltos, de modo que adquieren mayor poder de penetración a través de los poros de ciertos materiales, a la vez que se extienden más fácilmente en la superficie de los cuerpos en los que se aplican.

A partir de 1945 los detergentes sintéticos han tenido gran aceptación debido a que no son afectados por las sales minerales contenidas en las aguas duras, además tienen elevado poder humectante, son neutros en solución, de fácil producción y precio moderado. Los detergentes están constituidos, en un 20 a 30% de agentes tensoactivos y en un 70 a 80% de aditivos que sirven para aumentar sus propiedades; entre los aditivos más comunes están: tripolifosfato de sodio 25-50%, sulfato de sodio 5-10%, silicato de sodio 2-10%, blanqueador óptico, colorante y enzimas. El grado de descomposición se relaciona con su estructura química, así las ramificaciones en la cadena alquímica del surfactante ABS, causa un retardo definitivo en su degradación, cabe destacar que dicha resistencia persiste aún después del tratamiento biológico.

En los Efluentes de las plantas de tratamiento de lodos activados, se observa una degradación del 50% a un 90% en el ABS en relación con el influente, sin embargo generan espuma en las aguas a las que se vierten los efluentes residuales. Estos tienden a acumularse en la fase aire-agua. Durante la aireación del agua residual, estos

compuestos se acumulan sobre la superficie de las burbujas de aire causando una espuma muy estable. Aquellos que provienen de los sulfonatos alquil bencenos (SAB) producen muchas dificultades por su resistencia a la descomposición por medios biológicos (SARH, 1983).

Las SAAM llevan a cabo la transferencia del Azul de Metileno, un tinte catiónico, de una solución acuosa a un líquido orgánico inmisible, hasta el equilibrio. Esto ocurre a través de la formación de un par iónico entre el anión SAAM y el catión azul de metileno. La intensidad del color azul resultante en la fase orgánica es una medida de su concentración. Los surfactantes aniónicos se encuentran entre las más destacadas sustancias naturales y sintéticas, que muestran actividad al azul de metileno. El método es útil para valorar el contenido de surfactante aniónico de las aguas limpias y residuales, pero debe tenerse siempre en cuenta la posible presencia de otros tipos de SAAM (APHA-AWWA, WPCF, 1992).

Los detergentes entran en las aguas residuales principalmente por descargas de residuos acuosos del lavado doméstico y limpieza industrial.

a) Espuma: desde el punto de vista estético es indeseable la formación de espuma en los cuerpos de agua. Su presencia en las plantas de tratamiento provocan problemas de operación, oculta los equipos de control y recubren las superficies de trabajo con sedimentos que contienen altas concentraciones de surfactantes, grasas, proteínas y lodos, afecta la sedimentación primaria, ya que engloba partículas que reducen la sedimentación, también dificulta la dilución y difusión del oxígeno atmosférico en el agua.

b) Entre otros efectos secundarios producidos en los procesos de tratamiento de agua residual, se presentan cambios en la DBO y en los sólidos suspendidos, efectos corrosivos en algunas partes mecánicas de las plantas, interferencias en el proceso de cloración y en la determinación de oxígeno disuelto, algunos aditivos usados en los detergentes pueden interferir en la formación de floculos.

Metales pesados: algunos metales pesados, como, Hierro (Fe), Cromo (Cr), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia podría limitar el crecimiento. La presencia de cualquiera de los metales citados en cantidades excesivas interferirá con el tratamiento biológico del agua dada su toxicidad.

Plomo (Pb): es un elemento natural de la corteza terrestre se encuentra principalmente como PbS (llamado galena), en concentraciones de 16 ppm, la presencia en agua dulce generalmente indica la contaminación con desechos metálicos o con residuos industriales que lo contienen, como el arsenato de plomo. Sin embargo, también puede aparecer en el agua como resultado de la corrosión de amalgamas, como las soldaduras; por su carácter anfótero el plomo es atacado en presencia de soluciones cáusticas.

En el humano se deposita en los huesos, médula ósea, cerebro y nervios periféricos. La anemia es el primer síntoma del envenenamiento por plomo, dado que interfiere en la síntesis del grupo hemo; igualmente está asociado a síntomas como dolor abdominal intenso, que incluyen náuseas, vómito y dolores abdominales. Más grave es la degeneración del tejido en el sistema nervioso central, que especialmente se observa en niños, asociado a la encefalopatía aguda o crónica (puede provocar deterioro mental y neuropatía periférica).

El Plomo en una planta de tratamiento afecta a los microorganismos retardando la degradación heterótrofa de la materia orgánica. Los lodos residuales pueden contener niveles muy altos y su uso como fertilizante puede contaminar los suelos (Duffus, 1983).

Cobre (Cu): puede estar presente en el agua por contacto con minerales que contengan cobre, se encuentra en la superficie terrestre en concentraciones de 24-55 mg/kg, en forma de sulfuros, sulfatos, carbonatos y otros compuestos. Es probable que sea un producto de corrosión de las tuberías de cobre, amalgamas o puede haberse agregado deliberadamente, como sulfato de cobre, para el control de las algas. Cuando se agrega para el control de algas, debido a que su solubilidad está limitada, pueden agregarse materiales orgánicos quelatantes a la formulación del sulfato de cobre para evitar que el cobre precipite y, por tanto, se mantenga su efectividad.

Las Normas Oficiales para el agua potable NOM-SSA-127 limitan la concentración del cobre a un máximo de 1 mg/L, a concentraciones más altas, el agua tiene un sabor astringente. Si la fuente de agua corroe al cobre, cuando se abre la llave de la tubería que no se ha utilizado durante la noche puede contener concentraciones relativamente altas y su ingestión puede provocar vómito inmediato.

El cobre es esencial para algunos organismos acuáticos, encontrándose presente en la hemocianina de los mariscos, equivalente a la hemoglobina en los seres humanos. Su acumulación en el desarrollo de los infantes, desarrolla la enfermedad de Wilson de carácter hereditario, se observan daños histológicos que se desarrollan principalmente en niños menores de 5 años.

Cadmio (Cd): es un elemento relativamente raro, su abundancia en la litósfera se considera del orden de 0.5 g/T de la corteza terrestre. Las principales fuentes de cadmio son los minerales de zinc de diversas partes del mundo. México es probablemente la fuente primaria más importante de los minerales portadores de cadmio en cantidades suficientes para la explotación, es usado en la industria como agente antioxidante, en aleaciones, así como en las bases de electrodepositos, la manufactura de PVC, en baterías de Níquel-Cadmio, pigmentos y varillas de control para reactores nucleares.

En los tratamientos de agua municipal es fácilmente incorporado; cuando se realiza la filtración, dentro de un sistema de tratamiento remueve alrededor del 80% del Cadmio presente (Cary, 1990).

En el ambiente es peligroso porque muchas plantas y animales lo absorben eficazmente concentrándolo en sus tejidos; no obstante la retención a partir del alimento por parte de los mamíferos que están sometidos a una dieta baja en calcio, una vez absorbido se asocia con las proteínas de bajo peso molecular, metalotioneína y se acumula en los riñones, hígado y órganos reproductores. A dosis pequeñas pueden causar vómito, diarrea y colitis y la exposición continua causa hipertensión, agrandamiento del corazón y muerte prematura.

Existen ciertas pruebas que sugieren que puede inducir anomalías cromosómicas y puede ejercer efectos carcinógenos en los pulmones (Duffus, 1983).

Zinc (Zn): es un metal del grupo II B, considerado un elemento traza por estar presente en la corteza terrestre en una concentración entre 17-125 mg/kg, en el agua rara vez se encuentra en concentraciones por encima de 1 mg/L, con una concentración típica de aproximadamente 0.05 mg/L. Debido a que tiende a producir un sabor astringente, su concentración se limita a 5 mg/L como máximo en los suministros públicos de agua.

El zinc puede estar presente en el agua debido a las descargas de desechos de las operaciones mineras, metalúrgicas o del acabado de metales. También puede aparecer debido a la corrosión de las tuberías de acero galvanizado y con frecuencia, está incluido en los inhibidores patentados de corrosión.

El zinc puede eliminarse mediante el ablandamiento con concentraciones inferiores a 0.1 mg/L. y también mediante el intercambio catiónico en el ciclo del sodio o del hidrógeno.

Es un micronutriente esencial y por lo general se considera como uno de los elementos menos peligrosos, aunque su toxicidad puede aumentar debido a la presencia de arsénico, plomo, cadmio y antimonio como impurezas. Se han observado efectos tóxicos debido a la inhalación de humos procedentes de baños en los que se efectúa la galvanoplastia. La fiebre del zinc se caracteriza por escalofríos, fiebre y náuseas. Un factor que sirve para minimizar el riesgo de envenenamiento es que dicho elemento se pierde a lo largo de las cadenas tróficas, a diferencia del metilmercurio o del metilcadmio, que se acumulan (Duffus, 1983).

Fierro (Fe): se encuentra en la mayor parte de las rocas ígneas y minerales arcillosos, tiene la capacidad de formar compuestos estables con S, O y Si, en ausencia de oxígeno es bastante soluble en estado reducido y cuando se oxida en un rango de pH de 7-8.5, es casi completamente insoluble y su concentración se puede reducir a menos de 0.3 mg/L, Limite Máximo establecido en la NOM-SSA-127/96 para agua potable. Las condiciones de estabilidad hacen que las aguas subterráneas normalmente contengan Fe disuelto.

las aguas que contienen materia orgánica, además de estos metales, pueden presentar las llamadas bacterias ferruginosas, cuyo crecimiento puede dar lugar al depósito de lodos y costras duras en el interior de tuberías y depósitos. Estos crecimientos bacteriológicos pueden obturar rápidamente las tuberías y sus accesorios, además de producir olores desagradables, también se observan manchas y decoloraciones de los aparatos con aguas que contengan este metal.

El tratamiento corriente para eliminar el fierro es por aireación del agua en la cual la forma ferrosa pasa a férrica y precipita, o bien se elimina por coagulación, filtración y se puede emplear también mediante intercambio catiónico (Brennan, 1980).

Existe poca posibilidad de problemas de toxicidad por fierro, el problema se presenta cuando existe una mayor concentración de otros metales como el cobre o zinc que provocan deficiencia de fierro en las plantas, por inhibir su asimilación.

La deficiencia de hierro en humanos origina anemia, pero se observa con más frecuencia en mujeres embarazadas, también se vuelve un problema entre las personas que tienen pérdida de sangre por cualquier causa.

Cromo (Cr): la corteza terrestre contiene 125 mg/Kg de cromo, encontrándose ampliamente distribuido, existe generalmente en dos formas en el agua, Cromo trivalente (Cr^{+3}) y Cromo hexavalente (Cr^{+6}). La forma hexavalente del cromo tiene un interés primordial en los análisis de agua, por que se utiliza como inhibidor de la corrosión, también es común encontrarlo en desechos industriales, donde puede estar ya sea en forma trivalente, hexavalente o ambas (Cary, 1990).

Es un micronutriente en la mayoría de los microorganismos y es esencial en pequeñas cantidades para el metabolismo de las grasas y de los hidratos de carbono. En la industria se usa para fabricar aceros, en los recubrimientos de cromo, en el curtido de cuero, pigmentos, como catalizador e inhibidor de corrosión. Los cromatos son solubles en agua y pueden envenenar los procesos de tratamiento de agua residuales. El ion hexavalente es el más tóxico y debe reducir al estado trivalente para formar productos insolubles antes que los residuos de cromo pasen al ambiente.

El cromo hexavalente causa cáncer de pulmón, además de esto se ha demostrado que los cromatos irritan ojos, nariz, garganta y la exposición crónica puede provocar daños en el hígado y riñones. Un efecto característico sobre los seres humanos es la aparición de perforaciones en el septo nasal, a nivel celular parece ser que el cromo hexavalente puede causar anomalías cromosómicas. El cromo es particularmente peligroso por que se acumula en organismos, se ha demostrado que algunas algas acuáticas concentran cromo 4,000 veces sobre el nivel de su ambiente inmediato.

2.2.1. Parámetros biológicos.

Es importante realizar estudios microbiológicos en muestras de agua con el fin de determinar su calidad sanitaria, se tiene conocimiento que el agua contaminada es un medio con gran potencial para transmitir una amplia variedad de enfermedades hay aproximadamente 20 enfermedades infecciosas, que tienen su origen en bacterias, protozoarios o virus. La mayoría de las enfermedades como el cólera, tifoidea, disentería bacilar, etc., siguen su ruta clásica de transmisión fecal-oral y los brotes se caracterizan por que enferman simultáneamente varias personas que tienen contacto con la misma fuente de agua. El grupo de bacterias coliformes es el principal indicador de la adecuación del agua para uso doméstico, industrial o de otro tipo (APHA, AWWA, WPCF, 1990).

Los aspectos biológicos con los que un operador debe estar familiarizado incluyen el conocimiento de los grupos principales de microorganismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales así como aquellos que intervienen en el tratamiento biológico, los organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia, así como su finalidad de los métodos empleados para valorar la toxicidad de las aguas residuales.

Organismos coliformes: todos los animales de sangre caliente albergan en su tracto intestinal bacterias parásitas de varios tipos y a los miembros de este grupo específico se les conoce como grupo de bacterias coliformes. Estos microorganismos no son patógenos y funcionan en el proceso digestivo del organismo huésped. Se descargan de

los intestinos grandes cantidades y siempre se encuentran en forma abundante en las aguas residuales, las cuales contienen usualmente de 400 000 a 5,000,000 de bacteria coliformes por mL, cuando menos (Dseny, 1995).

Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter* y su uso como indicadores es un problema, debido a que *Aerobacter* y ciertas especies de *Escherichia* pueden crecer en el suelo, por lo tanto su presencia no siempre significa contaminación con residuos humanos. Parece ser que *Escherichia coli* tiene un origen totalmente fecal. Es difícil determinar *E. coli* sin incluir los coliformes de suelo; como resultado de ello todo el grupo de coliformes se utiliza como indicador de la contaminación fecal.

2.3 Tratamiento del agua residual.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales, son la herramienta para controlar la contaminación del agua, mejorando su calidad y para proporcionar un posible reuso, proteger la dinámica de los cuerpos receptores y la salud pública. Se cuenta con varios y diferentes métodos de tratamiento de agua residuales, o más comúnmente una combinación de los mismos, dependiendo de la composición, concentración de contaminantes, calidad requerida del efluente y posible reutilización (Fermín, 1994).

Los sistemas de tratamiento para su exposición se agrupan en tres tipos, que son: **a) tratamiento primario, b) tratamiento biológico o secundario y c) tratamiento químico o terciario**, esta secuencia se refiere al nivel de calidad obtenida con el tratamiento que ha sido sometida el agua residual. Un tratamiento de agua residual debe satisfacer ciertas condiciones ambientales algunas de las cuales son:

- 1) Prevenir la contaminación de aguas de abastecimiento por agentes químicos, físicos y biológicos,
- 2) Evitar la destrucción de la vida acuática.
- 3) Evitar daños a las aguas naturales usadas para recreación, agricultura, comercio o industria;
- 4) Protección contra el desarrollo de cualquier enfermedad que pueda proceder de la irrigación de agua de alcantarillado o disposición de lodos,
- 5) Evitar daños al suelo o subsuelo;
- 6) Evitar malos olores, o un aspecto antiestético en los lugares donde se encuentre la planta de tratamiento
- 7) Estimular algún beneficio utilizando el efluente de la planta de tratamiento (Syed, 1994).

2.3.1 Tratamiento primario.

Es aquel que básicamente prepara al agua para su tratamiento biológico, eliminando ciertos contaminantes y reducen las variaciones de caudal que llegan a la planta.

Rejillas y cribas: es un dispositivo con aperturas de tamaño uniforme, utilizado para retener sólidos de cierto tamaño que arrastra el agua residual. Las rejillas se fabrican con barras de acero soldadas a un marco que se coloca transversalmente al canal. Las barras están colocadas verticalmente o con una pendiente de 30 a 80 grados. Las rejillas son utilizadas para proteger las bombas, válvulas, conducciones y otros elementos contra posibles daños y para evitar que se obstruyan por taponamientos con objetos de gran tamaño. Las separaciones de las barras generalmente varía en un rango de 1.6 a 7.5 cm, dependiendo del diseño generalmente estas estructuras tienen una eficiencia de remoción de sólidos con mayor grosor del 53 a 61%.

Las cribas con abertura de 3 mm o menos, también han sido utilizadas en el tratamiento de aguas residuales. Se clasifican en bandas de disco y de tambor, se utilizan generalmente en el desecho industrial, pero no se consideran adecuadas para el tratamiento de aguas domésticas salvo en casos excepcionales, debido a las aplicaciones restringidas que tienen.

Tamizado: su función es similar a la de las rejillas, sólo que se emplean para sólidos o material menos grueso y son placas perforadoras o mallas metálicas. También los hay de limpieza manual o mecánica, tienen 3 mm de ancho o menos.

Trituradores: consisten en unos dispositivos que trituraran el material retenido en las rejillas, sin eliminarlos del agua residual. Los dispositivos trituradores pueden ir precedidos de desarenadores cuyo objeto es alargar la vida del equipo y reducirlo del desgaste de las superficies cortantes de aquellas otras zonas de los mecanismos donde haya un pequeño espacio libre entre las partes fijas y móviles.

Desarenadores: la mayoría de los sistemas de alcantarillado especialmente aquellos con drenaje combinado, transportan en el flujo grandes cantidades de arena. Si este

material no se retira, puede causar daño a las partes mecánicas de la planta de tratamiento, debido a que las partículas de arena son relativamente grandes con una densidad alta comparada con las partículas orgánicas, regularmente se separan por el principio de sedimentación diferencial. Las partículas de arena con un diámetro de 0.2 mm y P.E. 2.65 tienen una velocidad de sedimentación de 1.2 m/min, mientras que la mayoría de los sólidos suspendidos en el agua residual tienen velocidades de sedimentación considerablemente más bajas (Sans, 1989).

El objetivo de los desarenadores es separar arenas, proteger al equipo mecánico móvil de la abrasión y desgaste anormales, reducir la formación de depósitos pesados en las tuberías, canales y conductos y la frecuencia de limpieza de los digestores que hay que realizar como resultado de excesivas acumulaciones de arena en tales unidades. Existen dos tipos de tanques desarenadores, los de flujo horizontal y los de tipo aireado. El de tipo horizontal consiste en que el flujo atraviesa el desarenador en esa dirección, controlándose la velocidad rectilínea del flujo mediante las dimensiones del tanque (canal) o por el uso de vertedores especiales situados en el extremo de aguas abajo del tanque; en cambio los de tipo aireado, consisten en un tanque de aireación con flujo espiral, en el que la velocidad es controlada por las dimensiones del tanque y la cantidad del suministro de aire al mismo.

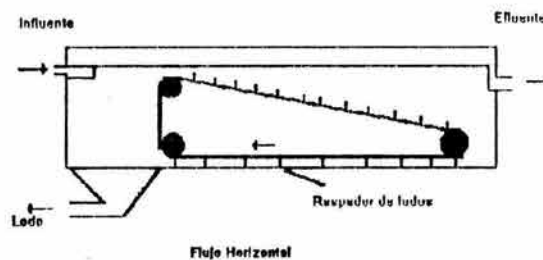
Tanque separadores de grasas: consiste en un dispositivo de fácil construcción que debe instalarse cuando se eliminan desechos grasos en grandes cantidades, compuesto de tal manera que la materia flotante ascienda y permanezca en la superficie del agua residual hasta que se recolecte y elimine, mientras que el líquido sale del tanque en forma continua, a través de una abertura situada en el fondo, o por debajo de unos muros o deflectores de espuma bastante profundos. Para determinar su capacidad se considera, en general el doble de la cantidad de líquido que entra durante la hora de máximo gasto del influente (Dissya, 1993).

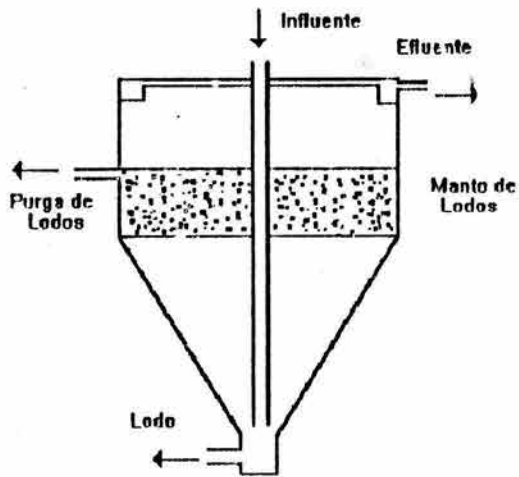
La finalidad es la separación del agua residual de sustancias más ligeras. El material recogido en la superficie incluyen: aceites, jabón, pedazos de madera, residuos vegetales, etc. Las consideraciones generales para el diseño de los tanques, son:

- a) La entrada del agua será ahogada y la salida por la parte inferior.
- b) Relación largo ancho 25.1 y la altura mínima de 60 cm.
- c) El tiempo de retención de 1 a 15 min.

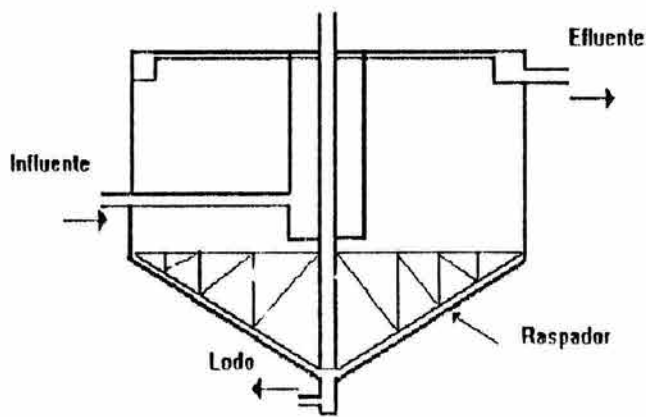
Tanque de sedimentación: tienen dos funciones: la remoción de sólidos sedimentables para que el efluente sea aceptable y la concentración de sólidos removidos en un volumen más pequeño. Por medio de la separación de los componentes del agua en dos fases, una fase sólida que corresponde a los lodos formada por partículas de sólidos suspendidos, más pesados que el agua y que por gravedad se depositan en el fondo y la fase líquida formada por el agua y compuestos en solución.

