



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES TAIGUAIGUAY**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**Presentado a la Universidad de Carabobo como requisito  
para optar al título de Ingeniero Químico**

**AUTORES**

**Imre Alejandro Albertti García**

**Omar Maklad Abu Hadir**

**Valencia, Octubre 2008**

## AGRADECIMIENTO

A la **Universidad de Carabobo**, por el excelente nivel académico que existe, lo cual hace que los egresados de esta casa de estudios, sean prósperos en la vida.

Al Profesor **Tony Espinosa**, nuestro tutor académico, quien nos ha dado siempre su apoyo incondicional.

A nuestra tutora industrial, **Diosa Rivero**, quien estuvo pendiente de la consecución de este trabajo de grado.

A todo el **personal** que labora en la **Facultad de Ingeniería**, especialmente a **Trina**, por su colaboración con nosotros y con los demás estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química.

A nuestra Directora **Olga Martínez**, por su gran desempeño y colaboración para con la Escuela de Ingeniería Química.

A todo **el personal** que labora en **Taiguaiguay**, por brindarnos el apoyo necesario en cada visita a la planta.

A la Ingeniero y actual Ministro del Ambiente, **Yubirí Ortega**, por brindarnos apoyo y cobijarnos en su estancia como presidente de Hidrocentro.

A **Manuel Fernández**, actual presidente de Hidrocentro, por estar a nuestro lado en los momentos que lo necesitamos.

A todas aquellas personas que contribuyeron o aportaron un granito de arena, para que el sueño de ser Ingenieros Químicos, se hiciera realidad

Los autores

## DEDICATORIA

A **Dios**, ante todo, por haberme ayudado en los momentos más difíciles. “La Fé te lleva a donde quieres llegar”.

A mi Madre **Gloria del Socorro García Benavidez**, por saberme conducir a esta etapa de mi vida, y por tanta paciencia, durante el lapso de mi carrera.

A mi Padre, **Imre Fernando Alberti Márquez**, por su apoyo y ayuda incondicional, y por sus consejos que siempre fueron acertados.

A mi Abuela, **Florelia María Benavidez**, por ser otra madre y apoyo en momentos difíciles, que aunque somos como el agua y el aceite, tiene méritos en mi vida de estudiante.

A mi Tía **Dulce García Benavidez**, por cobijarme como su hijo. A ella le debo parte de mis alegrías personales.

A mis **Hermanos, Primos y Amigos**, por compartir parte de mis experiencias y apoyarme de manera incondicional.

A mi Novia Belkys Caracas, por haberme comprendido durante todo el lapso de mi carrera. T.Q.M.

A mi difunto Primo, **Robert José Elías Marcano García**, por haberme impulsado siempre al estudio, ayudándome a dejar a un lado la apatía.

Finalmente a mi difunto amigo **David Rivero**, que tengo la plena seguridad que está contento al igual que yo.

**Imre Alejandro Albertti García**

## DEDICATORIA

A mi **Dios**, el cual ha sido fuente de fortaleza, seguridad, fé y esperanza para todos y darme la oportunidad de crecer día a día para lograr las metas que nos hemos propuesto.

A mi Padre **Salim Maklad**, por confiar en mi y darme seguridad motivo de impulso para salir adelante, agradecimientos a Mai Maklad, Diana Maklad , Liliana Maklad y Firas Maklad.

A Eliel Adolfo por la Operación Fé y Alegría , a Julio Sosa por su hermandad, Hugo Anchieta, Julmer Baute, Erica Laborem, Pedro Contreras, Richard García, Luis Pinto, Kaky, profesora Gladys del Pino, profesora Adriana, Doctor Baricelli, profesora Olga Martínez, a la familia Albertti y a todas aquellas personas que de una u otra forma fueron inspiración y el soporte para la culminación de mi carrera. A todos ellos mi agradecimiento.

A nuestra ilustre Casa de Estudio Universidad de Carabobo, por brindarme la oportunidad de culminar esta meta.

Al Personal directivo, docente administrativo, por la receptividad y colaboración prestada, por facilitar información y motivar la realización de dicho estudio y a la vez contribuir a enriquecer mis conocimientos.

A Carlitos Maklad, que con su luz sigue iluminando mi camino hacia el éxito.

Omar Maklad

## RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo desarrollar una propuesta de mejoramiento del proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales Taiguaiguay, ubicada en la ribera norte del embalse de Taiguaiguay del municipio Lamas y Sucre del estado Aragua. Partiendo de un diagnóstico de las variables de entrada y salida del sistema, se caracterizaron los afluentes y efluentes, para verificar si los parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, según las normas para la clasificación y control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia” (Decreto 3219, Gaceta Oficial 5305).

El estudio reviste interés dado que la planta de tratamiento dentro del plan de saneamiento de la cuenca del lago de Valencia, representando una alternativa para el manejo de las aguas domésticas e industriales en la zona del estado Aragua. Esta planta inicia su actividad en 1988, siendo construida y manejada por el ministerio del ambiente, y en mayo del 2005 es transferida a hidrocentro, aún cuando el proceso de rehabilitación sigue bajo la responsabilidad del ministerio del poder popular para el ambiente.

Las observaciones señalan que el funcionamiento de la planta a nivel del sistema de reactores biológicos presenta deficiencia, mientras que a nivel de la laguna facultativa la actividad bacteriana es intensa, mostrando mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica. Desde el punto de vista técnico, la planta es un sistema que puede alcanzar máximos de eficiencia de remoción, siempre y cuando las áreas estén operativas y los equipos tengan el mantenimiento definido. La propuesta se apoya en tres aspectos: plan de mantenimiento efectivo, cumplimiento de los procedimientos de operación y la preparación del personal, que debe ejecutarse bajo un plan de control debidamente sistematizado.

Palabras clave: tratamiento de aguas residuales, afluentes y efluentes, eficiencia de remoción.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
INDICE GENERAL	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1 Descripción general del problema	3
1.2. Formulación del problema	6
1.2.1 Situación actual	7
1.2.2. Situación deseada	7
1.3. Objetivos	8
1.3.1. Objetivo general	8
1.3. Objetivos específicos	8
1.4. Justificación	9
1.5. Limitaciones	10
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes	11
2.2. Bases Teóricas	16
2.2.1. Aguas residuales	16
2.2.2. Características de aguas residuales domésticas	18
2.2.3. Constituyentes de las aguas residuales domésticas	19
2.2.4. Tratamiento de aguas residuales domésticas	27
2.2.5. Tipos de tratamiento de aguas residuales domésticas	28
2.2.6. Sistema de tratamiento de carga orgánica usando reactores secuenciales	36
2.2.7. Microbiología del lodo	42
2.2.8. Ventajas y desventajas del sistema SBR	44

2.2.9. Análisis del agua para riego	46
2.2.10. Consideraciones a tomar en cuenta en la utilización de las aguas residuales para riego	48
<b>CAPÍTULO III: MARCO DESCRIPTIVO</b>	
3.1. Descripción general de la planta de tratamiento	50
3.2. Áreas operativas de la planta de tratamiento	51
3.3. Proceso que comprende la PTAR-Taiguaiguay	53
3.4. Procesos llevados a cabo por la PTAR-Taiguaiguay	57
<b>CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO</b>	
4.1. Nivel de investigación	61
4.2. Diseño de la investigación	62
4.3. Unidades de estudio	62
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	63
4.5. Técnicas de análisis de los datos	64
4.6. Procedimiento de investigación	66
4.7. Desarrollo sistemático de la investigación	67
<b>CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	
5.1. Diagnóstico del proceso de PTAR- Taiguaiguay	72
5.2. Caracterización de los afluentes y efluentes para verificación de parámetros	75
5.3. Definición de las unidades de tratamiento para el acondicionamiento de las aguas residuales.	81
5.4. Reingeniería de los equipos y mejoramiento de la planta	87
5.5. Propuesta	93
5.6. Plan de control para monitorear el proceso de la planta	96
5.7. Beneficios de la propuesta	98
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	101



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA No.</b>	<b>Página</b>
1: Diagrama de la PTAR-Taiguaiguay	5
2: Proceso de biodegradación de la materia orgánica	20
3: Estación elevadora cagua	54
4: Desarenador	55
5: Cámara de rejas	56
6. Cuchara de almeja	58
7: Esquema general de la PTAR-Taiguaiguay	60
8: Comparación DBO-eficiencia remoción reactor-salida planta	86
9: Comparación DQO-eficiencia remoción reactor-salida planta	86
10: Diagrama de pareto	92
11: Esquema general de la propuesta de mejoramiento de PTAR-Taiguaiguay	95

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA No.</b>	<b>Página</b>
1: Composición media de ARU bruta/decantada	19
2: Coeficiente de remoción de DBO	23
3: Parámetros considerados para el análisis	65
4: Mediciones de los caudales de entrada a la planta	73
5. Caudales promedio y de retorno PTAR-Taiguaiguay	74
6: Valores de los parámetros a la entrada de la planta	76
7: Valores de los parámetros en el reactor anaerobio	77
8: Valores de los parámetros a la salida de la planta	78
9: Comparación de valores con los máximos permitidos para cuerpos de agua	79
10: Comportamiento DBO en el reactor	82
11: Comportamiento DQO en el reactor	83
12: Comportamiento DBO a la salida de la planta	84
13: Comportamiento DQO a la salida de la planta	85
14: Plan de control para la PTAR-Taiguaiguay	103

## INTRODUCCIÓN

El hombre utiliza el agua para una diversidad de tareas principalmente para la agricultura, la industria y el consumo doméstico. En términos globales el 63% del agua se utiliza para riego, el 23% para generación de energía eléctrica y usos industriales, un 7 % en usos domésticos y municipales y el resto en otros usos diarios.

Según se reseña desde 1950 la extracción mundial de agua ha aumentado tres veces y media y el uso per capita se ha triplicado como respuesta al rápido crecimiento de la población, de la cultura y de la industrialización. Se estima que la extracción de agua per capita en los países subdesarrollados esta en el orden de 1 a 2 con respecto a países desarrollados, lo cual evidencia que la utilización de este recurso, depende sensiblemente de la población y del grado de industrialización. Por esta dinámica, muchos países presentan alteraciones en el equilibrio hídrico, referido éste a la relación entre la demanda de agua por parte de la población y al suministro por la empresa responsable.

Como parte de la iniciativa del estado venezolano y dentro del programa de saneamiento ambiental de la cuenca del lago de Valencia, se construyó la planta de tratamiento de Taiguaiguay, como alternativa para la búsqueda de solución al problema deficitario de agua para uso agrícola así como la grave contaminación del lago y de sus afluentes y el rápido aumento del nivel del lago de Valencia en los últimos años.

En función de lo anterior, se planteó el trabajo de investigación que se presenta y cuyo objetivo está orientado a desarrollar una propuesta de mejoramiento para la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales de Taiguaiguay (PTAR-Taiguaiguay), con la finalidad de proporcionar a la empresa hidrológica una alternativa para operar la planta adecuadamente. Partiendo de un diagnóstico del proceso, la caracterización de los afluentes y efluentes, la revisión de las unidades de tratamiento y un enfoque de reingeniería, se estableció la propuesta que busca la optimización de este importante sistema.