El diseño de un tanque debe considerar ambas funciones y sus dimensiones se fijarán de acuerdo con cualquiera de las dos funciones que sea limitante. La función de espesamiento de lodos de un tanque es importante cuando se trata de concentraciones relativamente alta de sólidos homogéneos. En la fig. (1) se muestran los principales tanques de sedimentación; el tanque horizontal es compacto pero la longitud del vertedor del efluente es corta, por lo que deben usarse vertedores suspendidos. Los lodos se mueven al sumidero por medio de un raspador de puente viajero y se puede servir a varios tanques o por carga hidráulica.





Flujo Vertical



Flujo Radial

Figura 1. Tipos de Tanques de Sedimentación.

Los tanques circulares tienen la ventaja de que la longitud de vertedor es mayor y los mecanismos de raspado más simples, pero no son compactos. Los tanques con fondo de tolva y flujo horizontal son preferidos en las instalaciones pequeñas de agua residual donde el costo extra de su construcción está más que compensado por la ausencia de mecanismos de raspado; el tanque con fondo de tolva de flujo vertical, se usa en las plantas de tratamiento de agua y su operación se basa en manto de lodos que sirve para filtrar partículas más pequeñas que sería removidas únicamente por sedimentación a tasa de desbordamiento. Existen diseños diferentes de estructura de entrada y salida, aún cuando algunos diseños en particular pueden ofrecer alguna mejora en la remoción de sólidos con las suspensiones floculentas homogéneas, no son muy diferentes cuando se trata de remover los sólidos suspendidos del agua residual cruda.

El diseño de un tanque debe considerar ambas funciones y sus dimensiones se fijarán de acuerdo con cualquiera de las dos funciones que sea limitante. La función de espesamiento de lodos de un tanque es importante cuando se trata de concentraciones relativamente altas de sólidos homogéneos.

La sedimentación se usa para remover partículas suspendidas hasta de 50 mm lo que depende de su densidad, pero con partículas más pequeñas, que tienen velocidad de sedimentación muy baja, no es factible su remoción.

Filtración: es la operación mediante la cual se elimina las partículas sólidas suspendidas presentes en un líquido al hacerlo pasar por un lecho filtrante, compuesto de material granular, con o sin adición de producto químico. La filtración en medios granulares se realiza a través de varios mecanismos de eliminación tales como el tamizado, intercepción, impacto, sedimentación y adsorción (Rigola, 1989).

Si un proceso de tratamiento de agua residual realiza una operación de filtración debe tenerse en cuenta que la pérdida de eficacia del proceso del filtrado se presenta cuando el agua del efluente contiene una concentración de sólidos por encima del nivel prefijado, o bien se produce una pérdida de carga mayor de la estudiada; cuando se llega a este punto, el sistema de filtrado debe ser lavado con agua a contracorriente. Las aguas de

lavado contendrán todos los sólidos y en consecuencia, deben ser recirculadas a las instalaciones del tratamiento primario o bien al tratamiento secundario.

2.3.2. Tratamientos Biológicos o Secundarios.

Desde hace ya varias décadas se han venido utilizando métodos biológicos para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico o industrial, se basa en un proceso aparentemente simple en el que una población mixta de microorganismos (bacterias, hongos, algas, protozoos, rotíferos, crustáceos y virus), utilizan como nutrientes materia orgánica biodegradable que se encuentra en el agua residual. Este es el mecanismo por el cual las corrientes de aguas naturales, como los lagos y ríos se autopurifican.

En el tratamiento biológico el proceso consiste únicamente en transformar los nutrientes en tejido celular y diversos gases. El tejido celular es ligeramente más pesado, en consecuencia la separación tendrá que hacerse por sedimentación y decantación, si no se eliminara el tejido celular del agua el nivel de DBO disminuiría poco, puesto que el tejido celular es materia orgánica y la disminución correspondería a la conversión bacteriana de nutrientes en productos gaseosos (Fair-Geyer y Okum, 1990).

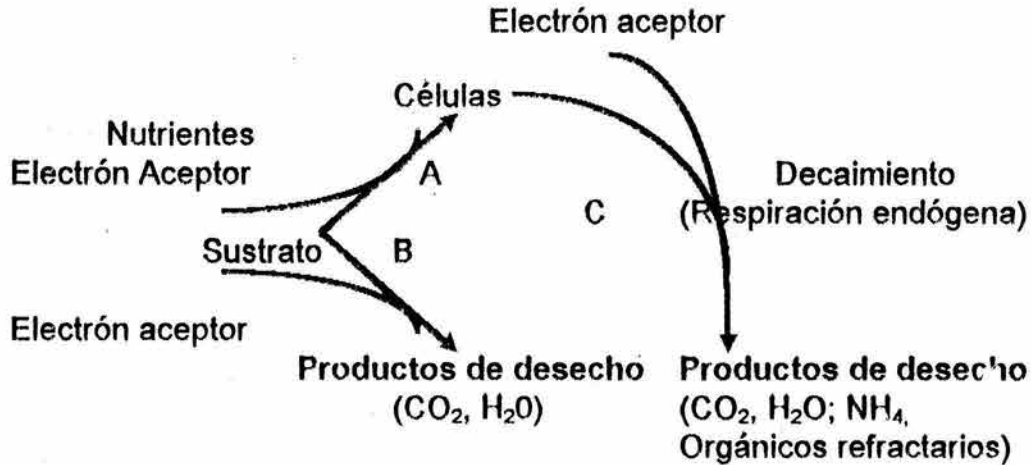
De acuerdo al tipo de microorganismos involucrados en la degradación de la materia orgánica, a su actividad metabólica y al aceptor final de electrones, se puede distinguir dos tipos de procesos, los aerobios y los anaerobios.

2.4 Degradación Microbiológica de los Compuestos Orgánicos.

Muchos de los fenómenos que se llevan a cabo en las aguas naturales y procesos que constituyen el tratamiento de aguas residuales se deben a reacciones redox que son catalizadas o medidas por sistemas biológicos, por ejemplo, bacterias, algas y otros microorganismos. Los microorganismos no realizan reacciones químicas; las catalizan y utilizan para diferentes propósitos, tales como derivar energía en los procesos metabólicos o la obtención de materiales para la síntesis biológica, sin embargo nunca

está por demás enfatizar la importancia de la catálisis microbiana por reacciones redox.

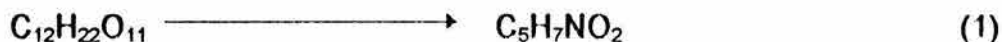
La vía metabólica utilizada por los microorganismos para reducir o cambiar compuestos orgánicos son: aerobia, anóxica y anaerobia, las cuales pueden ser descritas por ecuaciones redox (oxidación-reducción) cada ecuación básica (síntesis o crecimiento, respiración y decaimiento) puede ser balanceada y adicionada al proceso descrito formando el ciclo de carbono.



La ecuación A aborda la síntesis o crecimiento, la ecuación B es la respiración y la C es el decaimiento. La ecuación B y C representan los productos finales bajo condiciones normales; una excepción del amoníaco en el sistema de nitrificación, donde el producto final transforma el nitrógeno en nitratos en un sistema no nitrificante y el amoníaco es el producto final.

2.4.1 Síntesis.

Se puede escribir la ecuación de la síntesis conociendo una forma empírica de las células. En los 50's y más tarde, las células de un proceso de lodos activados fueron analizadas con carbono-hidrógeno-nitrógeno



Balance de átomos mayores, con el uso del amoniaco como vía de nitrógeno:



Balance del oxígeno con el agua:



Balance del hidrógeno con ion hidrógeno:



La ecuación (4) es la síntesis y describe la conversión del sustrato a células y sustrato. No es posible que todo el sustrato se convierta en células desde alguno de los productos de oxidación y se transforma a energía. Ahora debe combinarse la ecuación de síntesis con la de respiración obteniendo una ecuación neta.

2.4.2 Respiración.

La ecuación de la respiración es:



Una combinación de la síntesis y la ecuación (5) es una medida experimental y reportada en unidades de masa celular por masa del sustrato. La masa producida para organismos heterotróficos son encontrados por arriba de 1. Supongamos que se obtiene una producción masa celular/masa sustrato igual a 0.6. Primero se obtiene la producción molar de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Y(\text{molar}) = 0.6 * 342/113 = 1.816.$$

Al combinar la ecuación (4) y (5) producen una ecuación que tiene una mol de sustrato del lado izquierdo y 1.816 moles de células en la derecha, entonces se multiplica la

ecuación (5) por un segundo coeficiente "a" produce 1.0 moles de sustrato. Posteriormente se multiplica la ecuación (4) por 1.816/12 o 0.151:



Multiplicar nuevamente ecuación (5) por (1.0-0.757)



La nueva ecuación puede ser usada para definir el producto final y la estequiometría del proceso. En sistemas biológicos, fue usado para obtener una producción teórica, o observada (Y_{obs}). La producción teórica se determina desde una serie de experimentos efectuados a diferentes tiempos de retención celular; se mide la producción de células y se calcula una producción máxima (extrapolando) a un mínimo o agotando el tiempo de retención celular. Esta producción celular máxima es posible desde un cultivo microbiano dado. La producción calculada se conoce como la producción celular por unidad de masa del sustrato metabolizado o consumido; se mide y especifica para la retención celular y las condiciones del reactor al tiempo del experimento.

La ecuación 7 puede ser descrita usando la Y observada o Y teórica. Si se utiliza la Y teórica, entonces debe obtenerse una ecuación del decaimiento celular para esa condición particular, que es muy tedioso; si se procedió correctamente se debe obtener el mismo resultado de la Y teórica y la observada.

2.4.3 Decaimiento.

La ecuación final es necesariamente una ecuación de decaimiento o respiración endógena, que tiene la siguiente expresión:



La ecuación anterior muestra como producto final al nitrógeno en forma de amonio, lo que asume un proceso de nitrificación, cuya ocurrencia tendría como producto final al

nitrito. Se puede iniciar sobre la ecuación (8) para obtener nitrato en lugar del amonio y promover un mecanismo secuencial dentro de una ecuación balanceada o puede producir la oxidación del amonio como sigue.



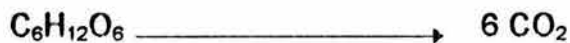
la suma es :



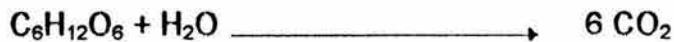
2.5 Tratamientos Biológicos Aerobios.

Son aquellos en los que la biomasa está constituida por microorganismos aerobios o facultativos, consumidores de oxígeno, el carbono de la materia orgánica disuelto en el agua se convierte parcialmente en CO_2 , con producción de energía, y en parte es anabolizada para sintetizar materia celular (Rigola, 1989). La reacción global considerando la oxidación de la glucosa, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ será la siguiente:

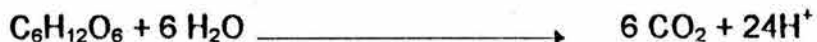
Balance del átomo mayor. En este caso usando CO_2 como producto final para carbono.



Balance del oxígeno con agua.



Balance de Hidrógeno.



Balance de cargas con electrones.



Note que toda la carga eléctrica de los átomos está balanceada, en una Semi-reacción, con una reacción de oxidación. Los electrones son producidos o removidos desde el sustrato. El estado de oxidación de carbono es cero en el lado izquierdo y +2 la derecha de la ecuación.

Para reacciones aeróbicas se puede escribirse la siguiente semi-reacción.

Balance del oxígeno con agua



Balance del hidrógeno:



Balance de cargas con electrones



Multiplicando las ecuaciones (10) y (11) para obtener una nueva ecuación balanceando a cero electrones, tenemos:



Sumando.



Esta ecuación representa la respiración o ecuación de la Demanda Teórica de Oxígeno (ThOD). Desde esta ecuación puede calcularse la ThOD con 6 moles de O_2 por moles de Glucosa, o 001.07 g O_2 /g glucosa.

$$\text{ThOD} = 6 \cdot 32 / (6 \cdot 12 + 12 + 6 \cdot 16) = 1.07$$

En los procesos aerobios el 90% de la energía contenida en la materia orgánica como (DQO) es convertida en gas y el 10% restante se convierte en biomasa. Los factores necesarios para estos tratamientos son: a) población mixta de microorganismos activos, b) buen contacto entre los microorganismos y el agua residual, c) disponibilidad de oxígeno, d) disponibilidad de nutrientes y e) mantener las condiciones ambientales favorables, como temperatura y pH (Syed, 1994).

Existen distintos tipos de procesos aerobios, cuya selección depende del volumen, concentración, características de las sustancias disueltas, variabilidad del vertido y costo de la energía.

Hay tres tipos básicos de unidad de tratamiento aerobio: 1) Filtro percolador o lecho de bacterias, 2) Laguna de oxidación y 3) Lodos activados.

Filtro percolador o lecho de bacterias: es la forma más antigua de tratamiento biológico, básicamente consiste de un lecho de piedra circular o rectangular permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual. El medio filtrante comúnmente usado son: roca volcánica, de mayor uso, antracita, escoria o medios sintéticos como los lechos de material de plástico, con espesor de 9 a 12 m.

La profundidad del filtro rocoso varía con cada diseño generalmente de 0.9 a 2.4 m con una profundidad media de 1.8 m. La forma del filtro más usada es circular (fig. 2) y el agua a tratar se rocía por encima, generalmente con un distribuidor giratorio. El agua tratada sale por la parte inferior del disco mediante un sistema de desagüe, por el cual también salen los sólidos biológicos que se hayan separado del medio y permite también la difusión del aire. En estos procesos se puede establecer un ambiente anaerobio cerca de la superficie del filtro, puesto que es posible que no llegue suficiente oxígeno a las capas altas del filtro como para mantener el ambiente aerobio; esto produce una pérdida de la película biológica que es función, fundamentalmente de la carga hidráulica y orgánica del filtro.



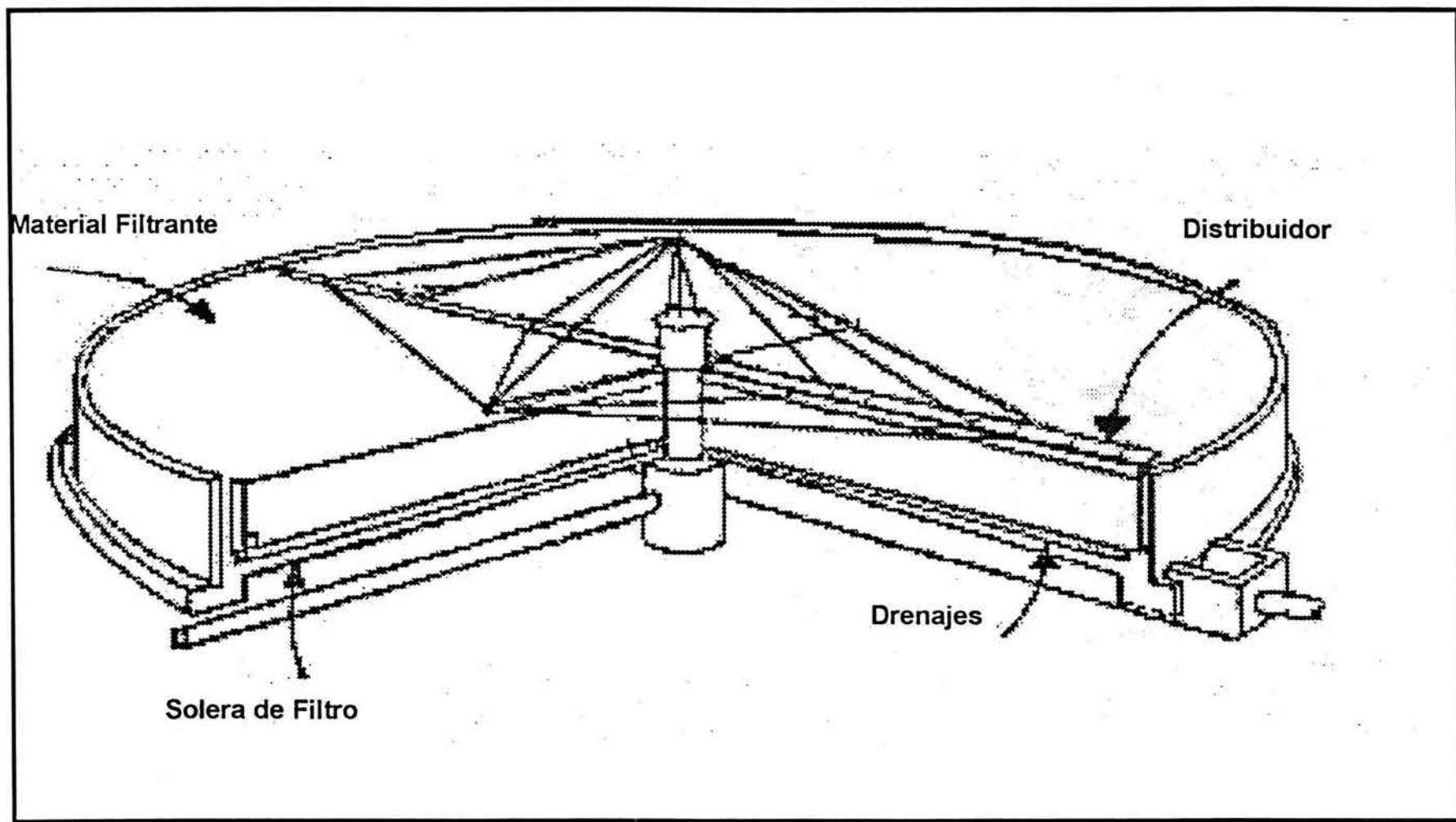


Fig. 2. Sección de un filtro percolador (de Door-Oliver).

Al igual que en el proceso de lodos activados, la incorporación de sedimentos juega un papel muy importante en el proceso de filtros percoladores, ya que es necesaria para la eliminación de sólidos suspendidos desprendidos durante los períodos de descarga en los filtros de baja carga, así como de las cantidades menores de sólidos desprendidos continuamente en los filtros de alta carga. Si se utiliza recirculación, una parte de los sólidos sedimentables podrían recircularse y purgar el resto, la cual no es tan importante como en el proceso de lodos activados.

En el proceso del filtro percolador, la mayoría de los microorganismos activos se adhieren al medio filtrante y no sale del reactor aunque la recirculación podría ayudar a la inoculación del filtro, los objetivos principales de la recirculación son diluir las aguas residuales cargadas del influente y colocarlo de nuevo en contacto con la población biológica para su tratamiento adicional. La recirculación casi siempre forma parte de los sistemas de filtros percoladores de alta carga.

Laguna de Oxidación: son construcciones poco profundas, que normalmente reciben aguas residuales crudas y que se tratan con procesos de estabilización natural en condiciones climáticas adecuadas. Si se cuenta con suficiente terreno, pueden ser un medio muy conveniente para el tratamiento de aguas residuales en climas cálidos. Su construcción es barata, de operación simple y se pueden lograr buenas remociones de materia orgánica y microorganismos patógenos. En algunos casos pueden operar sin producir un efluente debido a que el agua se evapora o resume, pero la mayoría de estas lagunas se diseñan con un sistema de flujo continuo (Tebbutt, 1990). Existen básicamente tres tipos con algunas variantes y son las siguientes.

Lagunas aireadas por medios mecánicos: es un tanque en el que se trata el agua residual en forma continua y el oxígeno es suministrado por aireadores superficiales flotantes para mantener los niveles de oxígeno disuelto y hacer el mezclado. Es posible tener cargas de DBO5 de $0.2 \text{ kg/m}^2 \text{ d}$, con tiempo de retención de unos cuantos días, y producen un efluente de buena calidad. La función esencial de este tipo de laguna es la estabilización de desechos orgánicos.

Lagunas facultativas: estas son las más comunes y como su nombre indica, combinan la actividad aerobia y la anaerobia en la misma unidad. Los microorganismos portadores de clorofila, fitoflagelados y algas que están en la lagunas utilizan las sales inorgánicas y el bióxido de carbono que resulta de la descomposición bacteriana de la materia orgánica, como se muestra en la fig 3. .

El oxígeno producido por la fotosíntesis, que puede alcanzar niveles de oxígeno disuelto de 15 a 30 mg/L en las postrimerías de la tarde, es consecuencia de la actividad bacteriológica, aunque el nivel de oxígeno disuelto desciende durante la noche y puede llegar a cero si la laguna se encuentra sobrecargada. En los depósitos del fondo, la actividad anaerobia produce la estabilización parcial de los lodos y libera una parte de materia orgánica en forma soluble para una mayor degradación en la zona aerobia. Es común que las lagunas facultativas tengan una profundidad de 1 a 2 m, con una carga superficial de 0.02 a 0.05 kg de DBO/m²d y tiempos normales de retención de 5 a 30 días, aunque con temperaturas extremas se alteran estos valores. El contenido del estanque no está totalmente mezclado, y gran parte de los sólidos del agua residual y de tipo biológico se sedimentan hacia el fondo de la laguna, cuando comienzan a aumentar la cantidad de sólidos, parte de ellos sufrirán una descomposición anaerobia, por lo tanto, el efluente de este tipo de laguna estará altamente estabilizado (SARH, 1983).

Lagunas anaerobias: operan con una carga orgánica muy alta de 0.5 kg de DBO/m²d, con una profundidad de 3 a 5 m para asegurar que existan condiciones anaerobias. Son capaces de remover del 50 al 60 % de DBO en un tiempo de retención de 30 días y pueden ser adecuadas para el pretratamiento de desechos orgánicos fuertes antes de agregarlos a las lagunas facultativas. Como es probable que las lagunas anaerobias produzcan olores, no debe situarse cerca de áreas pobladas.