El estudio se estructuró en cinco capítulos. En el primero se presenta el problema con su descripción, formulación, objetivos, justificación y limitaciones. En el segundo capítulo se presenta el marco teórico que alcanza los antecedentes y las bases teóricas. El tercer capítulo comprende el marco descriptivo, conformado por la descripción general de la planta de tratamiento, áreas de la planta y las etapas del proceso que se cumple en la planta de tratamiento. El cuarto capítulo describe el marco metodológico y el capítulo cinco, esboza los resultados y su discusión con el correspondiente cuerpo de conclusiones y recomendaciones.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción general del problema**

En Venezuela, la alta demanda de agua potable, ha llevado a los organismos responsables de su suministro, a buscar fuentes alternas para tratar de cumplir con las exigencias del recurso para el consumo humano y para suplir las necesidades agrícolas.

Dentro de éstas últimas; es decir, la actividad agrícola, es importante la cantidad de agua así como su calidad. Anteriormente, se dió poca importancia dado que en Venezuela existían diversas fuentes de agua que se aprovechaban de manera fácil. Sin embargo, el crecimiento poblacional, y la demanda de alimentos, obligó a la expansión agrícola, y la diversidad de actividad industrial, ha limitado el recurso, por lo cual se ha suplido la deficiencia a través de la construcción de embalses como es el caso de Taiguaiguay. Este embalse representa una de las fuentes más antiguas y cuya eficiencia máxima se tiene en el período de noviembre hasta abril-mayo, dependiendo de la disponibilidad de agua, dado que coincide con el período de sequía más acentuada.

En la zona central, la compañía hidrológica del centro (hidrocentro), empresa del estado filial de hidroven, se encarga de abastecer el agua potable en los estados Aragua, Cojedes y Carabobo, así como de tratar las aguas residuales generadas por su uso; para luego ser re-utilizadas en diversas actividades, entre las cuales se tienen los sistemas de riegos de

producción agrícola, dentro de cuya operatividad mantiene la **PTAR-Taiguaiguay** ubicada en el estado Aragua que tiene bajo su acción, el tratamiento de las aguas provenientes de efluentes domésticos e industriales de zonas urbanas de los municipios Girardot, Mariño y Sucre, para posteriormente disponerlas en el embalse de Taiguaiguay.

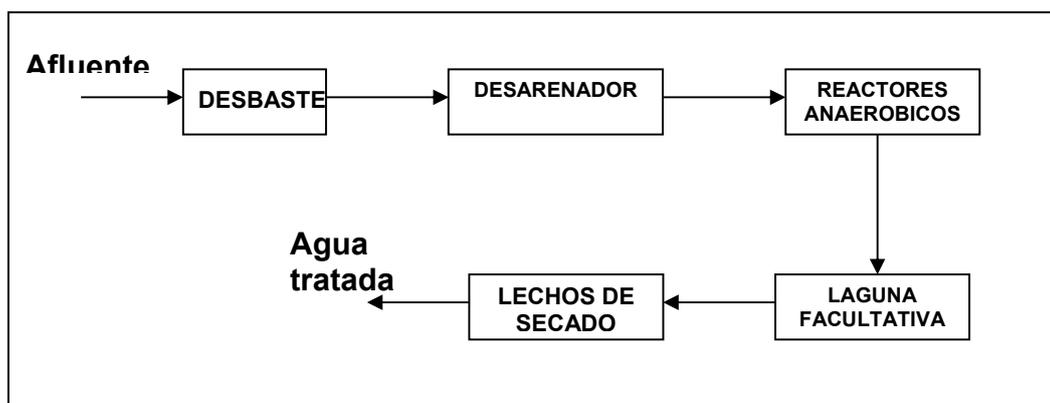
Las aguas extraídas de este embalse, riegan una superficie estimada de 6500 hectáreas en los sectores comprendidos entre tocorón y las flores en el estado Aragua, correspondiendo a cultivos de 55% de caña de azúcar, 17% de pasto y en menor proporción cultivos de cambur, maíz y ciertas hortalizas.

La utilización de las aguas residuales en la agricultura, es una herramienta fundamental ya que permite controlar varios aspectos. Por un lado, se interfiere en la contaminación ambiental y se potencia la producción agrícola, siendo fundamental que éstas aguas cumplan con los parámetros mínimos requeridos para su utilización en el riego, ya que si no cumplen lo establecido en las normativas ambientales, se hace necesario el tratamiento de las mismas, a fin de evitar los efectos adversos sobre el rendimiento de los cultivos, así como los posibles efectos sobre el personal que labora en las actividades propias del agro, el entorno inmediato a los cultivos y sobre los productos extraídos.

El caudal diario de aguas residuales que recibe Taiguaiguay, es aproximadamente de 1032 L/s, las cuales provienen de las diferentes poblaciones e industrias aledañas a la planta, y que se captan a través del colector Cagua, el canal de derivación del río Turmero y Aragua, la estructura de derivación en el canal derivador del Río Turmero y la tubería de impulsión Maracay.

Después del tratamiento, los efluentes se incorporan continuamente al embalse para su disposición y aumento de sus niveles. Durante el tratamiento se realizan cambios físicos, químicos y biológicos, necesarios para eliminar materia orgánica, organismos patógenos y contaminantes químicos, acondicionando de esta manera el agua para descargarla al embalse de Taiguaiguay cumpliendo con las normas establecidas referidas a la preservación de estas aguas, así como también para poder emplear los efluentes en actividades de riego.

La PTAR-Taiguaiguay, consta de una zona de desbaste, cuatro reactores anaeróbicos y una laguna facultativa y los lechos de secado, tal como se muestra en la figura 1:



**Figura 1: Diagrama de PTAR-Taiguaiguay**

Esta planta funciona como lo indica la figura 1, de manera que el efluente de la planta es pretratado por medio de la unidad de desbaste, constituida por rejas cuya finalidad fundamental es la eliminación de sólidos gruesos flotantes que pueden provocar obstrucciones en las siguientes etapas de tratamiento. Seguidamente el agua es enviada y subdividida a 4

reactores anaeróbicos instalados en paralelo, donde la carga orgánica del efluente es reducida a través de la degradación de las macromoléculas orgánicas presentes y su consecuente desprendimiento de gases como metano, dióxido de carbono, nitrógeno, entre otros. Posteriormente, el tratamiento continúa en la laguna facultativa, reduciendo la cantidad de materia orgánica biodegradable, los nutrientes y la eliminación de agentes patógenos.

Las consideraciones anteriores, permiten reafirmar la importancia que tiene para la empresa hidrocentro, analizar las opciones para el mejoramiento de las condiciones operativas de la planta, las cuales deben ser factibles y que permitan llevar a cabo un tratamiento eficiente del agua residual conducida a través de los colectores.

Sin embargo, según se desprende de los resultados experimentales, el efluente de la PTAR-Taiguaiguay, en ocasiones se encuentra fuera de la norma.

## **1.2. Formulación del Problema**

Las actividades PTAR-Taiguaiguay involucran aspectos relacionados con el funcionamiento óptimo de los equipos y unidades que conforman este sistema. Por tanto, se formula una propuesta eficiente en cuanto a la evaluación y control del efluente de la planta, de manera que se ajuste a las especificaciones requeridas por el ministerio del poder popular para el ambiente, plasmadas en el decreto 3219, de manera que permita que estas aguas puedan emplearse en actividades de riego y para la descarga de los efluentes a los ríos adyacentes de acuerdo a las normativas ambientales establecidas.

Es importante acotar que, el proceso de la PTAR-Taiguaiguay, es de tipo fisicoquímico y biológico, y consta de varias etapas tales como: unidad de desbaste, desarenador, reactores anaeróbicos y una laguna facultativa.

### **1.2.1 Situación actual**

En la PTAR-Taiguaiguay, se procesan aguas residuales cuyas descarga en el embalse del mismo nombre, deben estar acordes con las especificaciones establecidas por el ministerio del poder popular para el ambiente, según decreto 3219. Actualmente operan tres (3) de los cuatro (4) reactores anaeróbicos, ya que el No. 1, se encuentra en rehabilitación, razón por la cual se requiere mejorar la eficiencia de la planta, para obtener parámetros de salida que cumplan con la normativa establecida, de lo contrario, se afectaría la calidad del agua y el tratamiento sería inadecuado, y por tanto, no estaría cumpliendo con las normas previstas por el ministerio del poder popular para el ambiente.

### **1.2.2. Situación deseada**

Se requiere plantear una alternativa para el mejoramiento de la PTAR-Taiguaiguay que permita a la compañía hidrológica del centro, operar la planta, aplicando un correcto tratamiento de las aguas residuales, de manera que el efluente cumpla con las especificaciones ambientales pretendidas. Adicionalmente, se desea presentar un plan de control efectivo para que los operadores puedan aplicarlo periódicamente para evitar paradas futuras de la planta.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Desarrollar una propuesta de mejoramiento del proceso en la PTAR-Taiguaiguay con la finalidad de proporcionar a la empresa hidrológica una alternativa para operar la planta adecuadamente.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Realizar un diagnóstico del proceso para definir, variables de entrada y salida en los puntos críticos del mismo, con la finalidad de conocer el estado de la planta de tratamiento.

2. Caracterizar afluentes y efluentes presentes para verificar los parámetros establecidos por el ministerio del poder popular para el ambiente, con la finalidad de verificarlos y establecer criterios.

3. Definir las unidades de tratamiento adecuadas para el acondicionamiento de las aguas residuales, con la finalidad de que el proceso tenga una elevada eficiencia.

4. Realizar la reingeniería conceptual y básica de los equipos seleccionados para generar alternativas de mejoramiento del tratamiento de aguas residuales.

5. Seleccionar técnicamente la alternativa más favorable al tratamiento, con la finalidad de mejorar parámetros de salida del agua tratada.

6. Proponer un plan de control para ser utilizado por los operarios de la planta de tratamiento, que cumple con la propuesta seleccionada, con la finalidad de monitorear el proceso y verificar que el mismo sea efectivo.

7. Realizar un estudio de costo beneficio con la finalidad de evaluar la implementación de la alternativa seleccionada utilizando los equipos existentes.

#### **1.4 Justificación**

La investigación realizada representa una importante alternativa para hidrocentro, debido a que ofrece una vía de solución para garantizar la operatividad de la planta de tratamiento antes de drenar las aguas tratadas al embalse Taiguaiguay. Adicionalmente, permitirá a la empresa cumplir con las normativas legales que exige el cuidado del ambiente, contribuyendo con la preservación del mismo y disminuyendo el impacto que se origina por la contaminación de sus aguas.

El estudio fortalece la relación universidad–empresa favoreciendo la retroalimentación entre los estudiantes y profesionales, lo que conlleva a una combinación de experiencias y nuevas ideas para ambos organismos, aportando además soluciones a los problemas relacionados con la planta, dejando una base de investigación e información a la comunidad estudiantil.

Desde el punto de vista personal, representa una oportunidad que permitió llevar a la práctica los conocimientos y capacidades desarrolladas durante el proceso de formación profesional como ingenieros químicos,

constituyendo una valiosa oportunidad de explorar, adquirir y afianzar conocimientos como futuros profesionales del área.

Desde el punto de vista práctico, el desarrollo de la investigación permitió compilar y sistematizar información necesaria, que puede servir de base para la ejecución de otras investigaciones, sobre todo aquellas relacionadas con la disponibilidad de agua potable o para riego dentro de la cuenca del lago de Valencia, de la cual forma parte importante el embalse de Taiguaguay.

### **1.5 Limitaciones**

La principal limitación es la falta de un laboratorio perteneciente a la planta, en el que puedan realizarse ensayos y análisis a las muestras del efluente para caracterizarlo directamente, debido a se requiere financiamiento para la adquisición de equipos de laboratorio que permitan llevar a cabo los análisis experimentales pertinentes a la investigación y posteriormente pueda servir de soporte para la operatividad de la planta de tratamiento.