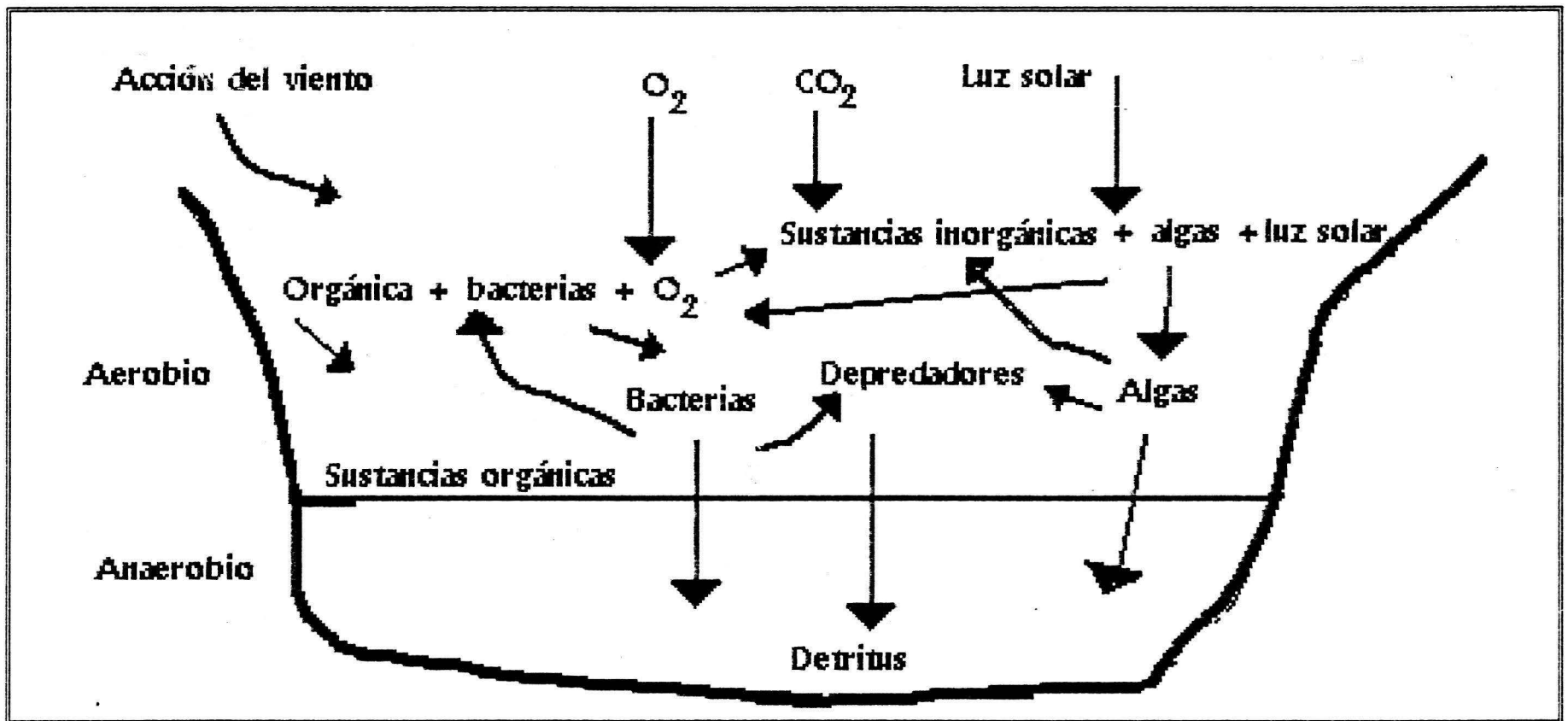


Figura 3 . Reacciones en una laguna de oxidación facultativa.

Lodos activados: es quizá el proceso biológico de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, han surgido variaciones al sistema básico durante algunos años, las cuales confieren al tratamiento una versatilidad que permite adaptarse a un amplio campo de circunstancias operacionales. En este tratamiento las aguas residuales se introducen a un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión floculenta. En el reactor se produce la transformación de los nutrientes en tejido celular y diversos gases, la demanda de oxígeno se realiza a través de difusores o aireadores mecánicos que a la vez producen una mezcla homogénea de las aguas residuales y microorganismos llamada licor mezclado (Winkler, 1986).

Tras un tiempo determinado el cultivo se conduce a un tanque de sedimentación donde las células se separan del agua residual tratada o efluente el cual es virtualmente libre de lodos; en el fondo del tanque se obtienen lodo, parte de estos se recircula al reactor para mantener la masa biológica deseada y otra parte es purgada del sistema. La efectividad del proceso depende del retorno de lodos al reactor para recomenzar la estabilización, en general un volumen del 25 a 50 % del flujo que pasa por la planta se retira del sedimentador; entre el 50 y el 90 % de este volumen se regresa a la zona de aireación el resto se deshidrata y se desecha junto con otros lodos de la planta. La naturaleza de los lodos activados resulta entonces importante en primer lugar para la eliminación de materia orgánica contenida en el agua residual y en segundo lugar para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada (Tebbutt, 1986).

La alimentación del agua residual al tanque de aireación pasa primeramente por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos, grasos y materia sólida gruesa. El agua pasa entonces por la etapa de aireación de manera que al proceso de lodos activados se le llama a veces tratamiento secundario, no obstante ciertas versiones del proceso de lodos activados se usan sin una etapa primaria de tratamiento. Otra característica de este proceso es la remoción de DBO carbonácea, donde la demanda de oxígeno en un agua residual puede separarse en dos categorías, que son la demanda carbonácea y la nitrogenosa. La primera se refiere exclusivamente a

la cantidad de oxígeno demandada por las bacterias heterotróficas para la oxidación de la materia orgánica (carbonácea). Este debe ser expresada en función del número de días en la cual se midió la demanda aunque el más común es el de 5 días. La velocidad y el grado de remoción de la DBO5 depende de las cantidades relativas de materia orgánica soluble, coloidal y suspendida. La calidad del efluente obtenidas en una instalación de lodos activados es muy variable, puesto que depende no solo de la operación de la planta, sino también de la calidad del influente, con lo cual el agua tratada (Efluente) puede obtenerse con valores de DBO de 20 mg/L, e incluso menores.

Todas las aguas residuales domésticas contienen una cierta población de bacterias nitrificantes, sin embargo en la mayoría de las plantas de tratamiento con lodos activados no ocurre la nitrificación, debido a que éstas son diseñadas para promover el crecimiento de las bacterias encargadas de la remoción de materia orgánica carbonácea. Una manera de promover la acción de las bacterias nitrificantes es extender el tiempo de residencia celular, con lo cual se permite que la población de nitrificantes crezca lo suficiente antes de ser removida del sistema, sin embargo cuando se presenta la nitrificación se nota por la demanda total de oxígeno ejercida, una fracción importante es la requerida para la oxidación del amoníaco (o del ión amonio) a nitrato (SARH; 1983).

Existe una amplia variedad de procesos de lodos activados, lo que permite su versatilidad para adaptarse a un amplio rango de requerimientos del tratamiento, así como diferentes combinaciones: en la forma de operación, regímenes de mezcla, sistema de aireación y niveles de carga.

a) Convencionales. Es el más utilizado cuando se desea un efluente con una eficiencia de remoción de DBO5 del 90 al 95% en aguas residuales domésticas. Consiste en un tanque de aireación con geometría larga y angosta, por lo que el régimen de flujo a través de él es de tipo pistón con recirculación celular. El suministro de aire a la unidad se efectúa generalmente por medio de difusores colocados a lo largo de uno de los lados del tanque, cerca del fondo del mismo, con el fin de lograr un patrón de flujo en espiral, con un clarificador secundario y una línea de retorno de lodos, la purga se puede realizar indistintamente desde la conducción del líquido mezcla o por la línea de retorno.

Tanto el agua residual (Influyente) como la recirculación del lodos entran en el tanque por un extremo y son aireados durante 6 horas. Este diseño presenta varios problemas operativos, principalmente en la zona inmediata del tanque a la entrada que recibe el influente y la recirculación de lodos (con una concentración alta en microorganismos) que provoca un mayor consumo de oxígeno en la entrada excediendo la capacidad de aireación del sistema y disminuyendo hacia la salida sin pasar por un máximo (Winkler, 1986).

b) Mezcla completa: este tipo de tratamiento obedece a un resumen de mezclado completo, donde un reactor completamente mezclado, de flujo continuo, opera en condiciones de estado estable, de tal manera que las propiedades a través del sistema no varían con respecto al tiempo. El influente (agua cruda) entra en el reactor en forma continua y el retorno de lodos se introduce en diversos puntos del tanque de aireación a lo largo de un canal central, las partículas son dispersadas inmediatamente después de entrar al reactor y es aireado conforme pasa desde el canal central a los canales de salida situados en ambos lados del reactor; la salida está en proporción a su población. La carga orgánica en el tanque de aireación y la demanda de oxígeno son uniformes de uno a otro extremo del tanque.

Para alcanzar o al menos aproximarse al régimen de mezclado completo se requiere seleccionar adecuadamente la geometría del tanque, el arreglo en la alimentación y equipo de aireación. Si se opera con aireación por medio de difusores, se requiere que tanto la alimentación del agua cruda y lodos de retorno, como la salida del licor mezclado, se lleve a cabo a lo largo de todo el reactor, especialmente si se opera con este tipo de geometría alargada. Por otra parte, si se opera con aireadores mecánicos, se requiere que el tanque sea circular o cuadrado para lograr la distribución uniforme del licor mezclado.

c) Aireación escalonada: es un sistema igual al proceso convencional, la aireación escalonada prevé una disminución gradual en la dotación de oxígeno a lo largo del tanque, pretendiendo evitar diferencias importante entre demanda y suministro logrando un mejor aprovechamiento global de está aireación.

El tanque de aireación se subdivide por medio de unos deflectores en cuatro canales paralelos, o más. Cada canal es una fase o escalón individual y las distintas fases se conectan entre sí en serie, el sistema de conducción está dispuesto de tal modo que en cada fase se introduce agua cruda en el tanque de aireación. Una característica más importante de este proceso es su flexibilidad, sin embargo en la aireación escalonada la demanda de oxígeno se distribuye más uniformemente a todo lo largo del tanque de aireación, dando como resultado una mejor utilización del oxígeno suministrado.

d) Aireación extendida: este proceso también llamado oxidación total o digestión aeróbica, en periodos prolongados de aireación y altas tasas de recirculación de lodos con un tiempo de retención hidráulica entre 24 y 36 horas, hace posible operar en la zona de respiración endógena ocasionando la producción de menos lodos que en plantas convencionales, reduciendo el manejo de sólidos. Con el uso de tiempos de retención de uno a dos días se produce una reducción del 95% en la DBO de las aguas residuales. La producción de lodos puede ser tan baja como de 0.2 a 0.3 de sólidos por kg de DBO eliminada, y como el proceso implica la digestión aeróbica de los lodos, microbiana y absorbida, el requerimiento de oxígeno es casi de 1.25 veces mayor que la DBO aplicada. No obstante, los costos adicionales de aireación se compensan en el ahorro del manejo de lodos de desecho, para el tratamiento de aguas residuales por aireación extendida, todo el volumen de agua se trata sin asentamiento primario, de manera que se ahorra en los costos de equipo de asentamiento primario y en disponer tanto de los lodos residuales y los desechos de lodos activados.

Una ventaja del proceso de aireación extendida, comparada con la operación convencional, es que el nivel más bajo de carga proporciona una mayor reserva reguladora de oxígeno disuelto en la etapa de aireación, para hacerle frente a las oscilaciones de la carga (Benjes, 1980 en Brennan, 1980).

Estas plantas de tratamiento son adecuadas para pequeñas comunidades por el volumen reducido de lodos y su naturaleza relativamente inofensiva.

2.5.1. Parámetros de operación de los procesos de lodos activados.

2.5.1.1. Concentración de lodos: la concentración de lodos se puede expresar de maneras diferentes, cada uno con un significado distinto, por ejemplo se puede expresar la concentración de sólidos en suspensión, de modo que en el tanque de aireación se puede referir en términos del valor de los sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSLM), sin embargo, algunos de los sólidos en suspensión puede ser inorgánicos y un parámetro más usual es el contenido del material combustible presente, conocido como los sólidos volátiles suspendidos (SVS), entonces la concentración de lodos quedaría expresada como sólido volátiles suspendidos en el licor mezclado (SVSLM). Esto indicará la cantidad de materia orgánica presente, pero no establece una distinción entre el material bioquímicamente activo y el material inerte. La proporción de SVS debida a los microorganismos activos dependerá de las condiciones de operación de la planta y de la cantidad en el agua residual del influente. Como sucede con los valores de DBO, el valor de SVS se deberá usar con una cierta cautela, pero proporcionara una base provechosa para la comparación de procesos similares. Los valores más altos de SVSLM están limitados por la capacidad de la etapa de sedimentación, pero son valores típicos de operación de 2 a 3 kg de sólidos de los lodos por m³ (peso seco) (Winkler, 1986).

2.5.1.2. Índice del Volumen de Lodos (IVL) o Índice de Mohlman. Es un parámetro útil para medir la capacidad de asentamiento de lodos, obtenida al permitir que una muestra se asiente en condiciones normales. El IVL o índice de Mohlman se define como el volumen de lodos en mililitros que contiene un gramo de sólidos secos. La proporción del volumen ocupado por los lodos asentados, comparado con el volumen total de la muestra, después de 30 min. se divide por el contenido de los sólidos suspendidos, para dar el IVL.

$$\text{IVL} = \frac{\% \text{ volumen asentado después de 30 min}}{\% \text{ contenido de sólidos en suspensión.}}$$

El IVL varía de 40 a 100 para un buen lodo, pero puede exceder de 200 para lodos deficientes con tendencia a esponjarse. El esponjamiento se usa para describir un lodo con mala característica de sedimentación, que frecuentemente causa microorganismos filamentosos que existen en plantas de tratamiento con agua residuales fácilmente degradables, bajas en nitrógeno y donde el oxígeno disuelto es bajo. No se tiene completa certeza de que es lo que realmente mide el IVL, es un parámetro útil y de rápida determinación. Se le sustituye actualmente por otros parámetros, como la velocidad media de sedimentación y el volumen específico agitado (VEA) con una concentración fija de sólidos suspendidos en el flujo de 3,500 mg/L, en un recipiente común de 100 mm de diámetro, agitado a 1 rpm.

2.5.1.3. Índice de Densidad de los Lodos o Índice de Donaldson (IDL): es el porcentaje de lodos sedimentados, y se expresa en la siguiente ecuación.

$$IDL = \frac{(SSLM\%)(100)}{\% \text{ volumen sedimentado del lodo en 30 min.}}$$

Donde:

SSLM : Sólidos Suspendidos del Licor Mezclado.

El IDL varía desde 2 para un buen lodo hasta 0.3 para un lodo deficiente.

2.5.1.4. Tiempo de Residencia de los Lodos (TRL): es uno de los más importantes parámetros de operación en el proceso y se define como la cantidad total de sólidos en los lodos de sistema, dividida por la tasa de pérdida de sólidos en los lodos del sistema. Debe tener estrictamente en cuenta los sólidos en los lodos de la alimentación, en la etapa de separación y en la tubería asociada así como en la etapa de aireación, y la tasa de pérdida debe incluir los sólidos en los lodos arrastrados por el efluente tratado, así como los que se encuentran en la corriente de los lodos de desecho. Una aproximación usual es la de considerar solamente los sólidos en los lodos del tanque de aireación y en la corriente de desecho de estos.

El tiempo de residencia de los lodos esta dada por.

$$TS = \frac{(\text{volumen de la zona de aireación m}^3)(SVSLM \text{ mg/L})}{(\text{tasa de pérdida de lodos m}^3/\text{d})(SSV \text{ de los lodos mg/L})}$$

Donde:

TR : Tiempo de residencia.

SVSLM : Sólidos Volátiles Suspendidos en el Licor Mezclada.

SSV : Sólidos suspendidos Volátiles.

Si se supone constante la proporción de células microbianas en los SVS, se puede hacer entonces referencia al TRL, como el tiempo medio de residencia de las células o edad de los lodos, calculándose de la siguiente manera:

$$\text{Edad de los lodos} = \frac{\text{SS en el aireador kg}}{\text{SS en el efluente del primario kg/día.}}$$

Donde:

SS : Sólidos Suspendidos.

Su valor será del orden de 3 a 5 para plantas convencionales y de 0.2 a 0.4 para plantas de alto gasto.

2.5.1.5. Nivel de carga: la planta de tratamiento esta diseñada para tratar cierta carga en términos de Kg de DBO/día, así como la capacidad en litros por día. La carga se puede expresar como la tasa de carga de nutrientes orgánicos por volumen unitario del tanque de aireación. Si la carga orgánica excede la capacidad de diseño, se presentan dificultades ya que se necesita mayor tiempo de residencia hidráulica y aumenta los requerimientos de oxígeno, por lo tanto se produce un lodo adecuado para obtener un efluente con la calidad que se requiere y es el resultado de la adición al drenaje, de desechos industriales no previstos en el diseño, y/o de posteriores desarrollos habitacionales que sobrecargan los sistemas de drenaje.

Si esto llegase a suceder, será necesario tomar las siguientes medidas:

- ✓ Bajar el gasto de la planta.
- ✓ Analizar el contenido de materia orgánica en el influente así como el pH.
- ✓ Si el resultado es un alto contenido orgánico, operar el soplador de aire a máxima capacidad, abriendo totalmente las válvulas de flujo de aire.
- ✓ Mantener en observación los lodos activados haciendo análisis continuos de: SVSLM, pH, sólidos sedimentables, IVL y OD, hasta normalizar las condiciones (Winkler, 1986).

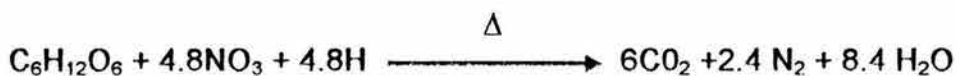
2.5.1.6. Tiempo de Retención: es el tiempo promedio empleado por el líquido en la etapa de aireación y es, por tanto, el tiempo de contacto entre los lodos y las aguas residuales. Se toma en un sistema continuo como el volumen de la etapa de aireación (V_a) dividida por la tasa de flujo del líquido influente (Q_i), de modo que:

$$tr = V_a/Q_i$$

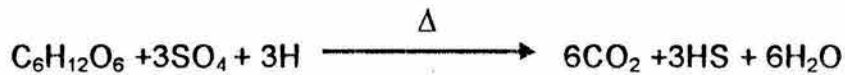
Al tiempo de retención se le llama también periodo de aireación.

2.6. Tratamientos Anaerobios: son procesos utilizados para la estabilización de lodos, residuos industriales y residuos orgánicos diluidos, en los cuales se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno, en cuyo caso, otros compuestos oxidados como nitratos, sulfatos o dióxido de carbono, actúan como aceptores finales de electrones; se tienen tres vías de degradación que se representan con las siguientes reacciones (Sans, 1989):

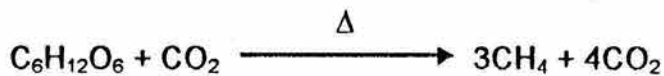
Desnitrificación: es el proceso de tratamiento biológico por el cual el nitrógeno en forma de nitratos, se transforma en nitrógeno gas en ausencia de oxígeno.



Sulfatorreducción: es el proceso de tratamiento biológico por el cual el sulfuro de hidrógeno es formado a partir de los sulfatos que se encuentran en los desechos, los cuales son reducidos en el ambiente anaeróbico.



Metanogénesis: en el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios biológicos se convierten biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2)



Entre los procesos anaerobios descritos hasta la fecha para el tratamiento de aguas residuales los principales tipos de cultivo fijo son:

2.6.1. Digestión anaerobia: es uno de los procesos más antiguos utilizado para la estabilización de lodos, en el cual se produce la descomposición de materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno lo transforma en metano y bióxido de carbono, en un reactor completamente cerrado. Los lodos se introducen al reactor continua o intermitentemente y son retenidos en el mismo durante períodos de tiempo variable. Los lodos estabilizados del proceso no son putrescibles y su contenido de organismos patógenos es bajo.

Actualmente se utilizan dos tipos de digestores de baja y de alta carga, el reactor de baja carga tiene tiempos de digestión altos y no se calienta ni se agita; por el contrario, el reactor de alta carga se calienta y se agita, dando tiempos de retención mucho menores. Cabe destacar que se puede utilizar también una combinación de ambos, que se conoce como "proceso de doble etapa". La función básica de la segunda etapa consiste en separar los sólidos digeridos del líquido sobrenadante, aunque puede tener lugar una cuarta digestión y producción de gas adicional.

La conversión biológica de la materia orgánica de los lodos parece producirse en dos etapas. En el modelo o secuencia de tres etapas, la primera incluye la transformación (licuefacción) por acción enzimática de los compuestos de alto peso molecular en otros que pueden servir como fuente de energía y de carbono celular. La segunda fase implica la conversión bacteriana de los compuestos resultantes de la primera en productos intermedios identificables de menor peso molecular. La tercera etapa supone la conversión bacteria de los compuestos intermedios en productos finales más simples, principalmente debido al tiempo de retención hidráulica.

Cuando aumenta la temperatura de funcionamiento, el tiempo mínimo medio de retención celular se reduce significativamente; lo que quiere decir que a temperaturas más altas, el sistema puede ser operado con un menor tiempo medio de retención celular. Por tanto, el calentamiento del contenido del reactor disminuye, no solamente el tiempo medio de retención celular para lograr el adecuado tratamiento, sino también el tiempo de retención hidráulica, pudiéndose utilizar también un reactor de menor volumen (Rigola, 1989).

2.6.2. Digestión anaerobio de contacto: este proceso se puede utilizar para aguas residuales industriales con alta carga de DBO. El agua residual se mezcla con lodos recirculados y se dirigen a continuación a un reactor sellado para impedir la entrada de aire, en el que su contenido se mezcla completamente tras la digestión, la mezcla se separa en un clarificador o unidad de flotación al vacío, y el sobrenadante se vierte como efluente generalmente a otro tratamiento posterior.