Otra limitante es el tiempo de ejecución de las pruebas, puesto que solo se tomaron en un período del año, lo que trae como consecuencia que los resultados obtenidos estén sujetos sólo a está época pues las condiciones del agua varían según la estación del año, debido a los períodos de sequía o lluviosidad propios del país y de la zona en estudio.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En esta sección se presenta cada uno de los basamentos teóricos, los cuales sirvieron de apoyo para la justificación y análisis de los resultados así como para la presentación de las alternativas de mejora al sistema.

#### 2.1 Antecedentes

1. Blanco, Henry (2007), ha llevado a cabo varias investigaciones entre las cuales se encuentra: **Determinación de parámetros de diseño y operación de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente**- Este fue a escala piloto, para el tratamiento de aguas residuales municipales, realizadas en la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Se operaron reactores UASB cilíndricos con capacidades de 34, 84 y 126 L, con distintas relaciones altura-diámetro, alimentados con agua residual municipal proveniente del Colector Marginal Izquierdo Río Valle, utilizando como inóculos Lodo Granular Cervecerero y Lodo Primario Municipal llevado a condiciones anaerobias. Se evaluaron tiempos de retención hidráulicos entre 24 y 4 horas, con velocidades de ascenso entre 0,07 y 0,43 m/h, con cargas orgánicas asociadas entre 0,10 y 3,63 kg DQO/ m<sup>3</sup>\*día. Se alcanzaron remociones de materia orgánica hasta 76% en términos de DQO y DBO<sub>5,20</sub>, incrementándose generalmente a medida que lo hacía la velocidad de ascenso. Se concluye que para el tratamiento de aguas residuales diluidas se puede operar con tiempos de retención tan bajos como 4 h, pero su diseño debe contemplar menores relaciones alto/ancho, de forma que las velocidades no superen los 0,30 m/h, por la posibilidad de arrastre de lodo.

2. Hernández, Juan C. (1996), realizó una investigación, denominada: **Evaluación de funcionamiento de la planta de tratamiento anaeróbica y aeróbica respecto a los niveles de nitrógeno y fósforo.** El mismo fue realizado en la Cervecería Polar del Centro C.A. Su objetivo se centró en analizar y estudiar el comportamiento de los niveles de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento aeróbico una vez puesto en marcha en su totalidad el pretratamiento anaeróbico. Este autor concluye que la planta de tratamiento aeróbica mostró más eficiencia en la eliminación de materia orgánica, alcanzando para el nitrógeno y el fósforo su mayor eficiencia con 90,45% y 96,46% respectivamente.

3. Reynolds, Kelly A. (2007), investigadora de la Universidad de Arizona, ejecutó una investigación denominada: **Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica.** Según reseña la autora, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225.000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas residuales son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales. En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales, produciendo contaminación del suelo tanto en áreas urbanas como rurales. Destaca además, que esta zona, en la cual se concentra 40% de las especies tropicales de plantas y animales del mundo, y 36% de las especies cultivadas de alimentos y productos industriales, presenta intenso interés en la preservación y protección del medio ambiente, sin mencionar una preocupación por la salud humana, considerando el incremento poblacional de 179 millones a 481 millones de habitantes, en el período de 1950 a 1995, lo que produjo una carga mayor sobre la infraestructura existente y un aumento en la producción

de residuos domésticos, tendencia que probablemente se mantendrá, según los especialistas. Este incremento genera expectativas, por cuanto para 1995, se estimó que el porcentaje de latinoamericanos que contaban con instalaciones para el desecho de aguas residuales incluía 69% de la población total (80% urbana; 40% rural).

4. Álvarez, D., Contreras, S., y Poggi, H., del Departamento de Biotecnología Bioingeniería del Cinvestav en México. **Análisis de la utilización de agua residual en cultivos.** (2006). La aplicación de agua residual al suelo implica el uso de las plantas, de la superficie y de la matriz del suelo para su tratamiento. El reuso de efluentes tratados se ha incrementado en la agricultura ya que tiene como metas promover la agricultura sostenible, preservar la escasez fuentes de agua y mantener la calidad ambiental<sup>1</sup>. Para el caso de México, este tipo de alternativa parece ser atractiva debido a la unión de dos factores: las regiones áridas donde la producción agrícola depende del riego y el bajo costo asociado al tratamiento de aguas residuales.

5. Chilton, P., Morris, B. y Foster, S.(1997), desarrollaron un estudio acerca del **Impacto del rehúso de las aguas residuales sobre el agua subterránea en el valle del Mezquital, Estado de Hidalgo, México.** México es uno de los países con mayor experiencia en la irrigación con aguas residuales y existen ciudades en muchos estados que poseen sistemas operativos. El Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo comprende el mayor y, probablemente, uno de los más antiguos esquemas del mundo para irrigación agrícola usando aguas residuales urbanas. El efluente proviene de la ciudad de México y esto constituye la principal fuente de agua que sustenta todo el desarrollo en el Valle del Mezquital, el cual tiene una disponibilidad natural de agua muy limitada. Actualmente, se utilizan casi 40

m<sup>3</sup>/s de agua residual para el cultivo de alrededor de 45,000 ha en este valle, que antes era semiárido. El incremento gradual del volumen de agua residual conforme crece la ciudad de México, permite que se extienda el área bajo riego. Se está llevando a cabo un proyecto por el Grupo Hidrogeológico del British Geological Survey (BGS), la Gerencia de Aguas Subterráneas y las oficinas estatales de la Comisión Nacional del Agua (CNA) de México. El proyecto está financiado conjuntamente por la Administración para el Desarrollo en Ultramar de la Gran Bretaña (ODA) y la Comisión Nacional del Agua. El proyecto tuvo una duración de tres años, de enero de 1994 a diciembre de 1996. Este breve resumen proporciona una indicación de los hallazgos del proyecto hasta la fecha, describe las actividades a realizarse durante el resto del proyecto y por último suministra una descripción de los aspectos más importantes sobre el manejo del agua residual en el valle.

6. Ortiz, M., Gutiérrez, M., Sánchez, E. (2007), desarrollaron una **Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México**. Las aguas industriales y domésticas de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca, Morelos, México son tratadas en una planta de lodos activados y una vez depuradas, se utilizan para el riego agrícola. Los lodos producidos diariamente, que se calculan en aproximadamente 20 toneladas, durante 15 años se dispusieron en los alrededores de la planta y actualmente se envían a un relleno sanitario ubicado en el occidente del estado de Morelos, que no cumple con los requisitos de la legislación mexicana. Este estudio se realizó para caracterizar los lodos y proponer su uso como mejorador de suelos, utilizando las siguientes técnicas de análisis: fluorescencia de rayos X, microscopía electrónica y espectroscopía de emisión, absorción atómica y UV visible. También se llevaron a cabo análisis microbiológicos. Los lodos son ricos en materia orgánica (MO), macro y

micro nutrientes y únicamente del 1 al 10% de la concentración total de elementos tóxicos se encuentran en formas solubles. Los resultados microbiológicos muestran la presencia de **Salmonella sp** y coliformes totales. Por su composición, los lodos se consideran adecuados para mejorar la calidad de los suelos y se plantea una ecuación para calcular las dosis de aplicación máximas y evitar la acumulación de metales potencialmente tóxicos.

7. Por su parte Alvarado, E. (2007), desarrolló un estudio denominado **evaluación de la calidad del agua tratada en la planta de Taiguaguay con fines agrícolas**. El mismo parte de considerar que las aguas residuales, son una fuente importante de nutrientes para el suelo y por consiguiente de los cultivos. La evaluación determinó que el tratamiento primario constituido por los reactores anaeróbicos no presenta niveles de remoción aceptables, obteniéndose un 37% en remoción de la DBO y un 55% en la DQO, siendo estos los mayores valores reportados en este tratamiento., indicando que el sistema se encuentra operando en condiciones inestables. En relación con el tratamiento secundario, el porcentaje de remoción se ubicó alrededor de 87% en cuanto a la materia orgánica se refiere.

Los estudios anteriores reflejan la importancia de la reutilización de las aguas residuales, particularmente en la agricultura, lo cual contribuye no sólo con el saneamiento ambiental sino que se convierte en un factor determinante para la preservación de este recurso, que cada vez más se ve afectado por la actividad antrópica.

## **2.2. BASES TEORICAS**

### **2.2.1 Aguas residuales.**

Las aguas residuales son aquellas que han sido utilizadas con un fin consuntivo, incorporando a ellas sustancias que deterioran su calidad original (contaminación) y disminuyendo su potencial de uso. La contaminación del agua es un término que está relacionado con el uso específico del agua y su origen puede ser desde totalmente natural o producto de descarga de sistemas de alcantarillado doméstico o industrial. Hay muchas otras fuentes de contaminación de aguas, tales como la contaminación del aire (lluvia ácida), determinadas prácticas agrícolas, aguas de lluvia urbana, percolación de agua desde depósitos de residuos sólidos domésticos, industriales o mineros, entre otros.

El origen de las aguas residuales determina la composición y concentración de las sustancias presentes en ella. A continuación se detallan algunos aspectos generales del origen de las aguas más comunes y los indicadores principales que caracterizan su composición. (Basarán, 2001). Las aguas residuales más comunes corresponden a: aguas residuales domésticas (aguas servidas) y aguas residuales industriales (residuos industriales líquidos) y aguas lluvias urbanas.

**Las aguas residuales domésticas** o aguas servidas. Son aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina) y otros usos similares que en general son recolectadas por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comercial, servicios, industrias). Esta agua tiene un contenido de sólidos inferior al 1%. Si bien su

caudal y composición es variable pueden tipificarse ciertos rangos para sus parámetros más característicos. (Gerard, 2000)

**Las aguas residuales industriales** o residuos industriales líquidos, son aquellas provenientes de los procesos industriales y la cantidad y composición de ella es bastante variable, dependiente de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc.). Así estas aguas pueden variar desde aquellos con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (curtiembre, industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, minería). Cuando las aguas industriales tienen alto contenido de materia orgánica se utiliza el concepto de población equivalente que compara el parámetro DBO ejercicio por el residuo industrial con el valor del agua residual doméstico. No es posible enumerar los tipos de residuos procedentes de todas las industrias por igual, debido a que muchos residuos son específicos y particulares de cada industria. La determinación de los caudales, a tratar, no es tarea sencilla a la hora de calcularlos para procesos discontinuos o por lotes. Cada industria es un caso particular por lo cual es necesario realizar una encuesta o muestreo de los residuos posibles a los efectos de la determinación de los caudales y la carga de contaminantes. Para el caso particular de la industria química o farmacéutica el intervalo del  $DBO_5$  suele ser de 250–1500 mg/L. Con descargas extremadamente ácidas o alcalinas. (Gerard, 2000)

**Las aguas lluvias urbanas.** La escorrentía generada por aguas lluvias es menos contaminada que las aguas residuales domésticas e

industriales y su caudal mayor. La contaminación mayor se produce en las primeras aguas que lavan las áreas por donde escurre. (Gerard, 2000)

### **2.2.2. Características del agua residual doméstica.**

Existe un ciclo biológico del agua durante el cual sufre una serie de cambios. El agua, en efecto, es un vehículo que no se presenta en estado puro, sino cargado de sustancias minerales y orgánicas, a veces útiles y nutritivas y con frecuencia perjudiciales, cuando este vehículo recibe residuos procedentes de las actividades humanas. Desde el punto de vista de generación, se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse eventualmente aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf y Eddy, 1995).