El lodo anaerobio sedimentado se recircula para servir de siembra al agua residual entrante; debido a la baja tasa de síntesis de los microorganismos anaerobios, el exceso de lodos que deben evacuarse es mínimo. Este proceso se ha utilizado satisfactoriamente para la estabilización del efluente de industrias cárnicas y otras de alto contenido orgánico, en estado soluble.

2.7. Tratamientos Terciarios.

Aunque una planta convencional de tratamiento de agua residual que incorpore los procesos de sedimentación primaria, oxidación biológica y sedimentación final en ocasiones puede producir un efluente con un estándar de 30 mg/L de SS y 20 mg/L de DBO. La producción confiable de un efluente significativamente mejor que el 30:20 requiere alguna forma de tratamiento terciario.

La mayoría de las formas de tratamiento terciario están encaminados a la remoción del exceso de SS en el efluente obtenido en instalaciones convencionales bien operadas. El tratamiento terciario debe considerarse como una técnica para mejorar la calidad de un buen efluente y no como un método para tratar de convertir un efluente malo en una descarga de buena calidad. La remoción de SS de un efluente tiene también una remoción asociada de DBO debido a que la materia orgánica ejerce una influencia sobre su comportamiento; existen evidencias que muestran que efluentes normales de agua residual, la remoción de 10 mg/L de SS probablemente remueva también cerca de 3 mg/L de DBO₅. Entre los tratamiento terciarios se tienen los siguientes.

2.7.1 Coagulación: es el proceso mediante el cual la colisión entre las partículas y los coagulantes químicos, dan como resultado su cohesión y sedimentación en forma de un aglomerado. El coagulante es una sal metálica que reacciona con la alcalinidad del agua para producir un flóculo de hidróxido del metal que incorpora a las partículas coloidales. Mediante la floculación de esta fina precipitación se producen sólidos sedimentables. El coagulante más popular para el tratamiento de agua es el sulfato de aluminio; sin embargo, se tienen también las sales de fierro como el cloruro férrico, los cuales son coagulantes inorgánicos, se tienen también coagulantes orgánicos como los polímeros poliaminas y poliacrilamina (Tebbutt, 1990).

El proceso de coagulación se emplea básicamente para remover, partículas en suspensión coloidal (de diámetro aproximado de 1 milimicrón a 1 micra) dispersas en el agua. Por ej. las partículas coloidales de arcilla son bastante estables, poseen una carga negativa y no se asientan con facilidad a menos que reciban una tratamiento terciario.

2.7.2. Intercambio iónico: es un proceso mediante el cual, los iones del agua que entran en contacto con determinadas sustancias sólidas (intercambiadores de iones) son captados por éstas, cediendo a la vez otros iones. Este intercambio de iones sólo puede realizarse entre iones que tengan la misma naturaleza eléctrica, es decir iones positivos sólo se intercambian con iones positivos.

El tratamiento mediante intercambio iónico tiene la ventaja que no se producen solos, aunque se debe tener presente que cuando se ha agotado la capacidad de intercambio iónico es necesario regenerar el material, lo que da lugar a un excedente de desechos concentrado del contaminante original. El uso más común del intercambio iónico es el ablandamiento o desmineralización del agua, como la requerida para calentadores de alta presión, donde es esencial la alta pureza del agua. Las aguas residuales de origen industrial, como los efluentes del terminado de metales, se pueden tratar con intercambio iónico como una alternativa a los métodos de precipitación.

2.7.3. Precipitación química: consiste en añadir productos químicos al agua residual para alterar el estado físico de los sólidos disueltos o en suspensión y producir una eliminación por sedimentación. El grado de remoción que se logre depende de la solubilidad del producto, que es afectada normalmente por el pH y la temperatura.

Se usa la precipitación química en el tratamiento de agua residual de origen industrial para remover, por ejemplo, metales tóxicos de efluentes del terminado. Es común que tales efluentes contengan cantidades considerables de cromo hexavalente que es dañino para los sistemas biológicos. Si se agrega sulfato ferroso y cal, el cromo se reduce a la forma trivalente que se puede precipitar como un hidróxido. Por lo tanto los productos químicos más utilizados son: sulfato ferroso, cal, sulfato de aluminio y sales férricas (Sans, 1989).

Cuando las aguas de desecho domésticas se tratan por precipitación química seguida por adsorción en carbón, una de los problemas que se encuentra en las columnas de carbón es que adquieren un olor penetrante. El olor se deriva de la reducción de SO_4^{2-} a H_2S por los microorganismos que se desarrollan dentro de la columna de carbón y sobre

la materia orgánica adsorbida que es biodegradable. Se ha tenido poco éxito en modificar esta situación por inyección de aire a las columnas, por que la oxidación de sulfuro con oxígeno no siempre es un proceso rápido, en especial si los sulfuros están presentes en forma particulada. Un método útil para evitar el olor de sulfuros ha sido alimentar nitrato de sodio al influente a la columna de carbón. En presencia de NO_3^- la generación de sulfuros cesa por que los microorganismos tienden a reducir el NO_3^- a N_2 en preferencia al SO_4^{2-} a H_2S , debido a que se obtiene mucha más energía que el proceso anterior (Snoeyink, 1996).

2.7.4. Osmosis inversa: consiste en separar el agua de las sales disueltas, filtrándola a través de una membrana semipermeable a una presión mayor que la osmótica, causada por las sales disueltas en el agua. La ósmosis inversa más que un tratamiento directo de aguas residuales, es un tratamiento para la reutilización de agua residual tratada o, si se emplea directamente en aguas residuales industriales, debe ser un agua que no produzca incrustaciones en las membranas ya que pueden llegar a obturarlas. Los problemas más importantes de la ósmosis inversa son su alto costo, la necesidad de un agua tratada que no éste contaminada con sólidos en suspensión, con bajo contenido de hierro y manganeso, así como un pH comprendido entre 4 y 7.5.

2.8. Procesos de Desinfección.

La desinfección de las aguas residuales tiene como objetivo principal la destrucción de organismos patógenos u otras formas de vida indeseables para el uso al que se destine el agua. La desinfección es por lo tanto, la introducción de un sistema o procedimiento para controlar los organismos que puedan causar daño; es necesario aclarar que la esterilización no es sinónimo de desinfección, ya que esterilización significa la destrucción total de todos los organismo que viven en un volumen de agua. La desinfección puede realizarse mediante procesos mecánicos, físicos y químicos.

2.8.1. Procesos mecánicos: no son especialmente utilizados como destructores de organismos, sino que su actuación es consecuencia de un proceso secundario de su misión principal (Rigola, 1989) .

2.8.2. Procesos físicos: uno de los procesos físicos usado es la radiación ultravioleta (UV). Su eficiencia depende de su profundidad de penetración, tiempo de contacto y turbidez o sólidos suspendidos, debido a que pueden reducir la efectividad a mayor profundidad. Muchos tipos de lámparas producen radiación UV, pero casi todas las que emiten radiación contienen significativamente vapor de mercurio. La radiación ultravioleta se realiza fundamentalmente por radiación electromagnética de rayos γ que se emiten a partir de radioisótopos como el cobalto 60. Dado su poder de penetración, los rayos γ han sido utilizados para desinfectar y en algunas ocasiones esterilizar, tanto al agua potable como al agua residual.

2.8.3. Agentes químicos: un gran número de desinfectantes químicos son usados para diferentes aplicaciones. Los que se usan como desinfectantes son:

- a) agentes oxidantes como los halógenos (cloro, bromo e yodo), ozono, peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio.
- b) alcoholes.
- c) fenol y compuestos fenólicos.
- d) compuestos cuaternario de amonio.
- e) Jabones y detergentes sintéticos.
- f) metales pesados y compuestos afines.

Solo algunos de estos son usados para la desinfección tanto de agua potable como agua residual; el bromo e yodo son utilizados principalmente en el agua para albercas, pero para agua residual se emplean en escala limitada.

El ozono es un desinfectante muy eficaz, y aunque no tiene poder residual su uso se ha incrementado, utilizándose también para la eliminación de olores del aire evacuado por las estaciones de bombeo, en tanques de tratamiento y espesadores cubiertos.

El peróxido de hidrogeno se utiliza para controlar el olor e inhibir el crecimiento de microorganismos en el sistema de colección. El permanganato de potasio es un oxidante fuerte, que debido a su alto costo su uso es mínimo.

El cloro es el desinfectante más aceptado para el tratamiento de las aguas residuales, es usado para muchas aplicaciones, como desinfectante, controla el sabor y olor, remueve color y es también usado para la oxidación de amonio, fierro, manganeso y remoción de la DBO. Los compuestos de cloro más frecuentemente utilizados en las plantas de tratamiento de agua residual son el hipoclorito de sodio y de calcio, así como el cloro gaseoso.

El cloro al entrar en contacto con el agua, favorece que un átomo se oxide a H^+ , reduciéndose el otro a Cl^- , con frecuencia esto se conoce como desproporción o dismutación.



Esta ecuación es una combinación de las dos hemireacciones.



El HCl formado se disocia por completo en las condiciones comunes que se encuentran en las soluciones acuosas diluidas. El ácido hipocloroso, por el contrario, es un ácido relativamente débil:



La forma en que el cloro se adiciona al agua influye sobre ciertas propiedades químicas; la adición de cloro gaseoso disminuirá su alcalinidad por la producción del ácido fuerte y de HOCl en la reacción. Sin embargo, si el cloro se dosifica como sal de ácido hipocloroso:



Habrá un aumento de alcalinidad de acuerdo con el grado en que el OCl⁻ reaccione con H₂O. El uso de hipoclorito de calcio incrementa tanto la alcalinidad como la dureza total (Ca) de un agua.



Estas consideraciones son importantes por que muestran que la forma en que el cloro se adiciona puede modificar la química del agua en muchas formas. La adición de cantidades importantes de Cl_{2(g)} a un agua de baja alcalinidad podría disminuir el pH a un valor inaceptable. La adición de blanqueadores no provocaría tal depresión.

Si se fuese a adicionar a un agua una cantidad conocida de cualquiera de las formas del cloro y después de cierto intervalo de tiempo (tiempo de contacto) se analizará el agua para determinar al cloro (cloro residual), se encontraría menos cloro presente que el adicionado. Se dice que el agua tiene una "demanda de cloro" y después de cierto tiempo de contacto se obtiene la siguiente expresión:

$$\text{demanda de cloro} = \text{dosificación de cloro} - \text{cloro residual}$$

La demanda de cloro es resultado de diversas reacciones en que el cloro se consume por acción de diversos constituyentes del agua y por descomposición. Las reacciones del cloro con los constituyentes del agua se pueden agrupar en forma conveniente de la siguiente manera:

- 1) aquellas que son favorecidas por la luz solar.
- 2) las que se verifican con compuestos inorgánicos.
- 3) las que se producen con amoníaco.
- 4) las correspondientes a compuestos orgánicos.

En esta sección se considera cada uno de estos tipos de reacción, como ejemplo de la importancia de la cinética y los mecanismos de reacción redox.

Luz solar: las soluciones acuosas de cloro no son estables cuando se les expone a la luz solar. La radiación en la región ultravioleta proporciona energía para la reacción del cloro con agua.



Reacciones con compuestos inorgánicos: son por lo general rápidas, así pues, cuando se usa cloro para oxidar hierro ferroso y hierro férrico en un tratamiento de aguas freáticas, las reacciones son las siguientes:



se verifican en forma casi instantánea a valores de pH cercanos a la neutralidad o superiores. Las reacciones de cloro con S(-II), Mn(II) y NO₂ todas siguen este patrón, excepto la reacción con Mn(II), que sólo se verifica a pH 8.5. Cuando se produce a valores altos de pH, la oxidación de sulfuro con cloro tiende a formar polisulfuros. Una queja común de los operarios en plantas de lodos activados que alcanzan una nitrificación parcial, mencionan que "resulta imposible mantener la cantidad de cloro residual". Sin duda, esto se debe a la presencia de nitrito, NO₂, en el efluente donde el cloro oxida a nitrato.



Cada mol de NO₂ (46 g como NO₂ ó 14 g como N) que se oxida requiere un mol de HOCl (52.5 g como HOCl ó 71 g como Cl₂), así pues, cada mg de NO₂ N/L consume aproximadamente 5 mg/L de HOCl como Cl₂.

Reacciones con amoníaco: expuesto en forma simple, el cloro reacciona con amoníaco para producir una serie de compuestos clorados de amoníaco a nitrógeno (N₂(g)) o a una variedad de productos que contienen nitrógeno y están libres de cloro:

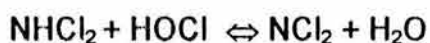
Monocloramina.



Dicloramina.



Tricloramina.



Las cloraminas pueden ser eliminadas del agua mediante técnicas químicas o de adsorción. La adsorción sobre carbón activado parece ser efectiva. Reduciendo agentes tales como el tiosulfato de sodio y sales ferrosas (Wheaton, 1982).

Reacciones de cloro con sustancias orgánicas: el cloro a las concentraciones que se utiliza en el tratamiento aguas y desechos reacciona rápidamente con compuestos orgánicos. En algunas reacciones como las relativas a los compuestos orgánicos nitrogenados y los fenoles, el Cl sustituye a un átomo de hidrógeno formando los compuestos clorados. El cloro también se puede incorporar a una molécula por adición o bien puede reaccionar con un compuesto para oxidarlo sin clorarlo. Aunque se conoce algunos orgánicos clorados que se forman durante la cloración de aguas naturales y residuales, muchos otros permanecen sin identificar

Reacciones con nitrógeno orgánico: el cloro reacciona rápidamente con muchos compuestos orgánicos de nitrógeno los mismos que con el amoniaco. Las aminas orgánicas, tienen el grupo $-\text{NH}_2$, $-\text{NH}$ ó $-\text{N} =$ como parte de su molécula. La reacción elemental con metilamina CH_3NH_2 es típica de éstas:



La formación de diclorometilamina está catalizada por ácidos lo mismo que la formación de dicloramina a partir de la monocloramina.



La reacción de cloro con nitrógeno orgánico es importante por que ejerce una demanda, o sea, requiere que se agregue más cloro para lograr un nivel determinado de desinfección. No en todos los casos el cloro unido al nitrógeno pierde su capacidad de oxidar, pero en general no es un oxidante tan potente como el HOCl ó el NH₂Cl. Algunos compuestos clorados de nitrógeno orgánico reaccionan como cloro residual, junto con HOCl, OCl⁻, NH₂Cl, en los diversos procedimientos analíticos para determinar cloro residual.

Reacciones con fenoles: el cloro reemplaza al hidrógeno rápidamente en el fenol y en los compuestos que contienen el grupo fenólico. Como estos compuestos pueden estar presentes en los suministros de agua a causa de descargas industriales o debido al proceso natural de descomposición, y como varios de los fenoles clorados tienen un olor muy fuerte, su formación ha sido motivo de preocupación para los operarios de sistemas de tratamiento de aguas.

Formación de trihalometano: la formula general CHX₃, donde X puede ser Cl, Br ó I. El CHCl₃ y cloroformo, es de particular interés por que se sospecha que es carcinógeno. Los efectos de las otras especies sobre la salud no se conocen. Las siguientes reacciones demuestran las etapas básicas mediante las cuales pueden producir cloroformo durante el tratamiento de aguas.

Muchas aguas tratadas no sólo contienen cloroformo sino trihalometanos clorados y bromados como CHCl₂Br, CHClBr₂ y CHBr₃. Estas especies se forman por que el cloro acuoso convierte el ion Br en el agua a HOBr. Los compuestos bromados se encuentran presente Y en el agua, supuestamente el HOCl lo oxida y el producto reacciona en forma similar al HOCl produciendo otras especies adicionales de trihalometanos.

Tabla de diferentes tipos de compuestos de Cloro.

Compuesto	% de cloro disponible (AVCl)	Cantidad aprox. para 1Kg AVCl	Promedio de perdida AVCl	Peligrosidad
Cl ₂ Gas	100	1 Kg	-----	Venenosos
Ca(OCl) ₂	65	1.5 Kg	3 %/año	Fuertemente oxidante.
NaOCl	12	8 litros	3 %/mes	Altamente corrosivo.

Cloro gas: el cloro a temperatura ambiente y presión atmosférica, es un gas de color amarillo verdoso 2.5 veces más pesado que el aire, muy tóxico e irritante, al contacto con la humedad es extremadamente corrosivo a los metales debido a que forma ácido hipocloroso y clorhídrico. Por lo tanto deberá preverse una adecuada ventilación y nunca debe situarse bajo el nivel del piso.

Cuando el cloro se encuentra en el aire en concentraciones de 3.0 a 5.0 ppm, irrita la piel, el sistema respiratorio y las membranas mucosas. En grandes cantidades provoca paro en el diagrama pulmonar y como consecuencia asfixia dando como resultado náuseas, vómito y conmoción del individuo.

La forma más común de localizarse las fugas de cloro gas, es manteniendo abierto un frasco de amoníaco cerca de posibles fugas, que al reaccionar con el cloro producirá un vapor blanco de cloruro de amonio. En caso de fugas en los cloradores deberá cerrarse inmediatamente la válvula del cilindro de cloro, teniendo cuidado de acercarse al área de la fuga con una mascarilla con canester apropiado para cloro.

El cloro que existe en el aguas como ácido hipocloroso, se llama cloro activo libre o cloro residual libre. El cloro residual que existe como compuestos clorados de materia orgánica amoniacal (cloraminas) , en cuyo caso se conoce como cloro residual combinado.

2.8.4. Ventajas de la Cloración Libre Residual: se puede desinfectar perfectamente el agua con un periodo de contacto de 10 min. con un cloro residual libre entre 0.5 a 1.0 ppm de cloro con un rango de pH de 6-8, mientras que el cloro residual combinado.

necesita para desinfectar el agua un tiempo de contacto de 60 min. como mínimo y una concentración de cloro residual combinado de 1.0- 1.8 ppm de cloro en los mismos rangos de pH.

El cloro residual libre no es afectado por los cambios de temperatura, mientras que el cloro residual combinado sí .

2.9. Disponibilidad y reutilización del agua tratada (efluente).

El no tener la disponibilidad de agua en cantidades suficientes donde se necesita, ha llevado a la sobreexplotación de los mantos acuíferos y la contaminación de ríos, lagos, presas y acuíferos subterráneos, por lo que se han replanteado objetivos para conservarla, reduciendo la contaminación y revisando los planes de desarrollo. Dentro del marco de acciones está el formato del uso eficiente del agua y su reutilización el número de veces que sean económicamente factible y necesarias.

Las aguas residuales tratadas tienen que cumplir con normas específicas de calidad antes de que se puedan volver a utilizarse o descargarse en alguna corriente de agua. Después de la purificación, surgen los problemas de que hacer con el agua una vez tratada, en algunos casos la reutilización del efluente incluye (Syed, 1994)

Evaporación: el agua residual puede ser incorporada directamente al ciclo hidrológico por evaporación, pero el proceso involucra una imposición debido a que la cantidad de evaporación depende de la temperatura, velocidad del viento y humedad, estas son variantes substanciales en el promedio diario de la evaporación, sin embargo dependiendo de las condiciones climáticas, la más grande imposición puede ser necesariamente la precipitación si esta excede la evaporación durante varios meses. Por lo tanto debe considerarse que si se va a utilizar la evaporación se requiere: almacenaje del agua, posible percolación y contaminación de pozos.

Recarga de pozos: en muchas áreas el bombeo excesivo del agua de pozo para uso municipal, industrial y agrícola dan como resultado una disminución en el nivel freático, indicando la necesidad de recargar artificialmente el acuífero. El método de recargar un pozo incluye rápida infiltración por aplicación del efluente o imprudente percolación intermitente e inyección directa del efluente. En todos los casos el riesgo de contaminar el pozo existe, además la inyección directa implica alto costo de tratamiento del efluente y el costo de facilidad de inyección. También deben ser evaluados la información relativa al ambiente subterráneo y geología, así como el nivel de riesgo de inyección.

Uso municipal: estos incluyen el riego de campos, parque públicos, fuentes de ornato, así como el aseo de calles y banquetas. Las recomendaciones que se hacen es que cuando el agua vaya a estar en contacto con el público, sea desinfectada para reducir riesgos; las aguas residuales también pueden ser utilizadas para hacer un intercambio por aguas blancas y en algunos acuíferos. La nueva tecnología disponible del agua residual tratada va alcanzando la calidad estándar del agua potable federal, pero tal uso sería relativamente costoso y tendría objeciones de tipo psicológico por parte de los consumidores. Para que el agua se volviera a utilizar directamente requeriría la adopción de procesos adicionales principalmente de naturaleza físico-química, que con seguridad sería muy costosos. Muchos cuerpos de agua natural que son usados como suplemento de agua municipal son también usados para descargar efluentes. De esta manera los procesos de purificación natural se aplicaran más adelante en la purificación de efluentes de agua residual (González R, 1994).

Los comentarios anteriores indican claramente que para obtener un abastecimiento de agua potable saludable que provenga de aguas fuertemente contaminadas, como lo es un efluente de agua residual, el tratamiento convencional por sí solo no es suficiente. Para logra la calidad final deseada se puede tomar varios cursos alternativos de acción, tales como:

- Establecer etapas adicionales de tratamiento en plantas de agua residual y plantas de tratamiento de agua potable, o en ambas, para que se manejen los contaminantes que

el tratamiento normal no afecta.

- Dar un tratamiento completamente nuevo al agua residual y al agua cruda.
- Usar procesos de tratamiento convencionales y mezclar el agua tratada con una de mejor calidad, para que la mezcla sea de calidad aceptable.
- No utilizar instalaciones separadas una para el tratamiento de agua residual.

Uso industrial: la reutilización directa de un efluente para cubrir varios requerimientos de agua industrial es ya una práctica aceptada. Esta práctica también sirve para liberar abastecimientos de agua con una mejor calidad que de otra manera se usarían industrialmente. Las aguas tratadas son usadas con buen resultado como agua de enfriamiento y alimentación de calderas. Los factores decisivos para el reuso de una agua tratada en la industria incluyen: a) Disponibilidad de agua potable, b) Calidad y cantidad del efluente, así como costos de procedimientos, c) Costo de bombeo y transporte del efluente y d) Procesos industriales que no involucren consideraciones públicas de salud.

Lagos artificiales: los efluentes pueden ser usados con buenos resultados para desarrollar lagos artificiales, propagación de peces, así como también para actividades recreativas. En México se pueden encontrar lagos artificiales en los campos de Golf como en el caso de Ixtapa Zihuatanejo que cuenta con un campo de Golf y lagos artificiales de agua tratada procedente de la planta de tratamiento Club de Golf, en los que se tienen algunas especies de peces y reptiles (cocodrilos).

Descargas dentro de un cuerpo de agua natural: es una práctica común, debido a la capacidad asimilativa de las aguas naturales, la autopurificación existe en la forma de un ciclo que es capaz de autoajustarse, dentro de ciertos límites, o cambios en las condiciones ambientales. Las aguas tratadas tienen que cumplir con normas específicas de calidad estrictamente definidas antes que se puedan descargar en una corriente de agua. Es indispensable una agua de calidad utilizando como indicadores a los SDT, SST, coliformes fecales, nutrientes, compuestos nitrogenados, DBO y oxígeno disuelto, entre

otros. Para comunidades que tienen acceso al mar, es muy atractiva la posibilidad de utilizarlo para eliminar el agua residual o el agua tratada, el potencial para la dilución y dispersión de contaminantes en mar abierto es considerable y varias reacciones de autopurificación tienen lugar en el ambiente marino.

Riego: el reuso del efluente para irrigación es practicado en muchas partes del mundo, principalmente como un sustituto del agua natural especialmente donde existe escasez de la misma o especialmente de lluvias en zonas áridas, existiendo regulación gubernamental sobre la salud, de acuerdo al tipo de cosechas que se desean regar con el efluente. La cadena de alimentos (cosecha de consumo humano y animales consumidores de estas cosechas que a su vez son consumidos por el hombre), no pueden ser regadas por efluentes. Sin embargo los efluentes son muy utilizados para regar parques, campos de Golf, así como la preservación de zonas verdes.

2.10 Legislación Mexicana en Materia de Prevención de la Contaminación del Agua.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 28 de enero de 1988, entró en vigor el 1o de marzo del mismo año, la ley es expedida por el Congreso de la Unión en base a la facultad contenida en la fracción XXIX del artículo 73 de la Constitución Política Mexicana. Actualmente dicha Ley ha sufrido importantes modificaciones, que fueron emitidas en diciembre de 1996.

En lo relativo a las aguas residuales se puede observar que por disposición expresa del artículo 39 de la Ley Federal del Agua, los usuarios que infiltren aguas residuales en los terrenos o las descargas en otros cuerpos receptores, deberán obtener de las autoridades competentes el permiso correspondiente, con respecto al artículo 30 del Reglamento Interno de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, a la Comisión Nacional del Agua (CNA) le corresponde otorgar y revocar, en su caso, los permisos para la descarga de agua residual.

Cabe señalar también que a partir del 1º de octubre de 1991 entró en vigor el Derecho por uso o aprovechamiento de los bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales.

En 1992 surge, también con base en el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Aguas Nacionales, mencionando que la CNA es autoridad federal única, para la administración del recurso agua, y trata en su título VII, capítulo único la Prevención y Control de la Contaminación del Agua y en el art. 89 se especifica que la CNA para otorgar los permisos, deberá tomar en cuenta la clasificación de los cuerpos de agua natural, las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes y las condiciones particulares que requieren las descargas.

El 18 de octubre de 1993 en el Diario Oficial de la Federación fueron publicadas 33 Normas Oficiales Mexicanas que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas, a cuerpos receptores de aguas residuales provenientes de diversas fuentes, para 1994 se incrementan a 44 hasta 1996 estuvieron en vigor, el 6 de enero de 1997 se abrogan 43 de ellas y se sustituyen por la NOM-001-ECOL-1996, quedando en vigor las siguientes:

- **Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.** que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-031-ECOL/93.** Establece los límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales de servicio y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Capítulo 3

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Localización.

El desarrollo turístico de Ixtapa-Zihuatanejo, se localiza en la parte Oeste del Estado de Guerrero sobre la costa, a una distancia de 240 Km del puerto de Acapulco, en el longitud Oeste $101^{\circ} 33'$ y latitud Norte $17^{\circ} 38'$, con una superficie de 2,015 hectáreas aproximadamente y a 6 Km de la Bahía Zihuatanejo. Este lugar colinda al Norte con los municipios de Coahuayutla, el Este Petatlán, al Oeste con La Unión y al Sur con el Dorado Pacífico de México, nombre por el cual actualmente se le conoce a la Costa del Pacífico.

Su localización geográfica es estratégica por su cercanía con las principales ciudades generadoras de turismo en México y Estados Unidos, es fácil y rápido acceso por avión; 3 hr desde Los Ángeles, 5 hr desde Nueva York, y a solo 35 min de la Ciudad de México.

La planta de Club de Golf se encuentra en el longitud Oeste $101^{\circ} 35'$ y latitud Norte $17^{\circ} 37'$. La planta de tratamiento Punta Ixtapa se localiza el Oeste del Desarrollo Ixtapa y al Sur de la laguna del mismo nombre, $101^{\circ} 38'$ longitud Oeste y $17^{\circ} 39'$ latitud Norte.

En la figura 4 se muestra la ubicación de la zona de estudio, dentro del Municipio de Zihuatanejo, Estado de Guerrero.

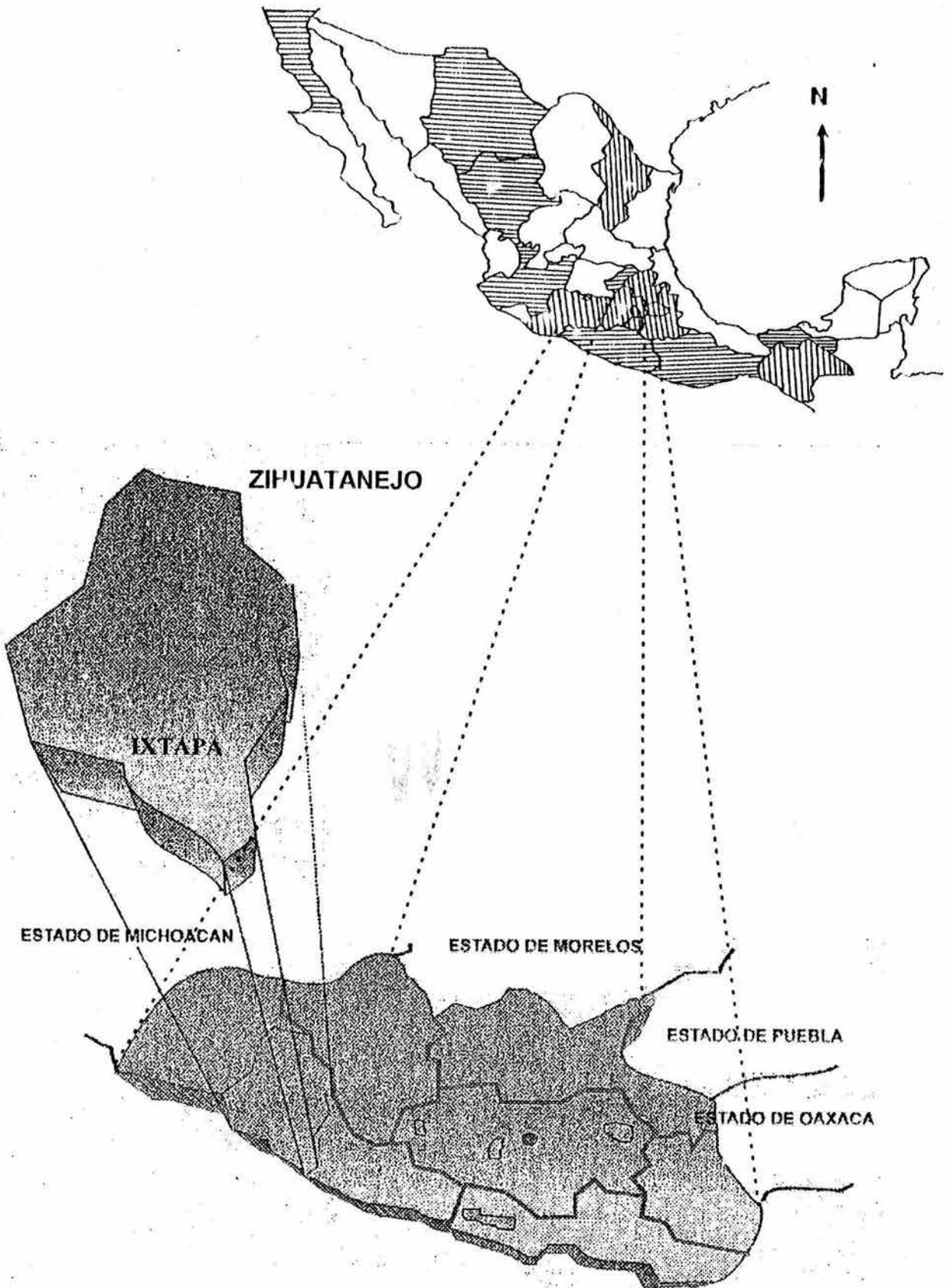


Fig. 4 Ubicación de la zona de estudio.

3.2. Topografía.

Se distinguen dos provincias geomórficas, la Provincia del Sur, colindante con la planicie costera, es angosta, de fuertes pendientes y acantilados hacia el mar con porciones planas intermedias, de esta provincia se sube paulatinamente la cadena montañosa, de flancos menos escarpados hacia la costa cuya cima es accidentada y de perfiles irregulares, alcanzando altitudes de 900 a 2,100 metros. La Sierra Madre del Sur está cortada por numerosas barrancas y arroyos de fuertes pendientes, que escurren hacia el Océano Pacífico. Las pendientes de los cauces disminuyen rápidamente formando una red de drenaje superficial muy simple, siendo los caudales inferiores más o menos paralelos entre sí. La morfología de la costa es irregular, principalmente por el conjunto de islotes paralelos a ella, que sobresalen de las áreas marinas. Los productos de erosión de las corrientes se han depositado en las partes bajas de los cauces, formando rellenos de características y formas variables.

3.3. Vegetación.

La vegetación existente es de diversos tipos; la primera es la que nace de la orilla de la playa hasta la cima de las dunas, compuesta principalmente por plantas rastreras. Otro grupo crece abajo de la cima de la duna hasta la orilla de la laguna, siendo la más abundante en especies tales como la palma en diferentes variedades (la de coco, en la zona de playa). Los manglares se presentan en las orillas de los esteros y desembocaduras de los ríos. La altura de sus especies es de 4 m. aproximadamente; la especie típica de esta comunidad es *Rhizophora mangle*. En el interior de la zona, la vegetación predominante es de bosque bajo y mediano caducifolio, con suelos someros, limo-arenosos, sobre pizarras.

3.4. Clima.

Su clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (A(Wo)), la temperatura promedio anual se forma de la siguiente manera: la mínima de 20.3 °C, la media 27.7 °C y 32.7 °C la máxima, sin cambios extremos. En cuanto a la precipitación pluvial la época de

lluvias se presenta en parte de junio, julio, agosto y septiembre, con una precipitación media de 1,582 mm.

En esta zona los vientos predominantes durante los meses de septiembre a mayo, provienen del Noroeste con una velocidad máxima aproximada de 4.2 m/seg. Durante los meses de junio, julio y agosto, los vientos proceden del Oeste con una velocidad similar a los provenientes del Noroeste; estos conforman los vientos fuertes de la localidad. Los vientos suaves soplan del Sur y Suroeste con una velocidad máxima de 3.7 y 2.4 m/seg; para el Sureste 2 m/seg el resto formado por el Norte y Noroeste sólo alcanzan al calificativo de viento en calma.

3.5. Geohidrología.

La red hidrográfica de la zona está formada por corrientes que se originan en la Sierra Madre del Sur, con el río Ixtapa o en las estribaciones próximas a la planicie costera, constituyendo pequeñas cuencas exorréicas cuyas aguas desembocan en el Océano Pacífico, cuando se presentan precipitaciones abundantes, las corrientes se desbordan, dando lugar a esteros temporales y lagunas como la de Zihuatanejo y Salado. Por otra parte, el análisis de la hidrología subterránea señala que la zona dispone de un volumen anual de infiltración de unos 1,600 millones de m³ considerando la precipitación, evapotranspiración y el escurrimiento. La geología está dominada por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias y cubren una gran extensión, los acuíferos principales se localizan en los sedimentos aluviales que rellenan los valles de la cuenca.

3.6. Datos estadísticos.

La tabla siguiente muestra el hospedaje, por residencia, de turistas en 1994.

	Total	Nacionales	Extranjeros
IXTAPA-ZIHUATANEJO	351,705	250,766	100,939

Ocupación hotelera y promedio de estancias en 1994 (Ixtapa, Zihuatanejo).

Mes	Ocupación hotelera (%)	Promedio de estancia Noche/turista	Producto de % Ocupación* Noches Turista
Enero	62.9	5.6	352.24
Febrero	66.8	5.9	394.2
Marzo	65.2	5.3	345.56
Abril	43.0	4.7	202.1
Mayo	30.6	3.8	116.28
Junio	32.7	4.1	134.07
Julio	50.7	1.0	50.7
Agosto	57.7	4.4	353.88
Septiembre	29.4	3.6	105.84
Octubre	30.5	3.6	109.8
Noviembre	10.0	4.7	47.0
Diciembre	56.0	4.7	216.2

a) El total se obtiene de un procedimiento metodológico utilizado por la fuente.

FUENTE. Secretaria de Fomento Turístico del Gobierno del Estado. Centro Mixto de Inv. Turística.

Establecimientos de hospedaje temporada por categoría al 31 de Diciembre de 1994.

	Total	Clase especial	Gran turismo	5 Estrellas	4 Estrellas	3 Estrellas	2 Estrellas	1 Estrella
Ixtapa	27	4	2	6	8	2	3	2
Cuartos de hospedaje temporada por categoría								
Ixtapa	3703	668	539	1245	1005	111	93	42

Establecimientos de preparación y servicio de alimentos y bebidas.

	Establecimiento de alimento a)	Establecimiento de bebidas b)
Ixtapa-Zihuatanejo	178	18

a) Comprende restaurante y restaurante-bar

b) Comprende bares, discotecas y centros nocturnos.

Capítulo 4

JUSTIFICACIÓN

Un aspecto importante en la protección del ambiente es el control de las aguas residuales, procedentes de grandes centros poblacionales e industrias, principalmente, íntimamente relacionado con el diseño de las instalaciones para su colección, tratamiento y desecho; el objetivo de cualquier tratamiento es eliminar los componentes contaminantes con efectos nocivos para el ambiente y ajustar la calidad del agua vertida de acuerdo a las exigencias legales, para un posible reuso y proteger la calidad de los cuerpos receptores y la salud pública.

Ixtapa es un desarrollo importante, generado por un efecto multiplicador de la actividad turística, la cual estimula el conjunto de la economía. La inversión directa como el turismo, dinamiza otros sectores e incorpora una diversa infraestructura sanitaria, suministro de agua, vías de comunicación, etc.; hasta hace uno cuantos años el turismo se consideraba como una actividad neutra, ahora existe conciencia ecológica, económica y social que genera costos y beneficios. En el presente trabajo se evaluará la calidad del agua y la eficiencia de remoción de la materia orgánica principalmente, en dos plantas de tratamiento biológico del tipo aireación extendida localizadas en la zona hotelera de Ixtapa-Zihuatanejo.

En función de la calidad evaluada se pretende optimizar su reuso en el riego de áreas verdes, garantizando la protección al ambiente y la salud de la población.

Capítulo 5

HIPÓTESIS.

Conociendo la calidad física, química y biológica del influente y efluente de las plantas de tratamiento biológico del tipo aireación extendida (Club de Golf y Punta Ixtapa), se determinará la calidad y eficiencia de remoción y operación en dichas plantas, así como establecer el posible reuso más adecuado del efluente .



BIBLIOTECA
INSTITUTO DE ECOLOGIA
CINEM

Capítulo 6

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

- * Evaluar la calidad sanitaria del agua tratada generada en las Plantas de Tratamiento Biológico, del Tipo Aireación Extendida, de Acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-ECOL-1996 y NOM-031-ECOL-1993, para determinar su reuso y/o aprovechamiento.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- * Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos, de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas: NOM-001-ECOL-1996 y NOM-031-ECOL-1993 (Temperatura, pH, Sólidos Suspendidos Totales, DQO, DBO5, Cromo, Cobre, Cadmio, Hierro, Plomo, Zinc, SAAM, Coliformes Fecales, Grasas y Aceites), en el influente y efluente de las Plantas de Tratamiento de Club de Golf y Punta Ixtapa.
- * De acuerdo a los resultados de laboratorio obtenidos evaluar la eficiencia de operación de la planta de tratamiento en función de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- * Determinar, en función de los resultados obtenidos, el reuso y/o aprovechamiento del agua generada en las Plantas de Tratamiento del Club de Golf y Punta Ixtapa.

Capítulo 7

MÉTODO

Los sitios de monitoreo en ambas plantas de tratamiento son: Influyente (entrada de agua residual cruda) y Efluente (salida del agua tratada). El influente se tomara en la descarga del agua residual procedente de la zona hotelera y zona urbana y el efluente se colectara en las mamparas de cada modulo, después del contacto con cloro gaseoso, se tomaran muestras instantáneas.

Para realizar el muestreo se considero la siguiente Norma Oficial Mexicana.

NOM-AA-3-1980. Que establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales a canal abierto y colector, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.

De lo indicado en esta norma se tomo particular cuidado en los siguientes aspectos.

- En todos los procedimientos analíticos se aplica la cadena de custodia.
- Los recipientes utilizados para las muestras fueron de polietileno o vidrio y de capacidad diferente según el parámetro a determinar.
- Los recipientes se enjuagaron repetidas veces antes de efectuar el muestreo.
- Se agregaron los conservadores correspondientes de acuerdo al parámetro a determinar.
- Las muestras se tomaron en el centro del canal en donde el flujo es turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.
- Se dejo fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se llenaron los recipientes de muestreo.

- Las muestras son representativas de las condiciones que existen en el punto, hora de muestreo y el volumen suficiente para efectuar las determinaciones correspondientes.
- Se etiquetaron las muestras con la siguiente información: Identificación de la descarga, número de muestra, fecha y hora de muestreo, temperatura de la muestra, nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo y profundidad del muestreo.
- Las muestras se preservaron de acuerdo al parámetro a evaluar, transportándose en hieleras a temperatura de 4°C.

Dos son las Normas Oficiales Mexicanas que son de carácter regulatorio para la caracterización de aguas residuales:

NOM-031-ECOL/93: Aguas residuales procedentes de la industria, actividades agroindustriales, de servicio y de tratamiento de agua residual a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

NOM-001-ECOL/96: Descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Técnicas de análisis para los parámetros físicos, químicos y biológicos de acuerdo a la siguientes Normas Oficiales Mexicanas.

NORMA	PARÁMETRO	MÉTODO
NOM-AA-3-1980.	Muestreo	Drenaje y alcantarillado
NOM-AA-93-1980	Conductividad eléctrica	Potenciométrico
NOM-AA-7-1980.	Temperatura	Visual con termómetro.
NOM-AA-8-1980.	pH	Potenciométrico
NOM-AA-5-1980.	Grasas y Aceites	Extracción Soxhlet
NOM-AA-12-1980.	Oxígeno Disuelto	Winkler Azida
NOM-AA-28-1980.	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Incubación por dilución.
NOM-AA-30-1980.	Demanda Química de Oxígeno	Reflujo del Dicromato.
NOM-AA-39-1980.	Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	Colorimétrico del azul de metileno.
NOM-AA-51-1990.	Metales pesados	Espectrofotométrico de Absorción Atómica.
NOM-AA-34-1980	Sólidos	Gravimétrico.
NOM-AA-42-1980.	Coliformes totales y fecales.	Determinación del Número Más Probable
NMX-AA-100-1980	Cloro total	Iodométrico

Capítulo 8

RESULTADOS

TABLA 1. VALORES OBTENIDOS EN EL INFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PUNTA IXTAPA.

	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Temperatura, °C	31.0	28.5	30.4	31.2	31.8	35.2	32.4	32.6	30.3
pH	6.6	6.61	6.96	6.9	6.77	6.77	6.76	7.28	6.82
Demanda Química de Oxígeno, mg/L	867.0	615.0	967.0	611.0	444.0	338.0	671.0	356.0	592.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L	201.0	174.0	180.0	146.0	165.0	153.0	183.0	167.0	155.0
Grasas y aceites, mg/L	110.0	90.0	100.0	93.0	102.0	84.0	99.0	84.0	82.0
Oxígeno Disuelto, mg/L	1.5	1.5	0.8	1.0	2.4	1.0	0.2	0.7	0.6
Sustancias Activas al Azul de Metileno, mg/L	6.6	6.5	5.05	5.0	5.3	4.55	5.45	5.75	4.8
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	195.0	186.0	198.0	159.0	172.0	176.5	156.0	186.0	176.0

TABLA 2. VALORES OBTENIDOS EN EL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PUNTA IXTAPA.

PARÁMETROS	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Temperatura °C	27.0	30.5	30.8	33.1	31.0	34.5	33.0	33.9	31.0
pH	6.78	7.0	6.43	6.75	7.14	6.9	6.84	6.86	6.92
Demanda Química de Oxígeno, mg/L	71.5	85.0	72.0	56.0	20.0	32.5	58.0	66.5	76.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L	15.0	14	13.5	13.0	10	12.5	12.5	12.5	12.0
Grasas y aceites, mg/L	25.0	16.0	15.5	19.5	16.0	14.5	13.0	12.25	12.5
Oxígeno Disuelto, mg/L	2.1	5.4	5.0	5.05	5.2	4.3	6.4	5.3	6.0
Sustancias Activas al Azul de Metileno, mg/L	3.15	2.8	2.5	3.05	2.3	2.65	2.2	2.7	3.25
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	19.5	17.0	15.0	15.5	13.0	15.5	14.5	15.5	17.5
Coliformes Fecales NMP/100 mL	1347.0	ND	1602.0	ND	ND	237.0	ND	ND	ND

TABLA 3. VALORES OBTENIDOS EN EL INFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CLUB DE GOLF.