La cantidad de agua descargada a lo largo del día depende del tamaño de la población, de su estilo de vida y nivel de desarrollo. Este consumo puede variar desde 150 L/hb/día en zonas rurales hasta 400 L/hb/día en grandes capitales. La cantidad de agua residual en los colectores de la ciudad también varía a lo largo del día, en menor proporción en zonas de alta densidad de población. En las zonas de baja densidad se pueden diferenciar dos picos de caudal, mientras que en las zonas de alta densidad se diferencia sólo uno. De igual forma hay variabilidad horaria en las cargas contaminantes

Urcola (1998), señala que La composición de un agua residual urbana (ARU) tiene gran variabilidad dependiendo de los hábitos de las poblaciones de quien proceden, por lo tanto no es un parámetro estándar. De cualquier forma como datos generales se pueden aceptar los siguientes, distinguiendo

entre aguas cargadas fuerte, media y débilmente, tal como se muestra en tabla 1, a continuación.

**Tabla 1: Composición media de ARU bruta / decantada. Los valores de la izquierda corresponden a agua bruta y los de la derecha agua decantada suponiendo rendimientos típicos de la eliminación en la decantación.**

	Fuerte	Media	Débil
S.S. totales(mg/L)	400/150	250/100	150/70
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	300/210	225/160	135/95
DQO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	700/500	500/350	300/200
N total(mg N/L)	60/55	42/39	25/23
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N/L)	0	0	0
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N/L)	45	30	15
N orgánico (mg N/L)	15/10	12/9	10/8
P total(mg P/L)	13/11	8/7	4/4
Alcalinidad(mg CO <sub>3</sub> Ca/L)	300	250	200

Fuente: Urcola (1998).

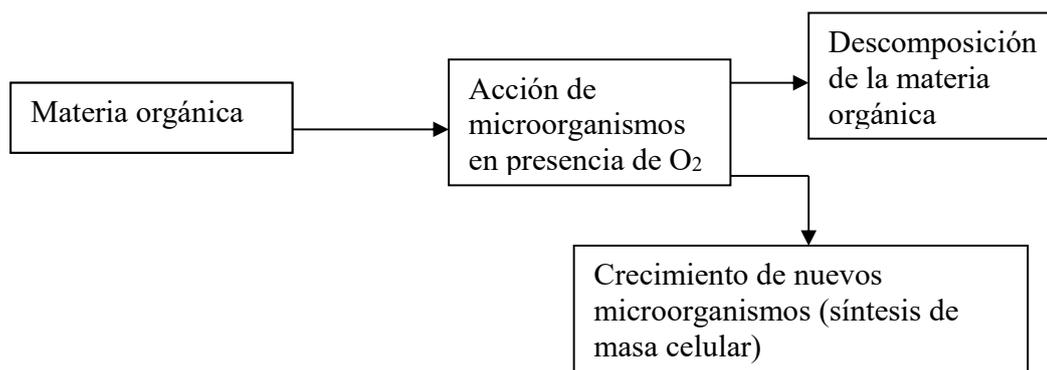
### **2.2.3. Constituyentes de las aguas residuales domésticas.**

El agua residual puede caracterizarse por medio de sus constituyentes más comunes, los que dependerán del origen de esas aguas. En general, el tipo de sólidos presentes en las aguas residuales es diferente del observado en aguas naturales. En los casos en que la composición de los sólidos es similar, la concentración es bastante superior en las aguas residuales que en aquellas de sistemas naturales.

A continuación se incluye algunos de los constituyentes más comunes de las aguas residuales domésticas expresados en la forma que se determinan por medio de ensayos de laboratorio estandarizados. (Gerard, 2000)

### -Materia orgánica.

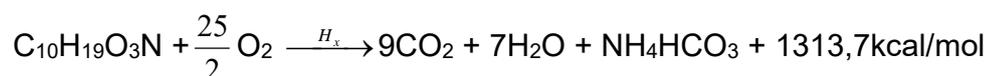
El constituyente más importante de las aguas residuales domésticas es la materia orgánica, que está compuesta en un 90% por carbohidratos, proteínas y lípidos provenientes de excrementos y orina de seres humanos, restos de alimentos y detergentes. Estos contaminantes son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas. En la Figura 2, se muestra un esquema del proceso de biodegradación de la materia orgánica en presencia de oxígeno disuelto en las aguas (proceso aeróbico).



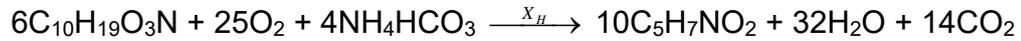
**Figura 2. Proceso de biodegradación de la materia orgánica.**

A continuación, se presentan las ecuaciones básicas del proceso de descomposición aeróbica (oxidación biológica) de la materia orgánica. Cabe destacar que sólo se pretende mostrar esquemáticamente los procesos, por lo que las ecuaciones podrían no estar equilibradas estequiométricamente.

a) Oxidación de la materia orgánica carbonácea.



b) Síntesis de la materia celular



c) Oxidación de la materia celular



donde  $C_5H_7NO_2$  es una expresión empírica que representa un promedio estadístico de la proporción de los elementos constituyentes de la materia celular.

### **-Demanda química de oxígeno (DQO)**

Concentración másica de oxígeno equivalente a la cantidad de un oxidante específico consumido por materias en disolución o en suspensión cuando se trata una muestra de agua con ese oxidante bajo condiciones definidas, es decir, es una medida compleja de la contaminación química del agua, basada en la determinación de los miligramos de oxígeno consumidos por litro de muestra que se somete a un proceso de "digestión", es decir, que se calienta a 150° C durante dos horas en presencia de un agente oxidante fuerte (como el dicromato de potasio). Esto hace que los compuestos orgánicos oxidables reaccionen reduciendo el ión dicromato en un ión crómico, del cual se determina la cantidad remanente, mediante un espectrofotómetro.

El reactivo también debe contener iones de plata que sirven como catalizadores, e iones de mercurio para evitar las interferencias que puede producir en la prueba la potencial presencia de cloro en la muestra. Esta prueba permite medir la capacidad de consumo de oxígeno por los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en el agua o en un agua

residual. Se expresa como la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación química, en una prueba específica. (Metcalf y Eddy,1985)

### **-Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La DBO, mide la cantidad de oxígeno requerida por microorganismos aclimatados para degradar la materia orgánica en forma biológica. Es un proceso que indica si la materia es biodegradable. El proceso de biodegradación ocurre en forma espontánea en la naturaleza lo que reviste gran importancia en estudios de calidad de aguas, ya que involucra la degradación natural de la materia orgánica y, a la vez, el consumo del oxígeno presente en los cauces. Para medir la DBO se utiliza una prueba de laboratorio estandarizado que se realiza a 20°C y con un período de 5 días, obteniendo la denominada DBO<sub>5</sub>. Debido a que la oxidación de la materia orgánica continúa en forma indefinida, el ensayo para determinar la DBO última ha sido limitado en forma arbitraria a 20 días, donde se supone que aproximadamente el 95% del oxígeno necesario ha sido utilizado. No obstante, debido a lo extenso de éste período, generalmente se utiliza la DBO<sub>5</sub>.

La tasa de reacción de la DBO depende del tipo de residuo y de la temperatura. Para el análisis se supone que la estabilización de la materia orgánica se comporta de acuerdo a una reacción de primer orden, y se puede escribir:

$$dL/dt = -K_1 * L$$

Al integrar la ecuación anterior con respecto al tiempo, se obtiene:

$$L = L_0 e^{-k_1 * t}$$

donde:

L<sub>0</sub> es la DBO carbonácea última

K<sub>1</sub> es la tasa constante o coeficiente de remoción de DBO (1/día)

La cantidad de materia orgánica degradada a través del tiempo se expresa como:

$$y = L_0 (1 - e^{-k_1 t})$$

En términos de tiempo, se tiene que después de los 5 días se produce un incremento de la demanda total oxígeno debido a que los compuestos de nitrógeno comienzan a ser oxidados. Este proceso se denomina nitrificación y no es considerado en la expresión estandarizada de la DBO. Valores típicos del coeficiente de remoción de la DBO,  $k_1$ , para la temperatura estándar de 20°C se indican en la Tabla 2.

**Tabla 2. Coeficiente de remoción de DBO**

Tipo de Agua	$k_1$ (1/día)
Agua de río	0,23
Agua residual doméstica	0,39
Solución de glucosa	0,58

Fuente: Alvarado (2007).

El coeficiente  $k_1$ , puede ser modificado para otras temperaturas de acuerdo con la reacción de Van't Hoff-Arrhenius:

$$k_T = k_{20} * e^{(T-20)}$$

### **-Fósforo (P):**

Precipitación del fósforo soluble por coagulación y posterior floculación y sedimentación. Bajo ciertas condiciones, los microorganismos son capaces de absorber una cantidad de fósforo superior a la requerida para su crecimiento. Este fenómeno se ha denominado en la literatura bajo el término en inglés de “luxury uptake”. La concentración normal del fósforo en los lodos activados es del 1 al 1,5 %, pudiéndose incrementar en un sistema de tratamiento biológico a niveles del 4 a 6%. El proceso básico para lograr este elevado valor de absorción puede expresarse de forma simple: el aumento de nivel de fósforo en los microorganismos se obtiene cuando la biomasa se expone a zonas alternativas anaeróbicas/aeróbicas; el fósforo se desprende en la zona anaeróbica (zona donde el oxígeno libre o el contenido en los nitratos no está presente), y luego es almacenado a niveles elevados en la zona aeróbica.

Si la exigencia en eliminación de fósforo fuese superior a la alcanzable con el sistema biológico descrito, se puede realizar una adición de sales de hierro (cloruro férrico) sistema denominado de “coprecipitación”, ampliamente experimentado, de fácil operación y mínima inversión, ya que sólo requiere el equipo de dosificación y almacenamiento del reactivo.

### **-Nitrógeno (N):**

El nitrógeno en las aguas residuales se presenta en cuatro tipos de compuestos: amoníaco, nitrógeno orgánico, nitratos y nitritos. El nitrógeno de la biomasa de las aguas residuales, que se encuentra en forma de proteínas, es hidrolizado formando los aminoácidos que, por acción de las bacterias, se transforma en amoníaco, luego en nitrito y por último en nitrato.

Las bacterias nitrificantes autotróficas, específicamente los nitrosomonas, son sensibles a los valores de pH altos o bajos, los cuales inhiben su crecimiento, particularmente a valores menores de 7 y mayores de 9. Es posible que la presencia de amoníaco libre y el ácido nitroso también inhiban el desarrollo de los organismos nitrificantes, debido a la diferencia del potencial de hidrógeno que pueden causar entre el interior y exterior de la célula. Al igual que las bacterias autotróficas, las algas metabolizan el amoníaco y el nitrato, pero prefieren el amoníaco, el cual debe haberse consumido antes que se comiencen a utilizar el nitrato para la síntesis celular. (<http://www.aguamarket.com>)

#### **-Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto, es un parámetro muy importante para definir la calidad del agua, ya que tiene incidencia sobre las propiedades estéticas y las condiciones ecológicas de la misma. Si el nivel de OD desciende bajo los 4 ó 5 mg/L, las formas de vida que pueden sobrevivir disminuyen o se alejan de esas zonas y, en una condición extrema, el OD tiende a desaparecer (condición anaeróbica). En este escenario la mayoría de las formas de vida presentes son eliminadas y reemplazadas principalmente por hongos, produciéndose gases. Para abordar el estudio de la contaminación de aguas de los cuerpos receptores se dispone de una serie de herramientas analíticas que permiten evaluar el comportamiento de los parámetros de calidad frente a cambios de las condiciones producidas por efectos externos (descargas) o modificaciones de las características de dichos cuerpos receptores (cambios naturales o inducidos). Estas herramientas se denominan comúnmente modelos de calidad de aguas y tienen como objetivo representar en forma aproximada el fenómeno que se desea estudiar, de modo de predecir la calidad del agua frente a cambios inducidos. Hoy en día, la utilización de modelos de calidad de aguas es imprescindible en la preservación del

recurso y, por lo tanto, para su planificación. Estos modelos son muy diversos dependiendo, entre otros, de los parámetros a estudiar, las características del cuerpo receptor y el nivel de información (disponible o requerida) para el análisis de los factores que influyen, por lo que su grado de complejidad es muy amplio pudiendo variar de muy simple a muy complejo. (<http://www.aguamarket.com>)

### **-Partículas sólidas**

Los sólidos totales presentes en el agua se clasificaron según su tamaño en suspendidos coloidales y disueltos (moleculares). Por otra parte, estos sólidos pueden ser clasificados por su composición en orgánicos e inorgánicos.