PARÁMETROS	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Temperatura, °C	29.0	27.0	30.3	29.8	31.9	32.0	31.8	31.2	31.5
pH	7.18	7.25	7.24	7.14	7.4	7.28	7.24	7.25	7.02
Demanda Química de Oxígeno, mg/L	765.0	1630.0	1118.0	529.5	394.0	561.0	564.0	418.5	652.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L	159.0	177.5	177.0	154.5	145.5	162.0	175.5	154.5	162.0
Grasas y aceites, mg/L	110.5	95.5	112.5	113.0	99.0	97.5	108.5	84.5	91.5
Oxígeno Disuelto, mg/L	0.5	0.5	0.65	0.9	1.3	0.3	0.5	0.5	0.65
Sustancias Activas al Azul de Metileno, mg/L	5.85	6.05	5.6	6.0	4.85	5.3	6.25	6.05	6.2
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	206.5	200.0	187.5	161.0	176.0	179.0	219.0	170.5	175.0

TABLA 4. VALORES OBTENIDOS EN LOS EFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CLUB DE GOLF.

PARÁMETRO	FEB		MAR			ABR			MAY			JUN			JUL			AGO		SEP		OCT	
	M-1	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-3	M-1	M-3	M-1	M-3
Temperatura, °C	26.5	26.0	26.2	26.5	26.0	27.7	27.2	28.0	30.0	30.0	30.0	32.0	31.0	30.0	29.4	29.4	28.8	30.2	30.0	30.4	30.0	31.4	30.9
pH	7.04	7.2	7.24	7.13	7.55	7.4	7.23	7.48	7.1	6.5	7.01	7.3	6.98	7.26	7.43	6.88	7.19	7.24	7.19	7.59	7.55	7.3	7.3
Demanda Química de Oxígeno, mg/L	61.0	61.0	95.0	75.0	60.0	113	87.0	92.0	91.5	71.5	51.0	37.5	66.0	30.0	65.5	47.0	75.0	60.5	70.5	56.0	56.0	92.0	71.0
Demanda Bioquímica de oxígeno, mg/L	12.5	13.0	14.0	12.0	12.0	13.0	13.5	12.0	20.0	13.0	10.5	8.5	12.5	8.0	13.5	14.0	15.0	11.0	13.0	12.0	12.5	13.5	11.0
Grasas y Aceites, mg/L	23.5	24.5	14.0	12.5	14.0	14.0	15.0	15.0	17.5	18.0	17.0	17.0	16.5	16.0	15.5	17.0	14.5	11.5	11.0	11.5	11.0	13.5	13.0
Oxígeno Disuelto, mg/L	4.35	2.25	5.7	4.6	3.4	5.2	4.2	4.25	6.45	4.5	4.6	4.7	4.3	4.0	5.15	4.0	4.05	4.35	3.3	6.6	5.1	3.8	5.35
Sustancias Activas al Azul de Metileno, mg/L	3.2	3.1	3.7	3.5	4.3	2.8	2.55	2.4	2.9	2.8	2.9	1.5	1.6	1.3	2.75	2.0	2.45	2.6	2.5	2.15	2.95	2.6	2.6
Sólidos Suspendidos totales, mg/L	17.0	16.5	16.5	14.5	14.0	15.0	16.0	14.5	23.0	15.5	12.5	10.0	11.5	12.0	13.0	20.0	18.0	12.0	14.0	15.0	14.0	15.5	14.5
Coliformes Fecales, NMP/100 mL	2268	18980	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9001	ND	ND	ND	ND

Tabla 5. VALORES OBTENIDOS DE LOS METALES PESADOS PRESENTES EN LOS EFLUENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CLUB DE GOLF.

PARÁMETRO	FEB		MAR			ABR			MAY			JUN		
	M-1	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3
Cadmio (Cd), mg/L	0.0193	ND	0.0385	0.0193	0.0193	0.0193	ND	ND	0.0385	0.0578	ND	0.0193	0.0578	0.0578
Zinc (Zn), mg/L	6.3636	6.3636	6.3636	4.5454	2.7272	6.3636	3.6363	5.4545	7.2727	5.4545	7.2727	7.2727	7.2727	10.9
Cobre (Cu), mg/L	1.7647	ND	1.176	ND	ND	ND	ND	ND	1.7647	ND	ND	ND	1.176	1.176
Fierro (Fe), mg/L	2.272	ND	1.363	0.909	ND	1.363	0.909	1.363	1.363	1.363	0.909	0.909	1.363	1.81
Cromo (Cr), mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Plomo(Pb), mg/L	0.079	0.1574	0.1574	ND	0.1579	0.079	0.079	ND	0.236	0.079	0.079	ND	0.079	0.236

PARÁMETRO	JUL			AGO		SEP		OCT	
	M-1	M-2	M-3	M-1	M-3	M-1	M-3	M-1	M-3
Cadmio (Cd), mg/L	0.0193	0.0193	0.0385	0.0385	0.0578	0.0385	0.077	0.077	0.0578
Zinc (Zn), mg/L	10.9	2.7272	8.1818	7.2727	7.2727	12.7272	8.1818	6.306	5.4545
Cobre (Cu), mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fierro (Fe), mg/L	1.363	0.90	1.363	1.363	1.363	0.909	0.454	ND	2.272
Cromo (Cr), mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Plomo(Pb), mg/L	0.1574	0.1574	0.079	ND	0.079	0.079	0.1574	ND	ND

TABLA 6. VALORES OBTENIDOS DE METALES PESADOS EN EL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PUNTA IXTAPA.

PARÁMETROS	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Cadmio (Cd), mg/L	ND	ND	ND	0.0193	0.0578	0.077	0.077	0.0578	ND
Zinc (Zn), mg/L	6.3676	5.455	10.0	6.3676	3.3676	12.727	12.727	11.818	9.09
Cobre (Cu), mg/L	ND	0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Plomo (Pd), mg/L	0.0787	0.1574	0.2362	ND	0.0787	0.1574	0.3937	0.1574	ND
Fierro (Fe), mg/L	0.9	0.9	ND	2.727	0.454	ND	0.454	0.454	0.454
Cromo (Cr), mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

TABLA 7. EFICIENCIA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO CLUB DE GOLF Y PUNTA IXTAPA DE ACUERDO A LA DBO5.

MES	CLUB DE GOLF			PUNTA IXTAPA
	M-1 (%)	M-2 (%)	M-3 (%)	M-2 (%)
FEBRERO	91.14	-----	91.82	92.5
MARZO	92.11	93.24	93.24	93.0
ABRIL	92.65	92.37	93.22	92.5
MAYO	87.05	91.59	93.20	91.09
JUNIO	94.16	91.41	94.5	93.93
JULIO	91.67	91.34	90.74	91.83
AGOSTO	93.73	-----	92.59	93.17
SEPTIEMBRE	92.23	-----	91.91	92.5
OCTUBRE	91.67	-----	93.2	92.25

TABLA 8. EFICIENCIA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO CLUB DE GOLF Y PUNTA IXTAPA DE ACUERDO A LA DQO.

MES	CLUB DE GOLF			PUNTA IXTAPA
	M-1 (%)	M-2 (%)	M-3 (%)	M-2 (%)
FEBRERO	92.0	-----	92.0	91.7
MARZO	94.17	95.39	96.31	86.0
ABRIL	89.89	92.21	91.17	92.55
MAYO	82.71	36.5	90.37	90.83
JUNIO	90.48	83.25	92.38	95.49
JULIO	88.32	92.16	86.61	90.38
AGOSTO	89.27	-----	87.5	91.35
SEPTIEMBRE	86.61	-----	86.61	81.32
OCTUBRE	85.90	-----	89.12	87.07

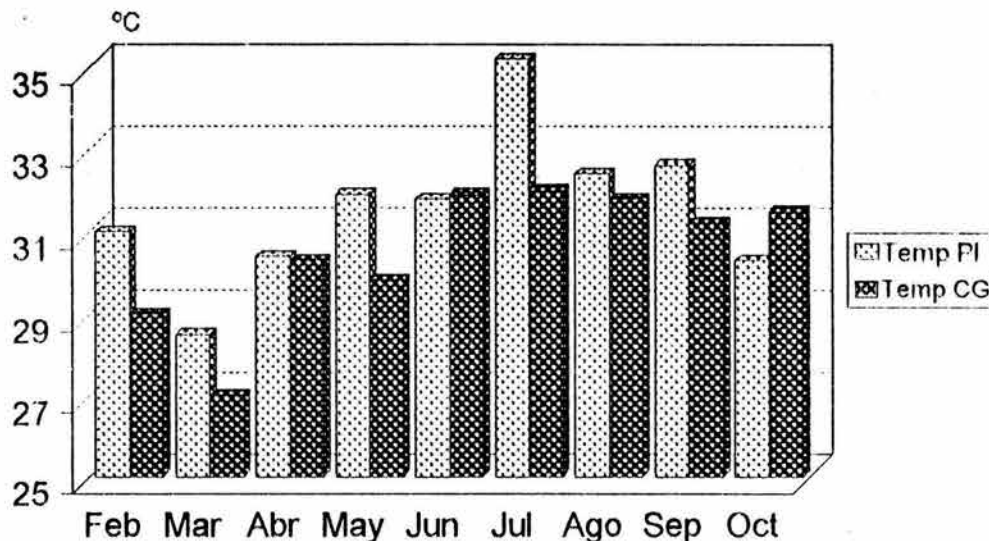
Capítulo 9

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La posibilidad de hacer recomendaciones para el reuso del agua tratada descansa en la necesidad de conocer cual es el tipo de agua que se quiere tratar, esto es saber la calidad, realizando un análisis de los componentes y con base en ellos se seleccione el método de tratamiento más adecuado, y seleccionar el que tenga mejores eficiencias de remoción y de acuerdo a esa selección realizar las pruebas de tratabilidad necesarias. Por lo anterior, es prioritario analizar las características del influente.

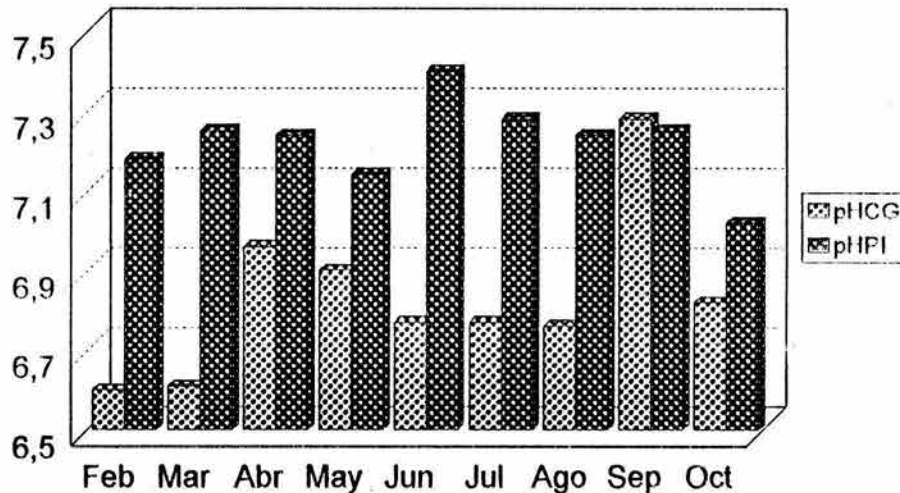
Temperatura: en la gráfica 1 se observa un rango de temperatura de 27-35.2 °C, encontrándose dentro del LMP establecido en la NOM-CCA-031-ECOL/1993 es de 40 °C. Los rangos aceptables de temperatura van de 15-38 °C siendo la óptima de 38 °C. La actividad metabólica de los microorganismos aumenta con la temperatura, donde ese incremento produce simultáneamente una disminución de la disponibilidad del oxígeno disuelto y un aumento en la tasa de consumo. Por lo cual es indispensable mantener, el ambiente en el que se encuentre el microorganismo, donde su actividad microbiana sea la más eficiente. Cabe mencionar que las condiciones climáticas de la zona favorecen una temperatura estable a lo largo del año.

Gráfica 1. Valores de Temperatura en los Influentes de las plantas de tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf, Gro.



pH: en la gráfica 2 se observa que ambos influentes presentan valores de pH que se encuentran dentro del rango donde se desarrolla una buena actividad microbiana y diferentes reacciones químicas. En el caso del tratamiento biológico es importante mantener un pH adecuado de 6 a 8, ya que de no ser así los microorganismos disminuyen su actividad metabólica e incluso tienden a desaparecer, obteniendo un agua residual difícil de tratar.

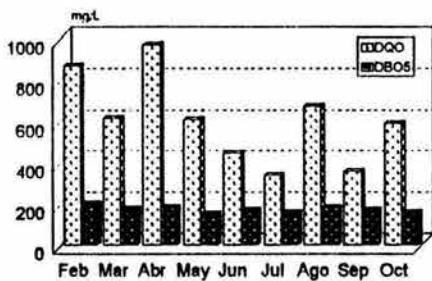
Gráfica 2. Valores de pH en los influentes de las plantas de tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf.



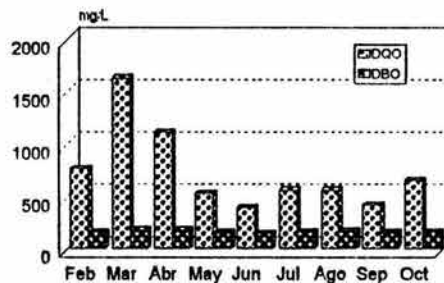
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO): Las gráficas 3 y 4 relacionan los valores obtenidos para DBO y DQO de los influentes de las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf respectivamente, los valores de DBO en ambas plantas se encuentran en un rango de 100-350 mg/L es típico de un agua residual doméstica (Tabla 1). en los resultados de los influentes se tiene oxígeno disueltos bajos que van de 0.2 a 2.4, los valores mas altos se tienen en la planta de Tratamiento Punta Ixtapa esto es debido a que la descarga se realiza a presión. La presencia de grasas y aceites, SAAM y Zinc en cantidades elevadas, favorecen el comportamiento de la DBO en relación a la DQO (gráficas 3 y 4). La DBO indica la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica, cuando se presentan valores de DBO altos el oxígeno disuelto se abate considerablemente, debido a que los microorganismos presentes en el agua residual no alcanzan a degradar la materia organica.

Los valores de DBO se presentan en 50% menores en relación a la DQO, en los meses de Julio y Septiembre en Punta Ixtapa así como en Junio en Club de Golf, y hasta un 80% en Marzo para Club de Golf, lo que nos indica que los influentes presentan descargas de tipo doméstico con interferencias importantes de Grasas y aceites, SAAM y Zinc que proceden de las aguas de calderas y torres de enfriamiento que se encuentran localizadas en todos los hoteles de la zona el Zn se encuentra presente en los inhibidor de corrosión (anticorrosivos). El comportamiento mencionado es característico de una descarga de tipo industrial

Gráfica 3. Valores de DQO y DBO (mg/L) en el Influyente de la planta de tratamiento Punta Ixtapa.



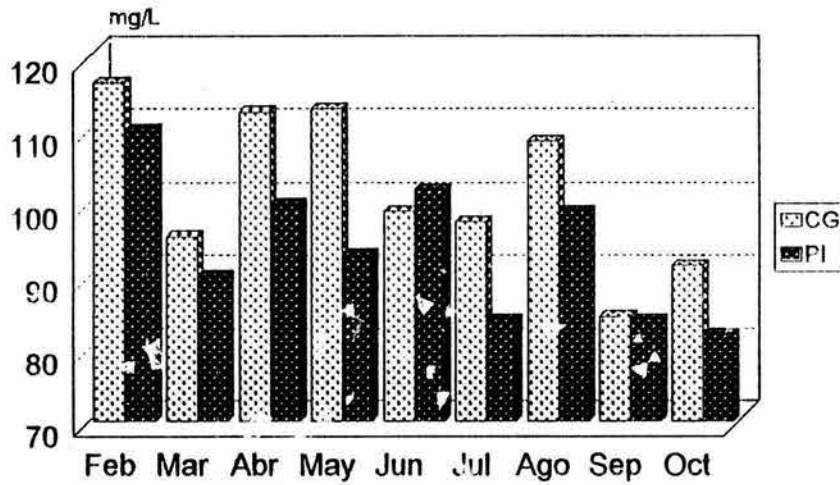
Gráfica 4. Valores de DQO y DBO5 (mg/L) en el Influyente de la planta de tratamiento Club de Golf.



Grasas y Aceites: Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias, sin embargo, los ácidos minerales los descomponen dando lugar a la glicerina y ácidos grasos, los que a su vez en reacción con el hidróxido forma sales alcalinas conocidas como jabones, que en presencia de la dureza del agua se transforman en sales cálcicas y magnésicas de ácido grasos, que son insolubles y precipitan. En el caso de los aceites, se mantienen en la superficie y forman una capa que no permite que se de un intercambio entre el oxígeno atmosférico, en consecuencia afecta la actividad microbiana y los procesos pueden transformarse en anaerobios.

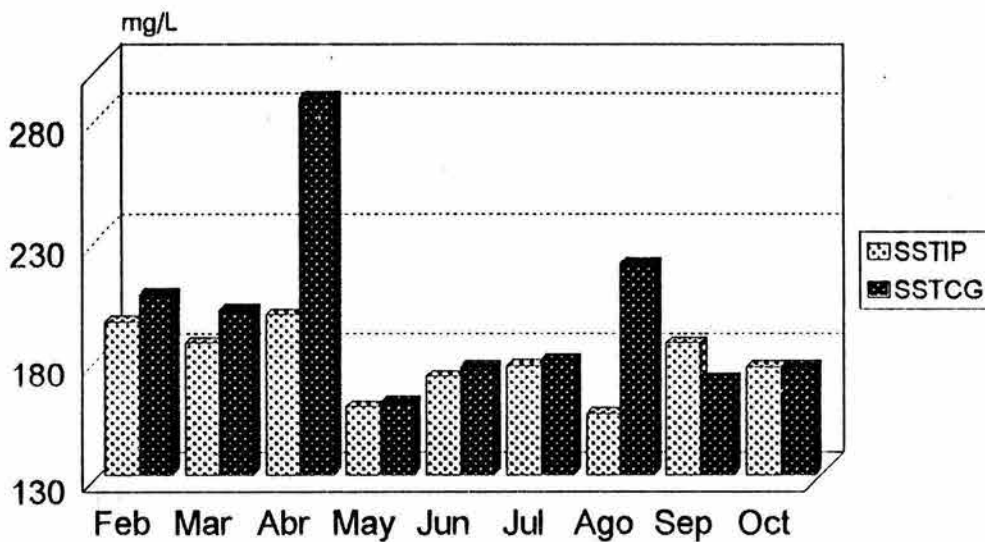
En la gráfica 5 se observan valores de entre 82-116.5 mg/L que de acuerdo con la tabla 1, el agua es de calidad medianamente contaminada, estos valores elevados se deben a que el influente de las plantas de tratamiento, proviene principalmente de los hoteles y restaurantes, los cuales manejan grasas y aceites en sus cocinas y cuartos de maquinas, y no cuentan con trampa de grasas y aceites, previo el ingreso del agua residual a las plantas de tratamiento.

Gráfica 5. Grasas y Aceites (mg/L) en los Influentes de las Plantas de Tratamiento Club de Golf y Punta Ixtapa.



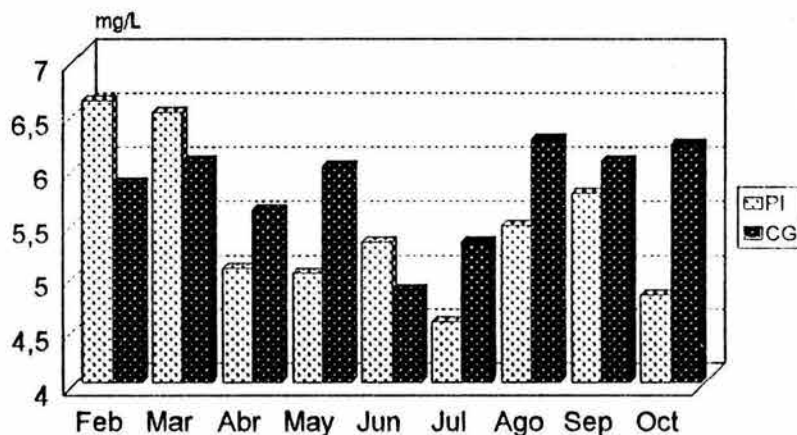
Sólidos Suspendidos Totales: en la gráfica 6 se observa que los sólidos suspendidos totales se encuentran en el rango de 156.0 como mínimo y 206.5 mg/L máximo que de acuerdo a la tabla 1 presenta una concentración de contaminantes de media a baja. El agua que se recibe en ambas plantas procede de inodoros, fregaderos, baños, lavaderos y trituradores de basura que se encuentran en hoteles y restaurantes.

Gráfica 6. Valores de SST (mg/L) en los Influentes de las plantas de tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf



Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM). Las Sustancias Activas al Azul de Metileno son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua que producen la espuma en las plantas de tratamiento y tienden a acumularse en la interfase aire-agua. Durante la aireación del agua residual, estos compuestos se acumulan sobre la superficie causando una espuma muy estable. Los criterios de SAAM no se encuentran establecidos aún en las aguas residuales, sin embargo en la NOM-031-ECOL-1993 se tiene un Límite Máximo Permisible de 30 mg/L como promedio Diario, si observamos la gráfica 7 en la que se comparan los valores de los influentes de ambas plantas de tratamiento se encuentran por debajo de dicho valor. Se realizó esta comparación debido a que el agua que reciben ambas plantas de tratamiento provienen de un sistema de drenaje y alcantarillado local, como lo establece la NOM mencionada.

Gráfica 7. Valor de SAAM (mg/L) de los Influentes de las Plantas de Tratamiento de Punta Ixtapa y Club de Golf, Gro.



NOM-CCA-031/1993 SAAM = 30 mg/L.

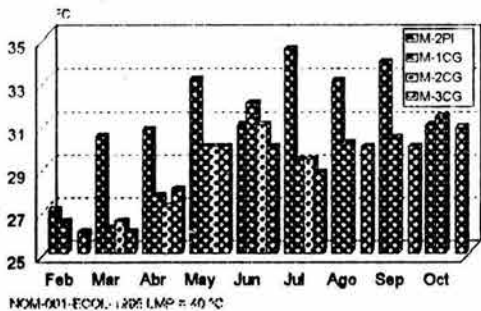
Evaluación de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996.

Temperatura y pH: en la gráfica 8 se observa la variación de temperatura en los efluentes tanto de la planta de tratamiento Punta Ixtapa, así como de los diferentes Módulos en Club de Golf, los valores se encuentran dentro del Límite Máximo Permisible que maneja la Norma Oficial Mexicana Ecológica 001, que establece un valor de 40 °C.

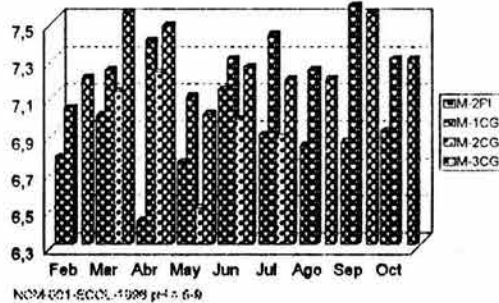
Las condiciones climáticas de la zona favorecen la prevalencia de una temperatura estable a lo largo del año, así mismo las temperaturas de los efluentes no presentan cambios importantes con respecto a los valores obtenidos en el influente.

En la gráfica 9 se observan los valores obtenidos para pH los cuales se encuentran dentro del Límite Mínimo Permisible que es de 5, y del Limite Máximo Permisible el cual es de 10 de acuerdo la NOM-ECOL-001-1996. Los valores obtenidos en el influente con respecto a los del efluente no muestran cambios importantes, ya que son aguas de tipo doméstico. Es necesario considerar que para desarrollar los tratamientos en ambas plantas un factor importante es control de pH entre 6-8.

Gráfica 8. Valores de Temperatura en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf



Gráfica 9. Valores de pH en los Efluentes de las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf



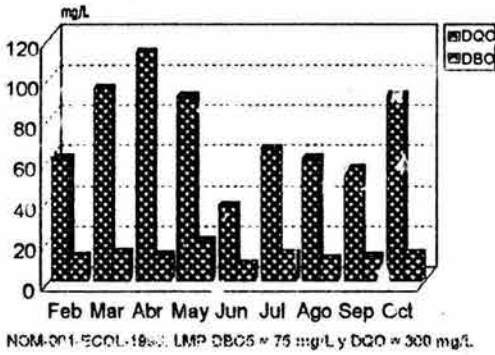
Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Estos dos parámetros se encuentran muy relacionados, a través de ellos evaluamos la cantidad de oxígeno que requiere el sistema para depurar los materiales que hay en él y nos indica de manera indirecta si aplicamos un tratamiento de tipo biológico o químico dependiendo de la relación que guarden entre ellos

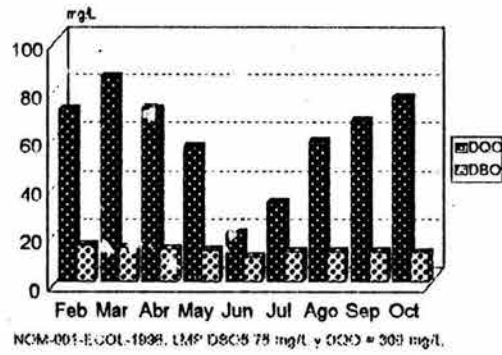
En las gráficas 10, 11, 12 y 13 se observa que todos los valores de DQO de los efluentes de ambas planta de tratamiento se encuentran por debajo, teniendo un valor mínimo el obtenido en el mes de Junio en la planta de tratamiento Punta Ixtapa igual a 20 mg/L y un valor máximo de 95 mg/L en el M-1 de la planta de tratamiento Club de Golf durante el mes de Marzo.

El Límite Máximo Permisible para DQO no lo establece la NOM-001-ECOL-1996, por lo que nos apoyamos en la Ley de Derechos en Materia de Agua de 1997, la cual marca como LMP 300 mg/L, los valores encontrados están muy por de bajo de este valor lo cuál nos indica que el efluente con respecto a DQO presenta una calidad bastante aceptable y por tanto la eficiencia de remoción es alta.

Gráfica 10. Comportamiento de la DQO y DBO en el Modulo de la Planta de Tratamiento Club de Golf



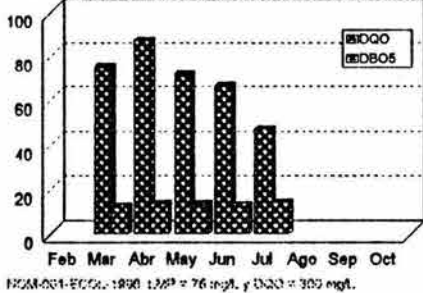
Gráfica 11. Valores de DQO y DBO5 (mg/L) en el Eflu de la Planta de Tratamiento Punta Ixtapa



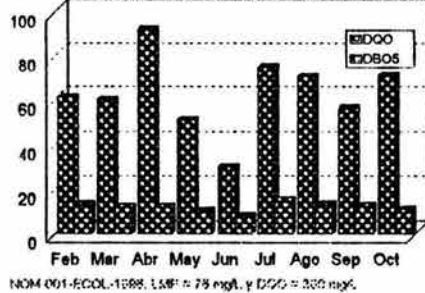
La gráfica 10, 11, 2 y 13 se observa que los valores de DBO5 se encuentran por debajo del Límite Máximo Permisible que permite la NOM-001-ECOL-96 el cual es de 75 mg/L para embalses naturales y artificiales (uso de riego agrícola) dentro de la misma norma en suelo (uso en riego agrícola). Los valores de DBO y DQO en los efluentes presentan el mismo comportamiento que en los influentes, no siendo tan marcadas las diferencias, hay una disminución considerable de grasas y aceites así como de SAAM, sin embargo se tiene elevada concentración de Fe y Zn.

Los valores que se obtuvieron de DBO nos indican que la presencia de materia orgánica de tipo carbonaceo es baja ya que la remoción máxima fué de 95%. Como ya se mencionó anteriormente, tenemos presencia de Zinc, Fierro, Grasas y Aceites y SAAM en altas cantidades pero en la relación que guarda la DBO con respecto a la DQO podemos observar la presencia de esas interferencias.

Gráfica 12. Valores de DQO/DBO en el Efluente M-2 de la Planta de Tratamiento Club de Golf.



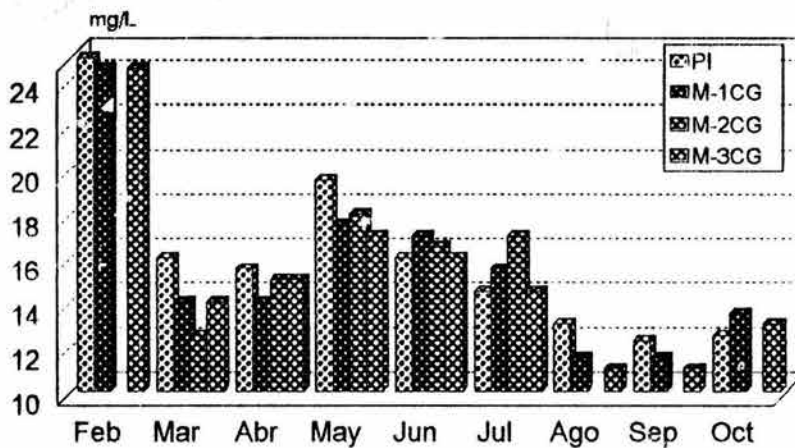
Gráfica 13. Valores de DQO/DBO en el Efluente M-3 de la Planta de Tratamiento Club de Golf.



Grasas y Aceites: en la gráfica 14 se presentan los valores de Grasas y Aceites, podemos observar que en la planta de tratamiento Punta Ixtapa los meses de Febrero, Marzo, Abril, Mayo y Junio los valores están por arriba del Límite Máximo Permissible en Promedio Mensual que es de 15 mg/L, asimismo en la planta de tratamiento Club de Golf en el mes de Febrero (M-1 y M-3), Mayo (M-1, M-2 y M-3), Junio (M-1, M-2 y M-3) y Julio (M-1 y M-3), también se encuentran por arriba del valor antes mencionado.

En el mes de Abril se observa que en el modulo (M-2 y M-3) de la planta de tratamiento Club de Golf, el valor obtenido es igual al Límite Máximo Permissible. Las grasas son compuestos orgánicos muy estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias presentes en un sistema de tratamiento biológico, para eliminarlas se someten a un tratamiento primario que consiste en una trampa para grasas y aceites, las plantas de tratamiento Club de Golf y Punta Ixtapa no cuentan con este proceso por lo cual el valor se encuentra fuera de norma, esto impide un intercambio de oxígeno en la interfase agua-aire.

Gráfica 14. Valores de Grasas y Aceites en los Modulos de la Planta de Tratamiento Club de Golf y Punta Ixtapa.



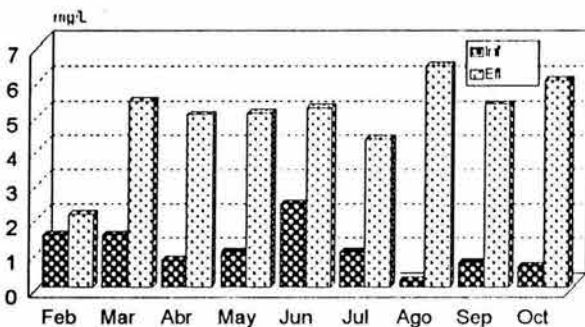
NOM-001-ECOL-1986 LMP = 15 mg/L.

Oxígeno Disuelto: las gráficas 15A y 15B muestran que el oxígeno disuelto en los influentes es menor que en los efluentes de ambas plantas de tratamiento esto se debe a la presencia de materia orgánica oxidable en el influente. Los efluentes se encuentran en un rango de 2-7 mg/L, presentándose en los meses de Marzo, Junio, Agosto, Septiembre y Octubre en Punta Ixtapa valores mayores de 5 mg/L; en Club de Golf los meses de Marzo (M-2), Abril (M-1), Mayo (M-1), Julio (M-1), Septiembre (M-1 y M-3) y Octubre (M-3) también se encuentran valores por arriba de 5 mg/L.

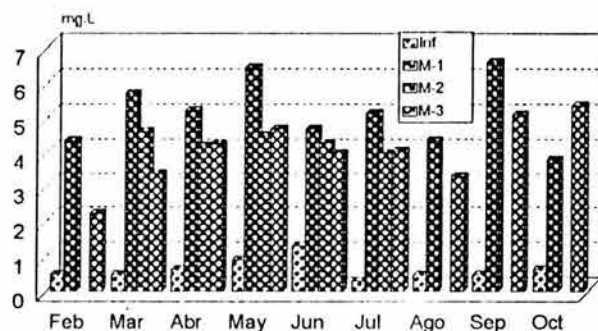
Los peces son utilizados como indicadores sensibles de la contaminación tóxica, aunque la situación se complica por que las diferentes condiciones ambientales pueden afectar en forma importante la toxicidad de un material en particular, uno de los factores más importantes es el Oxígeno Disuelto y los peces requieren un suministro mínimo para su actividad, que varía de entre 1.5 mg/L para peces ordinarios y 5 mg/L para peces de pesca deportiva (Tebbutt, 1990).

la disponibilidad del oxígeno constituye una característica clave en los procesos de control de la contaminación en general. Por otra parte, la presencia de oxígeno disuelto en el agua residual es altamente deseable, porque evita la formación de olores desagradables así como la formación de aguas sépticas en estado de putrefacción. El oxígeno disuelto en los influentes en ambas plantas de tratamiento tienen un valor mínimo de 0.2 mg/L y un máximo de 2.4 mg/L. Los valores de Punta Ixtapa en el influente son mayores que los del Club de Golf debido a que el agua se descarga a presión lo que permite una mayor aireación. Los valores de oxígeno de entrada con respecto a los de salida se incrementan y ello permite que las condiciones de degradación se den de manera muy rápida.

Gráfica 15A. Comportamiento del de Oxígeno Disuelto (mg/L) en la Planta de Tratamiento Punta Ixtapa.



Gráfica 15B. Comportamiento de los Valores de Oxígeno Disuelto (mg/L) en la Planta de Tratamiento Club de Golf.

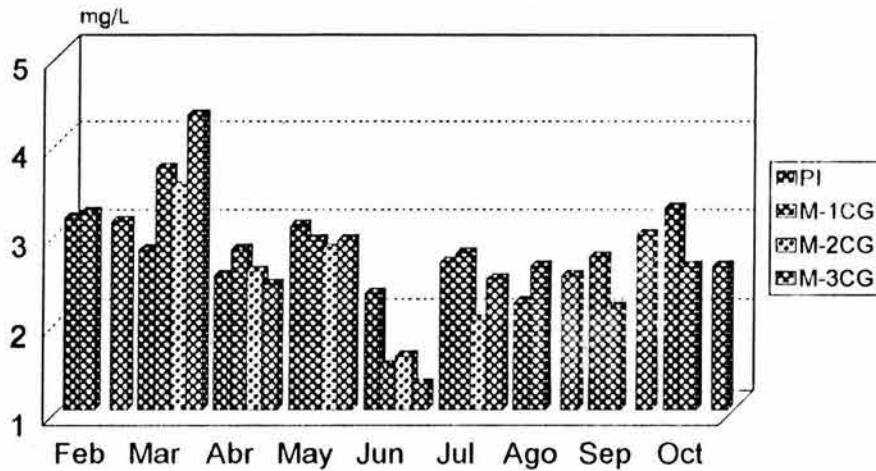


Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) y Sólidos Suspendidos Totales: la NOM-001-ECOL-96 no establece los Límites Máximos Permisibles para SAAM, pero es un parámetro importante de analizar ya que la presencia de Fósforo en los detergentes a nivel nacional representa un problema en los cuerpos de agua por los diferentes niveles de eutrificación que presentan.

Los valores obtenidos de SAAM en los diferentes efluentes se encuentran en un rango de 1.5-4.5 mg/L con una disminución de aproximadamente el 50% en los valores obtenidos

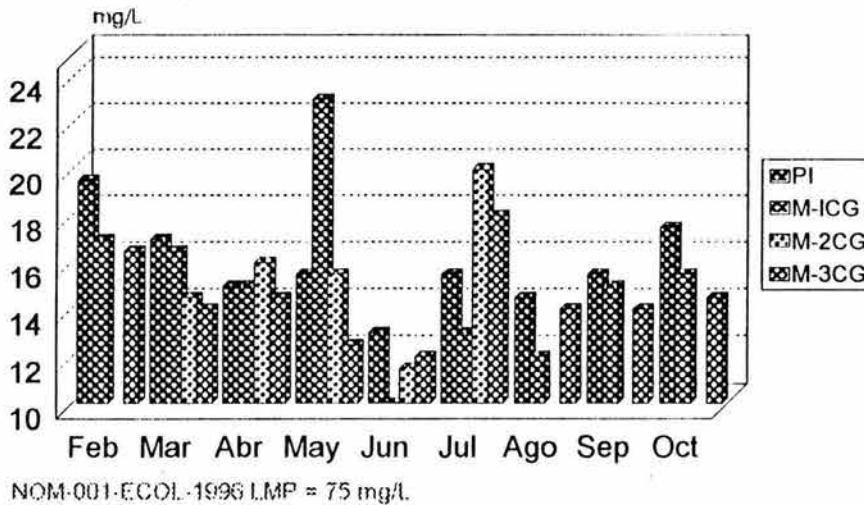
para Junio de la planta de tratamiento Club de Golf en sus tres modulos, en comparación con los valores del influente para ambas plantas de tratamiento. El mediano porcentaje de remoción para SAAM indica que la presencia de estos compuestos es alta.

Gráfica 16. Valores de SAAM en los Modulos de la Planta de Tratamiento Club de Golf y Punta Ixtapa.



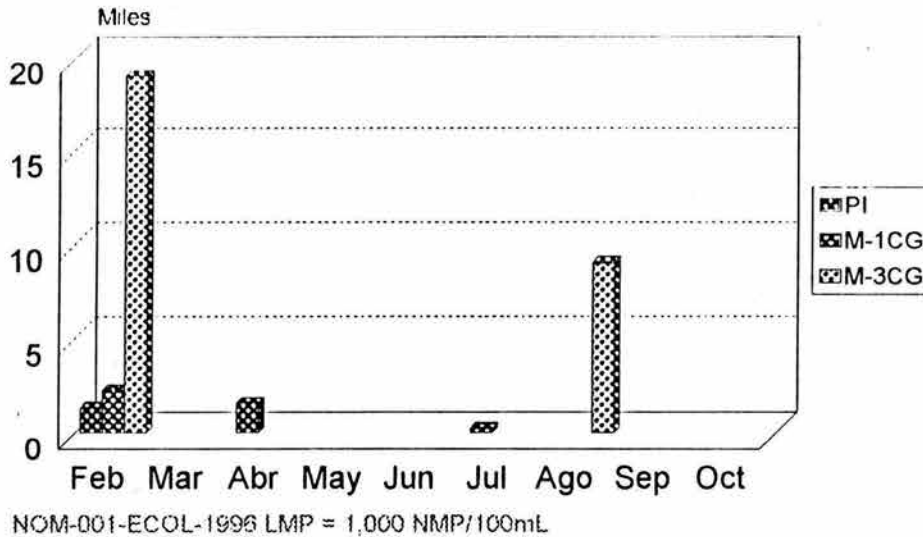
En la gráfica 17 se presentan los valores de sólidos suspendidos totales los cuales comparados con el Límite Máximo Permisible que maneja la NOM-001-ECOL-96 de 75 mg/L como promedio mensual se encuentran dentro de dicho límite. La disminución de los sólidos suspendidos en el efluente con respecto a los obtenidos en los influentes se debe a la oxidación de la fracción orgánica y al proceso de sedimentación que presenta la fracción inorgánica eliminanda en el clarificador de la planta de tratamiento.

Gráfica 17. Valor SST (mg/L) en las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf.



Coliformes Fecales: las bacterias del grupo de coliformes fecales son los organismos usados como indicadores de contaminación fecal proporcionando una evidencia positiva. Estos organismos viven más tiempo en y provocan infecciones intestinales al hombre. En la gráfica 18 observamos la presencia de Coliformes Fecales en los meses de Febrero, Abril y Julio en Punta Ixtapa, pero solo en los meses de Febrero y Abril se rebasa el Limite Máximo Permisible promedio mensual (1000 NMP/100 mL). En cuanto al Club de Golf en los meses de Febrero (M-1, M-2 y M-3) y Julio (M-3) el promedio mensual obtenido se encuentra fuera de dicho Límite. Estos resultados se presentaron ya que no se realizó una desinfección adecuada y ello implica un riesgo sanitario.

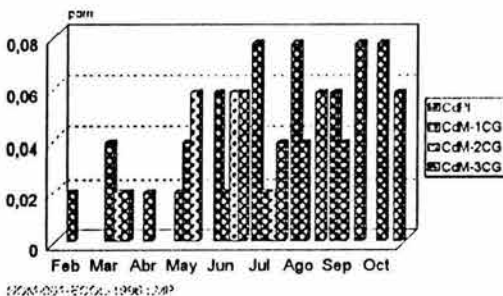
Gráfica 18. Valores de Coliformes Fecales de las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf.



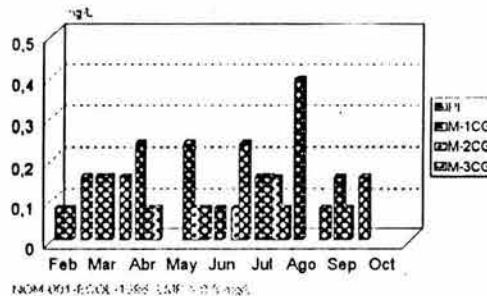
Metales Pesados: muchos metales se incorporan al agua debido a procesos naturales tales como la actividad volcánica y erosión de las rocas. Los procesos industriales tienden a movilizar y depositar muchos de estos elementos, incrementando su presencia en el agua.

En Ixtapa Zihuatanejo no existe actividad industrial alguna, por lo que se tienen cantidades mínimas de Cd, Pb, Cu y Cr encontrándose dentro del Límite Máximo Permisible para cada uno de ellos observándose en las gráficas 19, 20 y 21 respectivamente. Cabe mencionar que para ambas plantas de tratamiento no se detecto la presencia de Cr.

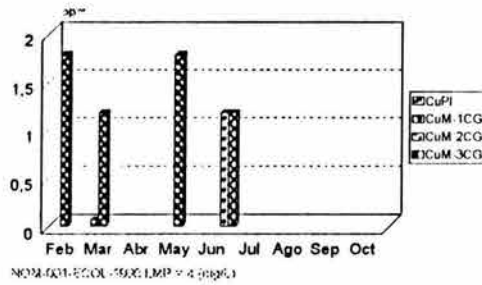
Gráfica 19. Valores de Cadmio (mg/L) en las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf.



Gráfica 20. Valores de Plomo (mg/L) de las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf.



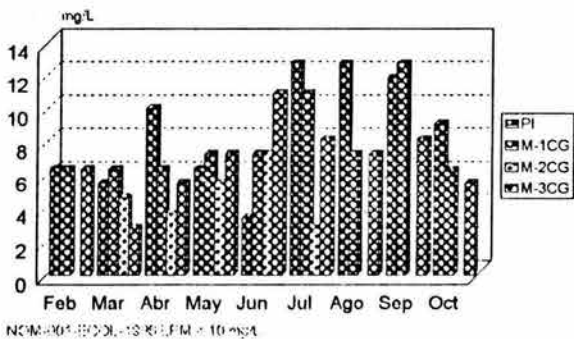
Gráfica 21. Valores de Cobre (mg/L) en las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf.