En un agua residual, los sólidos totales (orgánicos e inorgánicos) son, por definición, los residuos después que la porción líquida se ha evaporado y el resto se ha secado a 103°C. Los sólidos suspendidos pueden ser obtenidos como la diferencia en peso entre muestras de agua filtrada (en papel filtro normalizado) y no filtrada.

Para diferenciar su composición, los sólidos previamente secados a 103°C, son calcinados a 550°C durante 15 minutos. Las cenizas resultantes corresponden a los sólidos inorgánicos (fijos) y la fracción perdida, que se gasifica y vaporiza, son los sólidos orgánicos (volátiles).

- Cloruros y sulfatos (inorgánicos) normalmente presente en aguas y residuos humanos.
- Nitrógeno y fósforo en varias formas (orgánica e inorgánica) presentes en residuos humanos y detergentes (fósforo).

- Carbonatos y bicarbonatos principalmente como sales de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  medidas como alcalinidad, presente en agua natural.
- Sustancias tóxicas (orgánicas e inorgánicas): arsénico, cianuros, pesticidas, metales pesados,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+1}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$  y otros. Estas sustancias son de origen industrial.

#### **2.2.4. Tratamiento de aguas residuales domésticas**

El tratamiento de las aguas residuales permite remover o reducir el contenido de los contaminantes hasta niveles compatibles con la normativa vigente. Esta normativa está orientada a proteger la salud humana y a preservar el recurso para permitir el aprovechamiento en sus diversos usos. En la medida que los objetivos y normativa de calidad del agua están establecidos, el tratamiento de las aguas residuales se convierte en una necesidad y obligación ineludibles, así como también el manejo y control de los residuos sólidos y gaseosos producidos en el tratamiento de esas aguas. Lo anterior, de modo de proteger la totalidad de los componentes principales del medio ambiente (aire, agua, suelo) cada uno con sus objetivos de calidad y normativa específica. Los componentes principales de un sistema de tratamiento y disposición de aguas residuales corresponden a la caracterización en términos de caudal y composición, selección de los procesos de tratamiento según el tipo de agua residual y el análisis del cuerpo receptor del afluente tratado, que generalmente corresponde a cauces superficiales, lagos o mar. La disposición de aguas residuales en medios como el suelo (infiltración) o la atmósfera (evaporación) es una opción factible para caudales pequeños o situaciones particulares y algunas igualmente requieren de tratamiento previo.

El tratamiento de aguas residuales puede clasificarse en dos grandes grupos que de modo general, engloba la composición o contaminación de las aguas a tratar y el o los procesos más relevantes utilizados en la remoción de esas sustancias objetables. Estos grupos son tratamiento fisicoquímico y tratamiento biológico.

### **2.2.5. Tipos de tratamiento de aguas domésticas**

#### **-Tratamiento físico-químico**

Este tratamiento está orientado principalmente a la remoción de sustancias inorgánicas y por ello es utilizado en las aguas residuales industriales. En este caso los sólidos extraídos desde el agua residual, que es una suspensión concentrada, al no ser componentes naturales del medio ambiente requieren de tratamiento o disposición especial que depende de su composición.

En algunos casos cuando se requiere remover fósforo y nitrógeno del efluente de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales se puede utilizar procesos físico-químicos. El fósforo se remueve agregando compuestos químicos (polímeros o sales) que ayuda a la precipitación del mismo, el nitrógeno se elimina por sedimentación mediante aireación y posteriormente se corrige el pH por recarbonatación (incorporación de  $\text{CO}_2$ ). Si a continuación el agua es filtrada para remover los sólidos suspendidos no retenidos previamente y re-filtrada en un medio de carbón adsorbente para remover compuestos orgánicos disueltos que producen olor y sabor, se obtiene un agua de muy buena calidad. Los procesos descritos previamente corresponden a lo que comúnmente se denomina tratamiento terciario de aguas residuales. Hay muchos otros procesos químicos con fines específicos, por ejemplo: oxidación, reducción, neutralización, precipitación,

de uso común para el tratamiento de aguas residuales de origen industrial. (Hurtado).

**- Tratamiento biológico.**

El tratamiento biológico es la práctica más común para las aguas residuales domésticas o asimilables a éstas (que contienen principalmente materia orgánica). El tratamiento biológico tiene como principio básico la utilización de microorganismos aeróbicos naturales que reducen la materia orgánica (coloidal y disuelta) sintetizándola en nueva materia celular (desarrollo de microorganismos) y oxidándola a compuestos más simples (utilizada como alimento de los microorganismos denominado sustrato). El tratamiento biológico se puede realizar de diversas formas y puede agruparse en:

**- Tratamientos convencionales.** Estos comprenden tratamientos con lagunas de estabilización, lagunas facultativas, lodos activados.

**1. Lagunas de estabilización:** tipo de laguna de oxidación en la cual se realiza la oxidación biológica de la materia orgánica mediante la transferencia natural o artificialmente acelerada, del oxígeno del aire, al agua.

Son estanques de dimensiones específicas, diseñados para el tratamiento biológico de las aguas residuales por un proceso natural de purificación bioquímica. Son de estructura sencilla de tierra, abiertos al sol y al aire para que puedan cumplir su misión depuradora. Para el correcto funcionamiento de una laguna de estabilización, en ella deben desarrollarse los procesos que se expresan a continuación:

- Oxidación progresiva de la materia orgánica en condiciones aeróbicas.
- Descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas.

Las lagunas de estabilización se clasifican en: lagunas aeróbicas y lagunas anaeróbicas.

**Las lagunas de estabilización aeróbicas:** como su nombre lo indica son lagunas que operan en presencia del aire, son de poca profundidad, de 0,80 a 1,20 metros, lo que propicia la proliferación de algas que suministran una buena parte del oxígeno necesario. Se logran eficiencias de DBO de 65% a 75%. Su desventaja principal es la cantidad de terreno que requieren. En las lagunas aeróbicas las sustancias degradables suspendidas y disueltas son estabilizadas por la flora aeróbica microbiana.

**Las lagunas de estabilización anaeróbicas:** Generalmente se usan como una primera depuración o pretratamiento, se puede considerar como un digestor ya que se le aplican cantidades de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen, de tal manera que prevalezcan las condiciones anaeróbicas, es decir la ausencia de oxígeno, la eficiencia esperada con este tipo de lagunas varía con el tiempo de retención hidráulica; con tiempos de 1 a 10 días se obtiene una eficiencia de remoción de DBO de 20 al 60%.

Una desventaja de este tipo de lagunas es la producción de malos olores que impide su localización en lugares cercanos (500 m) de zonas habitadas. Generalmente son estanques de 3,00 a 5,00 metros de profundidad. (<http://www.aguamarket.com>)

**2. Lagunas facultativas:** se puede decir que es una combinación de las dos anteriores. Se diseñan con una profundidad variando normalmente entre 1,50 a 2,00 metros y una cantidad de materia orgánica o carga

orgánica por unidad de volumen que permita el crecimiento de organismos aeróbicos y facultativos (estos últimos pueden reproducirse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno). Es el tipo de lagunas más usado por su flexibilidad; requieren menos terreno que las aerobias y no producen los posibles olores de las anaerobias. Como en todos los procesos biológicos, el factor que afecta su eficiencia es la temperatura. Las eficiencias esperadas en estas lagunas van desde el 60% hasta el 85% en remoción de DBO. La eficiencia en la remoción de bacterias, especialmente del grupo conforme, puede alcanzar valores del 99.99%, debido a los tiempos de retención hidráulicos tan prolongados. (<http://www.aguamarket.com>)

**3. Lodos activados:** el proceso de tratamiento de las aguas residuales mediante la tecnología de lodos activados implica la aireación del afluente tratado en forma preliminar (rejas, tamices, tratamiento primario) mezclado con un pequeño volumen de lodos activados previo a la aireación. La mezcla en los estanques de aireación se denomina licor de mezcla (MLSS). Los lodos activados son lodos sedimentados de las aguas residuales crudas previamente agitados en la presencia de abundante oxígeno atmosférico. Los lodos activados son diferentes de otros lodos tanto en apariencia como en características físicas y composición biológica. Un lodo activado de buena calidad tiene un particular olor a tierra húmeda y mohosa cuando está en circulación en los estanques de aireación.

El lodo es un flóculo de un color café claro que precipita y sedimenta rápidamente en el líquido de origen dejando un sobrenadante claro sin olor ni color y brillante. La diferencia entre el proceso de lodos activados y la aireación de aguas residuales requiere ser analizado y enfatizado. La mezcla de aire con aguas residuales es aireación (laguna aireada). Cuando el lodo activado, recirculado desde el estanque de sedimentación, es agregado al

afluente para formar el licor de mezcla, el cual es subsecuentemente aireado y del cual el lodo activado es sedimentado, ahí se está en presencia del proceso de lodos activados.

En el proceso de lodos activados el retomo de lodos y la aireación proveen los dos medios a través de los cuales la materia coloidal y disuelta del afluente puede ser cambiada. A través de las bacterias presentes en las partículas del retomo de lodos y el oxígeno y la mezcla provistas por el sistema de aireación, dos procesos biológicos ocurren:

1) El primero es la síntesis de la materia coloidal y disuelta. Aquí los organismos activos, con la ayuda de oxígeno, absorben, digieren y crean sólidos suspendidos. Luego de un adecuado tiempo de retención en los estanques de aireación, estos sólidos sedimentan en el clarificador o sedimentador final y luego son devueltos a los estanques de aireación. El sobreflujo del vertedero final del sedimentador estará relativamente libre de grandes cantidades de materia coloidal y disuelta. Una proporción de los sólidos sedimentables deberá ser periódicamente retirada del sistema. Esto ayudará a prevenir la formación de una mayor concentración de partículas de lodos activados presentes en los estanques de aireación (licor de mezcla) cuando nuevos sólidos son formados, desde los sólidos presentes en las aguas servidas.

2) El segundo proceso que ocurre durante el proceso de lodos activados es llamado oxidación. La oxidación, al igual como ocurre en otras formas biológicas de vida, es simplemente la quema del alimento (partículas de las aguas servidas) y la creación resultante de energía,  $\text{CO}_2$  y agua. En la modalidad de lodos activados, llamada aireación extendida u oxidación total, el proceso de oxidación va más allá del proceso de síntesis. Esto sugiere

teóricamente que todo el afluente ingresando al sistema sería quemado, (convertido a energía, CO<sub>2</sub> y agua) y que no se requeriría de purgar el lodo para prevenir la formación de más organismos en el licor de mezcla. Esto sin embargo, no es completamente verdadero, ya que una porción de las materias que ingresan en las aguas residuales crudas es relativamente inerte a una acción biológica y contribuye a una mayor formación de lodos en el licor de mezcla. ( <http://www.aguamarket.com> )

**Tratamientos no convencionales.** Estos comprenden, lagunaje, escorrentía superficial, tratamiento en suelos, lechos bacterianos, biodiscos.

- **Lagunaje:** los procesos de lagunaje se desarrollan en lagunas artificiales expuestas al aire libre. En ellas se producen reacciones biológicas, químicas y físicas; tendentes a estabilizar el agua residual. Estos procesos incluyen fenómenos tales como: sedimentación, digestión, oxidación, síntesis, fotosíntesis, respiración endógena, intercambio gaseoso, aireación, evaporación, corrientes térmicas, filtración, etc. Lo normal es utilizar tres tipos de lagunas funcionando en serie. Estos tres tipos son: anaerobia, facultativas y de maduración.

- **Escorrentía superficial :** agua que se origina como precipitación sobre la tierra y luego se escurre por esta hasta llegar a los ríos, corrientes y lagos, llegando finalmente a los océanos, mares interiores o acuíferos, a menos que primero se evapore. La porción de escorrentía de la cual puede dependerse año tras año y fácilmente aprovechada por el hombre se denomina escorrentía estable.

- **Tratamiento en suelos:** es un método de disposición en el cual un residuo sólido o semisólido, que contiene sustancias contaminantes, es incorporado al suelo para que sea degradado por microorganismos.

- **Lechos bacterianos:** estanques o depósitos rellenos de material de gran superficie específica el cual sirve de soporte a los microorganismos depuradores. Estos microorganismos forman sobre el material de relleno (medio) una película de espesor variable.

La aireación se efectúa por tiro natural y el agua a tratar se distribuye uniformemente en forma de lluvia por la parte superior del relleno. El soporte es fijo y el agua residual es la que se desplaza. Su clasificación como sistema convencional depende en gran medida de cual sea el tratamiento primario y la línea de lodos. Suponen la existencia de un medio de soporte para el crecimiento biológico de los microorganismos, por eso se dice que es un sistema de crecimiento biológico asistido. El agua residual se aplica de arriba abajo sobre el medio a una tasa o caudal específico controlado. Esto provoca un íntimo contacto entre la materia orgánica del agua residual, los microorganismos del medio y el oxígeno contenido en el aire, que asciende a contracorriente a través del medio.

Para una instalación de lechos bacterianos se predeterminan los factores que condicionan el desarrollo del proceso (cantidad y naturaleza de la contaminación, caudal, temperatura, oxígeno disuelto, contenido en nutrientes, existencia de tóxicos) en el diseño, y se controlan durante la operación. En dicho drenaje se recoge el agua depurada junto a un lodo húmico que se separa del medio y organismos que vuelven al sistema por la recirculación. El medio filtrante debe tener gran durabilidad, para reponerlo a un tiempo más prolongado. Se han usado: piedras, ladrillos, carbón, bloques

de madera, etc. Pero en los últimos años se han impuesto los materiales plásticos, por su mayor área específica y la mayor proporción de huecos en un volumen.

Las características principales a tener en cuenta son fundamentalmente la recirculación y la ventilación adecuada del lecho. Un buen funcionamiento del mismo puede producir un efluente de unos 20 gr/m<sup>3</sup> de DBO<sub>5,20</sub>.

- **Biodiscos:** originalmente este sistema consistía en una serie de discos de madera, con diámetros entre 1,0 y 3,5 metros, montados sobre una flecha horizontal que giraba durante el movimiento, cerca del 40% del área superficial de los discos se encontraba sumergida en el agua residual. Actualmente se utilizan placas de plástico corrugado y otros materiales en vez de madera. Cuando el proceso inicia su operación, los microorganismos del agua residual afluyente se adhieren a la superficie del material plástico y se desarrollan hasta que toda esta área quede cubierta con una capa o una película microbiana.

El movimiento giratorio de los discos, permite que la película biológica se adhiera a éstos entrando en contacto, alternamente con el agua residual que está en el estanque y con el oxígeno atmosférico. Al salir las aguas del tanque, los discos arrastran una capa líquida sobre la superficie de la película biológica, lo cual permite la oxigenación del agua y los microorganismos. Debido a la sucesión de inmersiones y emersiones la capa líquida se renueva constantemente. La oxigenación se realiza por difusión a través de la película líquida que queda adherida a la biomasa. Los microorganismos utilizan oxígeno molecular disuelto para efectuar la degradación aerobia de la materia orgánica, que se utiliza como fuente de nutrientes. El exceso de microorganismos se desprende de los discos debido a las fuerzas cortantes

originadas por la rotación de éstos al pasar por el agua. Los microorganismos desprendidos se mantienen en suspensión en el líquido, salen del tanque con el agua tratada y se dirigen hacia el sedimentador secundario, donde son separados de ésta. (<http://www.aguamarket.com>).

#### **2.2.6. Sistema de tratamiento de carga orgánica usando reactores secuenciales.**

En el desarrollo de la presente investigación se estudia un sistema no convencional que representa un híbrido que se asemeja principalmente a los sistemas SBR. Un reactor discontinuo secuencial (SBR) es un sistema de tratamiento de lodos activados cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son idénticos a los de un proceso convencional de lodos activados. En ambos sistemas intervienen la aireación y la sedimentación — clarificación. No obstante, existe entre ambos una importante diferencia. En las plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en los SBR, los procesos tienen lugar secuencialmente en el mismo tanque.

El SBR se puede emplear para conseguir un proceso combinado de oxidación de carbono, reducción de nitrógeno, y eliminación de fósforo. En la fase anaerobia se produce la liberación del fósforo y consumo de la DBO, mientras que el consumo de fósforo por parte de los microorganismos se producirá en la fase aerobia situada a continuación. Mediante la modificación de los tiempos de reacción se puede conseguir la eliminación de nitrógeno. Para llevar a cabo la desnitrificación, en la fase anóxica es necesario disponer de una fuente de carbono, ya sea una fuente externa o por la respiración endógena de la biomasa presente.

El tratamiento de orgánicos, como las aguas servidas procedentes de alcantarillado domiciliario u otros casos de industrias (alimenticias, peso específico), se diseña en torno a operaciones que logren oxidar (degradar; estabilizar; mineralizar; etc.) el contenido de materia orgánica (fecal, si se trata de aguas servidas pero de composición más regular si es industrial), si bien es claro que se deben cumplir, además, las normas respecto de otros parámetros; por ejemplo: sólidos suspendidos; aceites y grasas; coliformes fecales; nitrógeno orgánico o total; fosfatos; cloro libre residual; organoclorados; compuestos no biodegradables; entre otros.

El diseño se centra en la oxidación biológica de materia orgánica porque las operaciones de remoción de sólidos suspendidos, aceites y grasas pueden ocurrir simultáneamente o ser realizadas por operaciones auxiliares de menor escala, más rápidas y de menor complejidad que la oxidación. La remoción de nitrógenos, fosfatos, etc. puede realizarse, también, mediante procesos biológicos. La remoción de patógenos (microorganismos infecciosos que pudiesen estar presentes si las aguas contienen heces humanas), por otra parte, debe ser atendida explícitamente, en una operación posterior de desinfección. La tecnología de “lodos activos” recibe tal nombre a partir de la observación de que el material sedimentado posterior a una operación de oxidación de orgánicos, con aspecto de lodo o barro, presentaba una alta actividad de digestión de nuevos materiales orgánicos. De allí el término lodos activos que, por problemas de traducción, se suele referir también como “lodos activados”. Cualquier tecnología que utilice un manejo directo del material sedimentado para acelerar la actividad celular dentro del sistema de oxidación recibe el nombre de “tecnología de lodos activos”; a diferencia, por ejemplo, de sistemas donde la presencia de altas densidades de células se logra mediante la fijación del material celular a

un soporte sólidos que reciben el nombre de “filtros biológicos” (trickling filters) o “reactores adheridos” como el de discos rotatorios.

Una alternativa distinta consiste en manejar las concentraciones naturales de las células y proveer, simplemente, de un gran volumen de reacción (como es el caso de las “lagunas”). Los reactores estáticos, de carga secuencial (SBR o Sequencing Batch Reactors) pertenecen a las tecnologías de “lodos activos” porque se retiene (por sedimentación) una alta densidad de células en su interior. Los sistemas SBR (Secuencial Batch Reactor) procesan las aguas residuales por medio de un tratamiento biológico aeróbico-anóxico, basado en la generación de lodos activados por medio de aireación y disminución de nutrientes en etapa anóxica.

El término SBR es una nueva terminología que ha empezado a desarrollarse muy fuertemente a partir de los años 80 en todo el mundo. Este describe un grupo de sistemas de volumen variable de tratamiento de lodos activados, donde los procesos de aireación, sedimentación y clarificación son realizados en un mismo estanque (reactor). Los SBR son, simplemente, reactores de llenado / vaciado, en contraste de los más conocidos reactores continuos en los que el fluido a tratar entra y rebalsa simultáneamente. Sin embargo, los SBR son históricamente previos a los reactores continuos.

**Descripción del SBR.** El SBR es un proceso de tratamiento de aguas servidas biológico de llenado y vaciado que fue diseñado en USA como una innovación tecnológica alternativa. El proceso de tratamiento biológico es conocido como el proceso más eficiente en cuanto a costo y a eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos en aguas domésticas e industriales. El SBR ha sido exitosamente aplicado en USA y Canadá en cientos de plantas. En su forma más simple, el SBR consiste en un estanque en el cual se

sucedan en forma secuencial en el tiempo diferentes procesos de equalización, aireación y clarificación. Esto sumado a la última tecnología de biomasa, permite el tratamiento de un gran espectro de compuestos orgánicos. El principio de operación de un SBR se basa en la siguiente secuencia: llenado-aireación- sedimentación-vaciado. Normalmente las dos primeras etapas varían en duración dependiendo del flujo y la carga orgánica; las dos siguientes (sedimentación / vaciado) serán de duración constante.

**-Llenado estático:**

En esta etapa estarán todos los equipos en el modo no operativo. El agua servida es simplemente admitida en el reactor. Durante este período no se producirán olores por el hecho que haya bajo contenido de oxígeno en la capa superior ya que es un período corto donde no se alcanzarán a generar condiciones anaeróbicas.

**-Llenado con aireación:**

El estanque se sigue llenando y comienza a funcionar la aireación y por lo tanto se está mezclando el líquido con los sólidos existentes en el estanque. Se notará un gran consumo de oxígeno por la etapa anóxica anterior. Este período se puede contar como parte de la reacción de aireación.

**- Aireación:**

En esta etapa se suministrará el oxígeno suficiente para la reducción del DBO. El lodo se encontrará en la etapa endógena dado que la edad del lodo es entre 10-20 días. Esto hace que la operación sea mucho más fácil y estable en cuanto a su calidad de efluente frente a cambios en las condiciones de entrada.

**- Sedimentación:**

Durante este período se detienen los equipos para dar tranquilidad al sistema y así permitir la sedimentación de los sólidos. En este caso se espera la mayor separación de sólidos por medio de la fuerza gravitacional ya que el SBR cumple una función muy eficiente gracias a la gran superficie del reactor.

**- Vaciado:**

Esta etapa consiste en extraer por medio del sedimentador, el agua clarificada de la parte superior. En esta etapa sólo el sedimentador está en operación.

**- Vaciado de lodo:**

En esta etapa una parte del lodo activado es llevado al digester de lodo donde continúa su proceso de degradación.