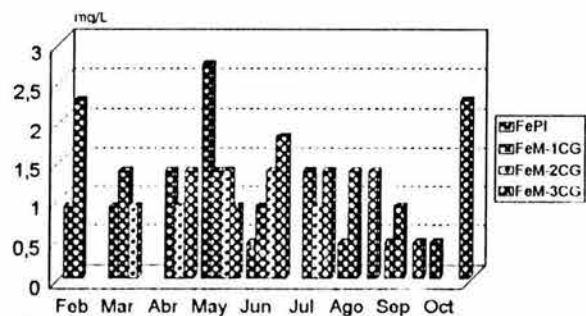
En la gráfica 22 se muestran los valores de Zn de la planta de tratamiento Punta Ixtapa para los meses de Julio, Agosto y Septiembre rebasan por arriba del Límite Máximo Permisible (10 mg/L), para el mes de Abril el valor está en el Límite Máximo Permisible; los valores del Club de Golf en los meses de Junio (M-2, M-3), Septiembre (M-1) también se encuentran por arriba del límite, en Julio (M-1) el valor está en el Límite antes mencionado.

La presencia de Zn se atribuye a que en los hoteles de Ixtapa Zihuatanejo cuentan con sistemas de calderas, así como torres de enfriamiento a las cuales se les adiciona anticorrosivos con compuestos de Zn, lo cual favorece la presencia de altas concentraciones en el agua residual.

Gráfica 22. Valores de Zinc (mg/L) en las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf.



Gráfica 23. Valores de Hierro (mg/L) de las Plantas de Tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf.



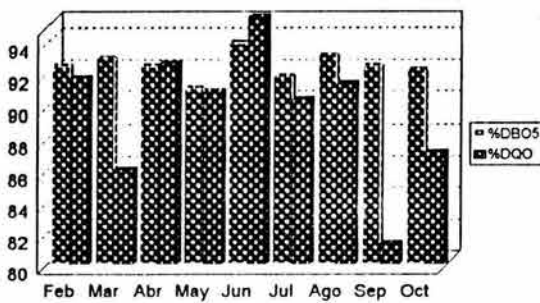
El Fe no es un metal considerado en la NOM-001-ECOL-1996 por lo que se evalúo con la NOM-CCA-031-ECOL/93 con un Límite Máximo Permisible (5.0 mg/L), donde el valor obtenido de Fe para ambas plantas de tratamiento se encuentra dentro de dicho rango (ver gráfica 23).

Eficiencia de Remoción en las plantas de Tratamiento Club de Golf y Punta Ixtapa.

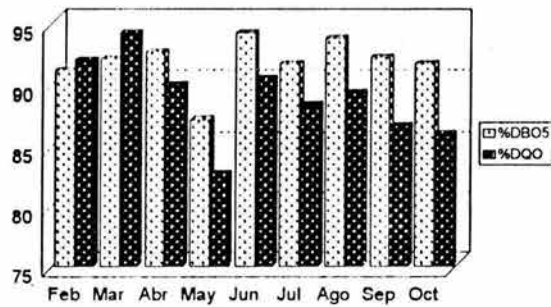
En la gráfica 24 se pueden observar los niveles de eficiencia de remoción en la Planta de Tratamiento de Punta Ixtapa, y se evalúa de acuerdo a los valores que se obtuvieron tanto de DBO como de DQO, los cuales se encuentran dentro del rango ya que para los sistema de lodos activados con aireación extendida, es entre 75-95%.

La gráfica 25 relaciona la eficiencia de remoción de DBO/DQO para la Planta de Tratamiento Club de Golf, observándose que en los meses de Febrero, Marzo y Julio la DQO presenta una mayor eficiencia de remoción en la operación del Modulo 1.

Gráfica 24. Valores de % de eficiencia en DBO5 y DQO en la Planta de Tratamiento Punta Ixtapa.



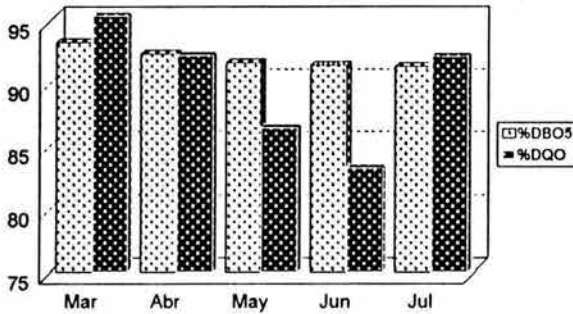
Gráfica 25. Valores de % de eficiencia en DBO5 y DQO del M-1 de la Planta de Tratamiento Club Golf.



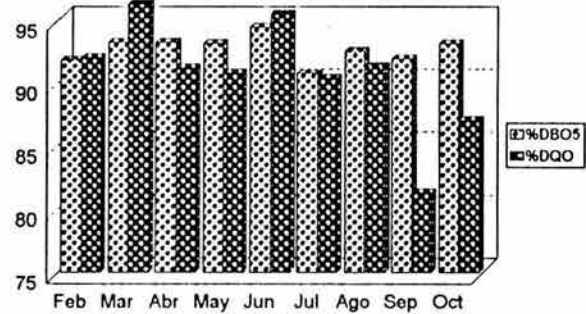
En la gráfica 26 observamos la eficiencia de remoción del Modulo 2 de la Planta de Tratamiento Club de Golf, con valores de remoción de DQO mayores para Marzo, Abril y Julio, mientras que para DBO encontramos una mayor eficiencia de remoción en Marzo y Abril.

Finalmente para el Modulo 3, se tienen altas eficiencias de remoción de DQO en Marzo y Junio y para los meses de Junio y Octubre; los valores mensuales están por arriba del 90% de eficiencia, como se muestra en la gráfica 27.

Gráfica 26. Valores del % de Eficiencia en DBO5 y DQO en el M-2 de la Planta de Tratamiento Club de Goff.



Gráfica 27. Valores del % de Eficiencia en DBO5 y DQO en el M-3 de la Planta de Tratamiento Club de Goff.



La eficiencia de remoción en una planta de tratamiento se evalúa básicamente con los valores que se obtienen de DBO y DQO en el influente y en el efluente principalmente.

Es importante señalar que la Demanda de oxígeno evaluada químicamente se puede correlacionar con la DBO de un agua residual, su rapidez permite utilizarlas en el proceso de control de diferentes sistemas de tratamiento y el control de la contaminación. No debemos olvidar que los diferentes sistemas de oxidación están sometidos a interferencias por diversas sustancias inorgánicas.

Capítulo 10
CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los valores obtenidos, el agua residual proveniente de la zona hotelera Ixtapa-Zihuatanejo se caracteriza por ser de origen doméstico, en los parámetros (DBO, DQO, SST, Grasas y Aceites) de acuerdo a Metcalf y Eddy, 1991
2. La contaminación se considera de media a baja, por lo que resulta adecuada para su tratamiento en un sistema de lodos activados de aireación extendida, presente en las plantas de tratamiento Punta Ixtapa y Club de Golf.
3. La calidad del agua tratada de las dos plantas de tratamiento se considera no apta para el riego agrícola en los meses de Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre (Punta Ixtapa), así como los meses antes mencionados excepto Abril para Club de Golf, debido a la presencia de Grasas y Aceites, Coliformes Fecales y Zn. El agua tratada es aceptable en todos los demás parámetros
4. La eficiencia promedio de operación de la planta de tratamiento Punta Ixtapa es de 92.53% y Club de Golf (M-1) 91.93%, (M-2) 91.99% y (M-3) 92.71%, la cual se encuentra dentro del rango establecido para este tipo de sistema de tratamiento, por lo cual ambas plantas se encuentran operando adecuadamente.
5. La eficiencia promedio de remoción para DQO en la planta Club de Golf es de 88.82% (M-1), 89.9% (M-2) y 90.23% (M-3); para la planta Punta Ixtapa de 89.63%.
6. El sistema de desinfección con gas cloro no es el adecuado para ambas plantas de tratamiento, ya que hay una gran cantidad de coliformes fecales representando un riesgo sanitario y una posible formación de compuestos como las cloraminas.

Capítulo 11
RECOMENDACIONES

1. Diseñar un tanque separador de grasas adecuado al gasto de la planta de tratamiento, colocándolo antes de que el influente entre al reactor biológico, o en su defecto desarrollar una campaña en la cual se solicite que todos los establecimientos de los que proceda el agua residual instalen trampas para grasas y aceites, con el fin de minimizar el problema.
2. Desarrollar una campaña en los hoteles que cuenten con sistema de calderas y torres de enfriamiento, verificando el compuesto anticorrosivo utilizado en el mismo para descartar las fuentes potenciales de contaminación con Zn.
3. Es importante buscar un sistema de desinfección adecuado que elimine completamente los organismos coliformes fecales, así como ser muy cuidadosos en las precauciones y manejo de los sistemas de desinfección con cloro.



BIBLIOTECA
INSTITUTO DE ECOLOGIA
UNAM

Capítulo 12
BIBLIOGRAFIA

1. Alvarez. G.A. , Silva, M.S. 1993. Aguas Residuales. Boletín, IIE, (2) pp. 88-93. México, D.F.
2. APHA, AWWA, WPCF,. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas residuales. 18a Edición. E.U.A; pp. 9.78, 9.80.
3. Brennan J.G. 1980. Las Operaciones de la Ingeniería de los alimentos. Ed. ACRIBA. Zaragoza, España; pp. 470-475
4. Cary, J. 1990. Drinking Water Hazards. How to know if there are toxic chemical in your water and what to do if tthere are. Ed. Envirographics. U.S.A.
5. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1995. Manual del Tratamiento de aguas. Gpo. Noriega. México, D.F; pp. 71-77, 117-131.
6. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-3-1980. Agua Residual Muestreo; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial: Dirección General de Normas. México, D.F.
7. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-8-1980. Determinación de pH; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas México, D.F.
8. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-5-1980. Determinación de Grasas y Aceite; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.
9. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-93-1980. Determinación de la Conductividad Eléctrica; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.

10. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-34-1980. Determinación de Sólidos; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.
11. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-7-1980. Determinación de Temperatura; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.
12. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-30-1980. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.
13. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-28-1980. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.
14. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-51-1980. Determinación de Metales Pesados; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.
15. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-39-1980. Determinación de Sustancias Activas al Azul de Metileno (Detergentes); Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.
16. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-12-1980. Determinación de Oxígeno Disuelto; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.
17. Diario Oficial de la Federación, 1980. Norma Oficial Mexicana. NOM-AA-42-1980. Determinación del Número Más probable de Coliformes Fecales (NMP); Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.
18. Diario Oficial de la Federación, 1993. NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

19. Diario Oficial de la Federación, 1993. NOM-031-ECOL/93. Aguas Residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicio y tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas. México, D.F.
20. Diario Oficial de la Federación, 1994. Ley de Aguas Nacionales (y su reglamento). Ed. Porrúa. México, D.F.:
21. Duffus, 1983. Toxicología ambiental. Ed. Omega. México, D.F; pp. 88-99.
22. EPA. 1980. Desing Manual. Onsite Wastewater Treat and Disposal Systems. E.U.A; pp. 195-199.
23. Fair-Geyer y Okum. 1990. Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales Ed. LIMUSA. México, D.F; pp. 148-149.
24. González, R. 1994. La reutilización de las aguas residuales una fuente de abastecimiento de agua alternativa. AGUA. No. 3. AWWA. Denver, Colorado, E.E.U.U; pp. 23-30.
25. Merck. 1992. Origen de algunos Contaminantes Químicos en el agua. Enlace 2, 10-11. México, D.F.
26. Metcalf & Eddy. 1991. Wastewater Engineering. Treatment, disposal and reuse. Mc Graw-Hill. Inc. Singapure; pp. 47-99.
27. Rigola, L. 1989. Tratamiento de agua industria, agua de proceso y residual. Marcombo S.A. Barcelona, España.
28. Rugby, V. 1990. Efluent treatment and waste disposal. Inst. of Chemical Engineers.U.S.A.
29. Sans F. 1989. Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos. Ed. Marcombo S. A. Barcelona, España; pp. 27-40
30. SARH, 1983. Manual del curso Estudio de Calidad del agua. Ed. Dirección General de uso del agua y prevención de la contaminación. Departamento de entrenamiento. México, D.F.

31. Secretaria de Fomento Turístico del Gobierno del Estado. 1995. Manual de Estadísticas Básicas del Estado de Guerrero. INEGI. México.
32. Snoeyink-Jenkins D. 1996. Química del agua. Ed. LIMUSA, S.A. de C.V. México, D.F; pp. 425-447.
33. Syed, R. 1994. Wastewater treatment plants planning, Design, and Operation. Technomic Publishing Company. Lancaster Pennsylvania, USA.
34. Tebbutt, T.H.Y, 1990. Fundamentos de control de la Calidad del Agua. Ed. LIMUSA. México, D.F.
35. Wheaton, F. 1993. Acuacultura. Diseño y construcción de sistema. Ed. México, D.F; pp 606-610.
36. Winkler, A. M.1986. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Ed. LIMUSA. México, D.F; pp. 15-33, 87-125.

ANEXOS.

Tabla 1. Composición típica del agua residual doméstica.

CONSTITUYENTES	CONCENTRACIÓN		
	ALTA	MEDIA	BAJA
Sólidos totales, mg/L	1,200	720	350
Sólidos suspendidos totales, mg/L	350	220	100
Sólidos sedimentables, mL/L	20	10	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno, mg/L	400	220	110
Demanda Química de Oxígeno, mg/L	1,000	500	250
Nitrógeno total (como N), mg/L	85	40	20
Nitrógeno Orgánico, mg/L	35	15	8
Amoníaco libre, mg/L	50	25	12
Nitritos, mg/L	0	0	0
Nitratos, mg/L	0	0	0
Fósforo total (como P), mg/L	15	8	4
Fósforo Orgánico, mg/L	5	3	1
Inorgánico, mg/L	10	5	3
Cloruros, mg/L	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃), mg/L	200	100	50
Grasa, mg/L	150	100	50

Metcalf y Eddy, 1991

Tabla 2. Operaciones, procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en el agua residual.

CONTAMINANTE	OPERACIÓN UNITARIA, PROCESO UNITARIO Y SISTEMA DE TRATAMIENTO.
Sólidos en suspensión	Sedimentación, desbaste y aireación, Variaciones de filtración, adición de polímero o reactivo químico, coagulación/sedimentación.
Materia Orgánica Biodegradable	Lodos activados, película fija: filtros percoladores, película fija: discos biológicos, filtración intermitente en arena, sistemas de tratamiento por evacuación al terreno.
Patógenos.	Cloración, hipocloración, ozonización
Nutrientes: Nitrógeno.	Variación de sistemas de cultivo-suspendido con nitrificación y desnitrificación, arrastre de amoníaco (stripping)
Fósforo	Sistema de tratamiento por evacuación al terreno, adición de sales metálicas, coagulación, sedimentación con cal, eliminación biológica y química del fósforo.
Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbón, ozonización terciaria, sistema de tratamiento por evacuación al terreno.
Metales pesados.	Precipitación química, intercambio de iones, sistema de tratamiento por evacuación al terreno.
Sólidos inorgánicos disueltos.	Intercambio de iones, Osmosis inversa, electrodiálisis.

SARH, 1983

Tabla 3. Características de operación de los procesos de lodos activados.

Modificación del proceso.	Modelo de flujo	Sistema de alimentación	Eficiencia eliminación DBO%	Aplicación
Convencional	En pistón	Aireadores mecánicos, difusores.	85-90	Aguas residuales domésticas débiles, susceptibles de carga súbitas.
Mezcla completa	Mezcla completa	Aireadores mecánicos, difusores	85-95	Aplicación general, resistentes a cargas súbitas, aireadores de superficie.
Aireación escalonada	En pistón	difusores	85-95	Aplicación general a gran variedad de residuos.
Aireación extendida	Mezcla completa	Aireadores mecánicos, difusores	75-95	Pequeñas comunidades, plantas compactas, flexible, aireadores de superficie.
Proceso de Kraus	En pistón	Difusores	85-95	Residuos muy resistentes de poco contenido en nitrógeno.
Aireación de alta carga	Mezcla completa	Aireadores mecánicos	75-90	Uso con aireadores de turbina para transferir oxígeno y controlar el tamaño del flóculo, aplicación general.
Sistema de oxígeno puro	Reactores en serie de mezcla completa	Aireadores mecánicos	85-95	Aplicación general; se emplea cuando se dispone de volumen limitado, utilización próxima a la fuente económica del oxígeno, turbina o aireadores superficiales.

Tabla 4. Norma Oficial Mexicana NOM-031-ECOL-1993. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustrial, de servicios y el tratamiento de agua residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano y municipal.

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTÁNEO
Temperatura, °C	-----	40 C (313 K)
pH	5 a 9	6 a 9
Sólidos sedimentables, mL/L	5	10
Grasas y aceites, mg/L	60	100
Conductividad Eléctrica mS/cm	5,000	8,000
Aluminio, mg/L	10	20
Arsénico, mg/L	0.5	1.0
Cadmio, mg/L	0.5	1.0
Cianuro, mg/L	1.0	2.0
Cobre, mg/L	5.0	10
Cromo hexavalente, mg/L	0.5	1.0
Cromo total, mg/L	2.5	5.0
Fluoruros, mg/L	3.0	6.0
Mercurio, mg/L	0.01	0.02
Níquel, mg/L	4.0	8.0
Plata, mg/L	1.0	2.0
Plomo, mg/L	1.0	2.0
Zinc, mg/L	6.0	12.0
Fenoles, mg/L	5.0	10.0
Sustancias activas al azul de metileno, mg/L.	30.0	60.0

Diario Oficial de la Federación, 1993.

Tabla 5. Norma Oficial Mexicana. NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																						
PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática ©		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano ©		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)			
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD
Temperatura C ⁽¹⁾	NA	NA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	NA	NA	40	40	
Grasas y aceites, mg/L ⁽²⁾	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia flotante ⁽³⁾	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	
Sólidos sedimentables, mL/l	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	NA	NA	1	2		
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	150	NA	NA	75	125		
Demanda Bioquímica de oxígeno 5, mg/L	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	NA	NA	75	150		
Nitrógeno total, mg/L	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	NA	NA	NA	NA	5	10	NA	NA	NA	NA		
Fósforo total, mg/L	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	NA	NA	NA	NA	5	10	NA	NA	NA	NA		

(1) Instantáneo

(2) Muestra simple Promedio Ponderado

(3) Ausencia según el método de prueba definido en la NMX-AA-006.

Tabla 5. Norma Oficial Mexicana. NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales.

(Continuación)

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																						
PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS COSTERAS				SUELO					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática ©		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)			
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD
Arsénico, mg/L	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cadmio, mg/L	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2
Cianuros mg/L	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0
Cobre, mg/L	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo, mg/L	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio, mg/L	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel, mg/L	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0
Plomo, mg/L	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1.0	0.2	0.4	5.0	10	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc, mg/L	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(1) Instantáneo.

(2) Muestra simple Promedio Ponderado.

P:D = Promedio Diario P.M= Promedio Mensual NA= No es aplicable.

(A), (B) y ©: Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Desechos.

Diario Oficial de la Federación, 1997

Tabla 6. Problemas de operación de una planta de tratamiento con aireación extendida.

OBSERVACIONES	CAUSA	REMEDIO
Excesiva turbulencia en el tanque de aireación.	Difusor tapado . Conducto fracturado. Excesiva aireación.	Remover y limpiar. Reemplazar si es requerido. Sofocar el soplador.
Abundante agitación formada en el tanque de aireación.	Insuficiencia de MLSS (Sólidos Suspendidos en el Licor Mezclado)	Evitar pérdida de lodos. Incrementar el retorno de lodos.
Abundante espuma oscura, casca espumosa en el tanque de aireación.	Elevados sólidos suspendidos en el licor mezclado	Pérdida de lodos. Disminuir retorno de lodos.
Abundante espuma parda/negra y líquido mixto en el tanque de aireación.	Condiciones anaerobias (falta de oxígeno).	Verificar sistema de aireación y Oxígeno Disuelto (OD) en el tanque.
Sobrelevada pérdida de lodos en el clarificador.	Hidráulica o sobrecarga de lodos.	Pérdida de lodos, o Verificar unidad de flujo.
Andar pendiente del crecimiento de lodos en el clarificador.	Desnitrificación.	Incrementar el retorno de lodos, la cantidad a decrecer tiempo de retorno de lodos.
Fina dispersión de floculos sobre prensa del efluente.	Condiciones sépticas en clarificador. Turbiedad en tanque de aireación. Lodos viejos.	Incrementar retorno de lodos. Reducir entrada de agua cruda. Pérdida de lodos.

Rugby, 1990

Tabla 7. Sugerencias para mantener adecuadamente una planta de tratamiento de aireación extendida.

EQUIPO	SUGERENCIA.
Tanque de aireación.	Verificar la formación de espuma y distribución del agua que esta no sea dispersa.
Sistema de aireación. Difusor del aire.	Verificar los filtros de aire, el nivel de aceite, la presión.
Mecánico.	Verificar vibraciones, sobrecalentamiento, nivel de aceite, sellos.
Clarificador.	Verificar la flotación de nata, la apariencia del efluente, limpiar prensa, retorno de lodos (la cantidad de flujo y ajuste el tiempo secuencial si se requiere, localice el lodo comprimido).
Trampa de basura.	Verificar acumulación de lodos y basura.
Controles.	Verificar funciones de todos los controles y alarmas, así como los controles de la caja de electricidad.
Perdida de lodos.	Bombear el agua de los sólidos como es requerida.
Analítica.	Medir en el tanque Oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, pH, temperatura, etc.

SARH, 1983



Figura A. Sedimentador de la planta de tratamiento Punta Ixtapa (arriba) y filtro prensa para secado de lodos (abajo).





Figura B. Reactor biológico (externo) y sedimentador (interno) del módulo 2 de la planta de tratamiento Punta Ixtapa.