**Características del sistema de tratamiento de carga orgánica con reactores secuenciales:**

- Tolera cargas hidráulicas variables
- Tolera cargas orgánicas variables
- Eliminación de la DBO y nutrientes
- Control del crecimiento de microorganismos filamentosos
- Separación de aeración y mezcla
- Todos los componentes recuperables y accesibles
- Eliminación de sedimentador secundario
- Eliminación de bomba de retorno de lodos activados

- Costos bajos de instalación

#### - Parámetros operativos del SBR

#### - Control operativo de una planta tratamiento de aguas residuales.

Un parámetro de diseño verificable en operación es la razón de alimento a biomasa, F/M (food to microorganisms ratio):

$$F/M = S_0/\theta * X$$

Este parámetro se maneja, en operación, mediante el descarte de una masa dada de microorganismos (es decir, se puede manipular **X** en la ecuación anterior), es decir, reduciendo el MLVSS (se define generalmente como la suspensión microbiológicos en el tanque de aireación de un lodo activado-biológicos de plantas de tratamiento de aguas residuales) del reactor, según sea necesario. Este descarte es, precisamente, el origen de los **lodos generados** por estas tecnologías. Si el **F/M** es alto (mucho orgánico y poca biomasa) la eficiencia del sistema es baja porque los microorganismos (**X**) estarán saturados de “alimento” (sustrato, **S**) y la degradación es escasa. Una razón **F/M** pequeña, por otro lado, resulta en microorganismos hambrientos que serán más voraces en su digestión, implicando una mayor remoción de sustrato; si fuese demasiado pequeña, sin embargo, se impondrían condiciones de alta mortalidad de biomasa y de fases de retardo extensas.

Desde un punto de vista puramente cinético, se debiera operar a muy pequeños **F/M**. Sin embargo se requerirían reactores de volumen muy alto (como una laguna). Además, a bajos **F/M**, las propiedades de sedimentación se empeoran. Otro parámetro empírico de cierta importancia, sobre todo para

el diseño de la etapa de sedimentación, es el **SVI** (sludge volume index), el índice volumétrico de los sólidos del reactor. El índice volumétrico indica el **volumen que ocupa un gramo** de sólidos del reactor. Su obtención empírica es simple, si bien tediosa y lenta. Se deja sedimentar un litro de líquido mezclado del reactor (Mixed Liquor) durante 30 minutos y se observa el volumen que ocupan los sólidos que sedimentaron (**SV**) obteniendo el volumen de lodos. El valor obtenido (**SV**) se divide por la biomasa **X** (en realidad, los MLSS). Se utiliza una conversión de unidades que exprese el **SVI** en mL/g (mililitros por gramo). La utilidad de la variable **SVI** radica en que su valor debe coincidir con el valor que tenga la operación del sedimentador; es decir, permite manejar la etapa de sedimentación. En el diseño, el valor seleccionado para el **SVI** limita la máxima MLVSS (biomasa) permisible en el reactor (porque si se excede o se decrecienta el sedimentador no producirá la concentración de sólidos necesaria o los rebalsará al efluente tratado). De la discusión anterior se destaca que ciertas “variables”, de carácter empírico, deben ser ‘elegidas” para cada diseño en particular. Tal es el caso del tiempo de residencia hidráulico, el tiempo medio de residencia de las células o alternativamente la tasa de reciclo de lodos, el índice volumétrico de los lodos (**SVI**) y la razón de carga (“food”) a biomasa (microorganismos) expresada por **F/M**.

### **2.2.7. Microbiología del lodo**

El proceso de lodos activados produce una masa de microorganismos activos, que se aglomeran y flocculan, en el proceso de aireación, y luego sedimentan. Estos son capaces de oxidar la materia orgánica existente en el efluente. Muchos de los problemas que ocurren en los sistemas de barros activados se deben a las características que adquiere ese flóculo biológico. La observación microscópica de este flóculo permite determinar la presencia

de distintos tipos de microorganismos. Los microorganismos tienen un tamaño que oscila entre 0,5 a 5 micrones, hasta flóculos grandes donde el tamaño llega a 1.000 micrones (1 mm). La población activa primaria está compuesta por bacterias heterotróficas (son aquellas que consumen materia orgánica) incluyendo *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthobacter*, *Citromonas* y *Zooglea*. También en menor cantidad se encuentran protozoarios, metozoarios y hongos. Los flóculos contienen materia orgánica, polímeros segregados por las propias bacterias y partículas inorgánicas. Dentro de esta clasificación general para los fines prácticos de la identificación microbiológica de planta se deben tener en cuenta: Ciliados de nado libre, Ciliados pedunculados (Vorticelas), Flagelados, Rotíferos, Nematodos y los Ameboides

En los primeros tiempos de operación de una planta aparecerán ameboideas, ciliados y flagelados. A medida que aumente la maduración, y haya suficiente cantidad de alimento y oxígeno pasarán a aparecer las vorticelas y rotíferos.

El flóculo ideal de un lodo activado debe tener un balance adecuado entre microorganismos formadores de flóculo, y bacterias filamentosas dando de esta forma una gran claridad al efluente y una buena sedimentabilidad. Existen dos tipos de estructura en el flóculo, la microestructura, que es la base de formación del flóculo, compuesta por bacterias que son capaces de aglutinarse con otras por medio de polímeros extracelulares y floculación, y la macroestructura que consiste de organismos filamentosos que forman largas cadenas de las cuales las bacterias formadoras de floculo se pueden colgar. Si un barro o lodo particular contiene solo microestructura, y nada de macroestructura, los flóculos son pequeños (promedio 75 micrones), redondos y fáciles de romper en el tanque de aireación. Este es un problema

operacional llamado pin flóculo. Este flóculo sedimenta rápidamente, pero deja gran cantidad de partículas, que se fugan con el efluente por estar suspendidas en el mismo. En otras palabras, los microorganismos filamentosos forman una macroestructura que atrapa mecánicamente a los flóculos pequeños y gran parte de otros flóculos se cuelgan de dicha red. Este fenómeno se confirma por medio de un test de sedimentación si las partículas discretas de lodo que sedimentan rápidamente tienen contextura granular más que floculenta. Esto es un fuerte indicio que la edad del barro o lodo es muy alta (barro muy viejo) o que existe una gran turbulencia en el tanque de aireación. En consecuencia es fundamental la formación de la macroestructura para una buena formación del flóculo.

### **2.2.8. Ventajas y desventajas del sistema SBR**

#### **a) Ventajas**

El sistema del tipo SBR presenta algunas ventajas comparativas con respecto al proceso de flujo continuo de barros activados:

- Como el reactor funciona como un tanque de ecualización durante la etapa de llenado, puede tolerar picos de caudal, carga orgánica, nutrientes o pH sin pérdida de la calidad del efluente.
- Los sólidos pueden ser mantenidos por largos tiempos en el reactor, evitando problemas de higa de barros;
- Condiciones ideales para la sedimentación, que permite la floculación aún de pequeños flóculos.
- Aumento de la eficiencia de aireación.
- Mejor control y eliminación del crecimiento de organismos filamentosos, que pueden ser controlados variando las estrategias del proceso, como por ejemplo llenado en ausencia de oxígeno, etc.

- Tiene menores costos constructivos que una planta convencional continua.
- Produce menor cantidad de lodos, como subproducto que los sistemas de barros activados continuo. La experiencia a nivel internacional es que la cantidad de lodos producidos es 20 a 30% inferior.
- Requiere una menor mano de obra operacional y de mantenimiento, dado que el sistema es totalmente automático.
- Capacidad de operar la planta desde un lugar remoto a esta.
- El nivel de ruido, para este caso en particular, con el sistema de aireación propuesto es mínimo.
- Menor espacio requerido, para igual capacidad de tratamiento.
- Potencial ahorro de costos al no requerir un clarificador o sedimentador secundario.
- Pueden realizar nitrificación así como también desnitrificación y extracción fosfórica.
- Gran flexibilidad operacional.
- Reducciones significantes de nitrato, incorporando un ciclo anaeróbico.

#### **b) Desventajas**

- Un nivel más alto de sofisticación de instalación es requerido (comparando con los sistemas convencionales), especialmente para los sistemas grandes, de controles y PLC.
- Niveles más sofisticados de mantenimiento (comparado con los sistemas convencionales) asociados a la automatización de interruptores, PLC y válvulas automatizadas.
- Riesgo de obstrucción de los dispositivos de aireación durante los ciclos operativos, dependiendo del sistema de aireación usado.

- Los barros deben ser eliminados frecuentemente (operación de purga).
- Posible necesidad de ecualización después del tratamiento SBR, dependiendo del proceso downstream requerido.
- Gran dificultad de ajustar los ciclos o etapas de tratamiento, en plantas pequeñas de tratamiento.
- Potencial riesgo de descargar barro sedimentado o en suspensión, durante algunas de las fases de descarga o extracción.

### **2.2.9. Análisis del agua para riego.**

Los análisis que deben hacerse a las aguas residuales para riego pueden clasificarse en físicos, químicos y biológicos. Los principales parámetros que deben tenerse en cuenta en el agua para determinar su calidad en el riego son los siguientes: físicos, químicos, biológicos.

**a) Físicos:** las características físicas más importantes del agua residual es su contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante, materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Otras características son la temperatura, color y olor.

**b) Químicos:** en cuanto a los análisis químicos deben considerarse cuatro categorías:

-materia orgánica, presente en el agua residual como son proteínas, carbohidratos, agentes tensoactivos, fenoles, plaguicidas, productos químicos agrícolas y grasas animales.

-Medida del contenido orgánico: demanda bioquímica de oxígeno (DQO), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT), y la demanda total de oxígeno (DTO).

-Materia orgánica: varios componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua. Entre ellos se encuentran el pH, cloruros, alcalinidad, nitrógeno, fósforo y azufre. Otros compuestos con alta toxicidad como el cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y boro. También se encuentran los metales pesados como el níquel, manganeso, plomo, cadmio, zinc, hierro y mercurio.

-Gases que se encuentran en el agua residual. Los más frecuentes sin tratar son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de Hidrógeno y Metano. Los tres primeros, son gases comunes de la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas expuestas a aireación. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual.

### **c) Biológicos.**

Los aspectos biológicos que deben considerarse y que tienen una acción determinante en la calidad del agua, es la presencia de microorganismos, que pueden ser protistas, virus, plantas y animales. Asimismo debe revisarse la presencia de coliformes, que son útiles para degradar la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales.

### **2.2.10. Consideraciones a tomar en cuenta en la utilización de las aguas residuales para riego.**

Cuando se plantea la aplicación de aguas residuales sobre el suelo, particularmente en labores de riego de cultivo, es de gran importancia tomar en cuenta factores edáficos, es decir, asociados con el suelo y otros relacionados con los cultivos presentes en estos suelos. Esto es debido a que los contaminantes presentes en las aguas residuales pueden causar toxicidad en las plantas y su posible transmisión a la cadena de alimentos. Las características, físicas, químicas y biológicas de los suelos donde se han de utilizar las aguas residuales son fundamentales dado que pueden tener influencia en la calidad del agua que percola a través de las capas del suelo y la potencialidad de contaminación de las aguas subterráneas.

En cuanto a la agricultura de regadío, las características más importantes que se consideran para clasificar las aguas residuales, son el tipo y el contenido de sales totales, el contenido relativo de sodio, la concentración de iones tóxicos y los sólidos totales. Sobre la base de estas características fundamentales y considerando además las condiciones del suelo, clima, tipo de cultivo, y en algunos casos, el manejo del riego, se han propuesto algunas directrices y modelos para guiar la calificación del agua.

Con respecto a lo anterior, especialistas como Ayers y Westcot (1987), señalan unas directrices para interpretar la calidad del agua para riego, considerando los efectos a largo plazo de la calidad de dicho recurso, sobre la producción de cultivos, las condiciones del suelo y el manejo agrícola. Se consideran los siguientes aspectos:

a) concentración salina del agua y su efecto sobre la disponibilidad de agua para las plantas.

b) La influencia de la relación de adsorción de sodio y la conductividad eléctrica en la tasa de infiltración del agua en el suelo.

c) La toxicidad de iones específicos como sodio, cloro y boro.

d) Problemas derivados de la alta concentración de nitrógeno bicarbonatos.

e) Valores extremos de pH.

Por su parte, Larson y Gilley (1976), afirman que algunos de los desechos químicos presentes en las aguas residuales pueden resultar beneficiosos tanto para el suelo como las plantas, mientras que otros pueden ser perjudiciales, de allí que el análisis sobre la composición de las aguas residuales que derivan de una planta de tratamiento, en este caso como la de Taiguaiguay, es esencial para considerar las consecuencias específicas de su aplicación sobre el suelo. Las aguas residuales contienen considerables cantidades de fósforo y nitrógeno, siendo deficientes en potasio, con posibles concentraciones de metales pesados.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO DESCRIPTIVO**

En esta sección se presenta de manera detallada la información de la PTAR-Taiguaiguay, especificando cada una de las etapas por la cual recorre el afluente a tratar, puntualizando las dimensiones y el tipo de sistema con el cual se cuenta, así como también se detallan los ciclos llevados a cabo en la planta.

#### **3.1 Descripción general de la PTAR-Taiguaiguay**

La planta está ubicada en la zona limítrofe entre Santa Cruz de Aragua y el Municipio Sucre (Cagua). Su creación data de 1988 por el ministerio del ambiente como parte importante del sistema de saneamiento del lago de Valencia. Su entrada es desde la población de Cagua, tres kilómetros adentro, en sentido al oeste aproximadamente por una vía de tierra se accesa a las instalaciones, las cuales poseen en sus adyacencias sembradíos de verduras y legumbres, cuyo riego proviene del agua tratada en la PTAR-Taiguaiguay.

Esta planta recibe las aguas servidas de dos importantes estaciones. Estas son: la estación de bombeo de aguas residuales Camburito y la estación elevadora de aguas residuales el Huete.

La estación de bombeo de aguas residuales Camburito, está ubicada al sur de Maracay, con capacidad de  $4\text{m}^3/\text{s}$ , que lleva las aguas servidas de Maracay, Palo Negro y Santa Cruz de Aragua, a través de una tubería de

impulsión de 1,80 m de diámetro y 17 Km de longitud a la PTAR-Taiguaiguay.

La estación elevadora de aguas residuales el Huete, está ubicada en la Parroquia Cagua, Municipio Sucre, estado Aragua. Esta estación beneficia a una población aproximada de 117 mil habitantes, y que pertenecen a las comunidades Alí Primera, el Huete y la Comuna. Esta estación capta las aguas residuales e industriales que actualmente desembocan en el Caño Maracay y las envía a la PTAR-Taiguaiguay, que a su vez descarga en el embalse del mismo nombre, el cual alimenta los sistemas de riego de numerosos sembradíos. Además incorpora las aguas servidas de la zona industrial Las Vegas al colector Cagua Este. En la actualidad, la estación cuenta con una capacidad de bombeo de 300 L/s.

### **3.2. Áreas operativas de la PTAR-Taiguaiguay.**

La planta de PTAR-Taiguaiguay, está conformada de la siguiente manera:

- 1) Captación de las aguas entrantes a la PTAR-Taiguaiguay, que comprende: colector Cagua, canal de derivación del Río Turmero y Aragua; canal de derivación del río Turmero y Aragua, estructura de derivación en el canal derivador del Río Turmero, tubería de impulsión Maracay.
- 2) Estación elevadora Cagua
- 3) Unidad de desbaste
- 4) Sistema desarenador
- 5) Módulos de tratamiento y reactores biológicos anaeróbicos
- 6) Laguna facultativa.

## **1. -Captación de las aguas entrantes a la PTAR-Taiguaiguay.**

**-Colector Cagua:** Este colector tiene un diámetro de 1,52 m, pasa cerca del sitio de tratamiento, a una cota inferior a la de entrada de la planta y de la cota máxima de la propia represa. Se construyó un colector de desvío que conduce, por debajo de los lechos de secado una longitud total de 468 metros, hasta la estación elevadora Cagua.

### **-Canal de derivación de los ríos Turmero y Aragua.**

Este canal intercepta el gasto negro de los ríos Aragua y Turmero, hasta que se construya el colector emisario de Turmero., con lo cual el aductor recuperará su función inicial de llenado del embalse de Taiguaiguay, de aguas limpias de estos ríos.

### **-Estructura de captación en el canal derivador del Río Turmero.**

A 500 metros de la entrada de la PTAR-Taiguaiguay, existe una estructura de captación en concreto, con una reja y una compuerta. Así como un canal hasta el punto de entrada a la planta. Al final del canal están instaladas dos compuertas de hierro fundido de 1,2 m x 1,5 m. Dichas compuertas tienen el propósito de regular el gasto entrante al sistema y desviar el exceso mediante un vertedero seccional directamente a la laguna facultativa.

La tubería de impulsión de Maracay entra a la planta independientemente de la entrada de Cagua-Turmero, ya que el caudal recibe tratamiento preliminar en la estación de rebombeo de aguas residuales Camburito. Antes de unirse con el resto, el caudal de Maracay pasa por un medidor venturi tipo tubo con una garganta de diámetro de 780,8 mm. Este instrumento tiene un transmisor en la fosa del tubo primario el cual

envía una señal al centro de control de la Planta con un receptor que indicador y totalizador de flujo.

#### **-Tanquilla de recirculación.**

Está adyacente al colector Cagua en la orilla de la laguna facultativa, se ha construido una tanquilla de recirculación, la cual tiene una compuerta para permitir el ingreso de un caudal de agua desde la laguna facultativa hacia el colector con el propósito de facilitar la recirculación, controlar olores y estabilizar la actividad anaeróbica de los reactores primarios. Esta tanquilla tiene un vertedero de emergencia para permitir el rebose desde el colector hacia la laguna facultativa, en caso de que falle la estación de bombeo.

### **3.3. Proceso que comprende la PTAR-Taiguaiguay.**

#### **1. Estación elevadora Cagua.**

Esta estación tiene la función de elevar el caudal de Cagua hacia el canal de entrada al sistema. Consta de tres bombas del tipo tornillo de Arquímedes, cada una con una capacidad de 1000 L/s, 100 HP, 480 V. Sus especificaciones permiten considerar que existe un alto margen para recirculación dado que los datos base se tomaron con respecto al gasto pico del colector Oeste de Cagua, el cual está alrededor de 300 L/s, a continuación se muestra la figura 3:



**Figura 3: Estación Elevadora Cagua**

## **2. Desarenador.**

El desarenador es del tipo ciclón, consiste en un tanque circular en el cual el caudal entra de forma tangencial y sale de manera radial, creando un vértice y permitiendo la separación de partículas pesadas por fuerza centrífuga y diferencia de densidad. Este tanque tiene una profundidad de 3 metros por debajo de la rasante del canal de salida y su fondo es de forma cónica, lo cual facilita la concentración de los sólidos en el centro del tanque.

En este punto, los sólidos son removidos mediante una cuchara de almeja hacia unos contenedores colocados sobre un patio escurridor ubicado al lado del tanque. Estos son transportados cuando están llenos, a un lugar

escogido dentro de la planta. Un instrumento denominado cuchara, está montado sobre un monorriel y se opera desde una pasarela montada sobre la estructura de apoyo de la misma, la cual permite retirar los sedimentos retenidos en el desarenador. A continuación se muestra la figura 4.



**Figura 4: Desarenador**

#### **-Cámara de rejas.**

Desde el desarenador, se sigue hacia la cámara de rejas en la cual se instalaron varios tramos de rejas para un total de 10 metros de largo, con espacios libres de 2,5 cm de separación entre rejas.

La limpieza de las rejas es manual, los desperdicios son removidos con rastrillo hasta un canal escurridor ubicado arriba de cada tramo de reja. Los desperdicios permanecen desde la mañana cuando se limpia hasta la tarde cuando son embolsados y llevados al relleno sanitario para evitar la proliferación de moscas. A continuación se muestra la figura 5.



**Figura 5: Cámara de Rejas**

**-Canaleta Palmer-Bowlus.**

Desde la cámara de rejas el caudal de Cagua y Turmero sigue hacia una canaleta de Palmer-Bowlus para su medición. El equipo indicador-totalizador hace un registro electrónico. Este instrumento envía una señal hacia el centro de control de la planta, donde existe un receptor indicador y totalizador de flujo.

**-Medidor venturi.**

Este registra la medición del flujo de Maracay, antes de su unión con los afluentes de Cagua y Turmero, tiene un diámetro de 780,8mm.

**-Canal de entrada a los reactores.**

Aguas debajo de la canaleta de medición de Cagua, el afluente de Cagua Y Turmero se une con la descarga de la tubería de impulsión de Maracay y después de éste punto sigue por el canal de entrada bordeando

los cuatro reactores primarios. Dicho canal tiene un caudal de diseño de 8 m<sup>3</sup>/s, lo cual corresponde a 150% del gasto medio.

La entrada a cada reactor se hace mediante cuatro tuberías de 1,2 metros de diámetro, cada una controlada por una compuerta, que permite concentrar el gasto en una o dos tuberías para intensificar la mezcla de diferentes partes de la sección transversal de cada reactor.

Al final del canal repartidor existe una estructura de alivio del caudal en el reactor que permite descargar directamente en la laguna facultativa.

### **3.4. Procesos llevados a cabo por la PTAR-Taiguaguay**

#### **-Tratamiento preliminar:**

Un canal rectangular conduce hasta el desarenador la descarga proveniente de la estación elevadora Cagua. Este desarenador permite la separación de las partículas apoyados en la fuerza centrífuga que se crea, dada la forma cónica del fondo del tanque. Los sólidos depositados se remueven con una cuchara de almeja. (Ver figura 6)

Esta fase preliminar facilita la remoción de los sólidos más grandes y pesados, para que el efluente pueda pasar al siguiente nivel de tratamiento, cuando es llevado a los reactores modulares. A continuación se muestra la figura 6.



**Figura 6: Cuchara de almeja**

#### **-Tratamiento primario:**

Existen cuatro reactores primarios de forma modular, cada uno con una capacidad de 1250 L/s para un total de 5000 L/s. Estos reactores son unos estanques rectangulares, excavados y revestidos con concreto, cada uno con un volumen de 85.600 m<sup>3</sup> y una profundidad de agua de 5 metros. Su diseño corresponde con las especificaciones de Arthur (1983) con una carga orgánica de 350 gDBO/m<sup>3</sup>-día. Con tres de los cuatro módulos funcionando la carga volumétrica es aproximadamente 198 g/m<sup>3</sup>.

Estos cuatro reactores modulares trabajan como lagunas anaerobias, y debido a su diseño logran un alto porcentaje de retención de sólidos y contacto entre el lodo retenido y el caudal afluente, lo cual incrementa la eficiencia de remoción de DBO y de la digestión de sólidos.

La extracción de los lodos se efectúa desde el fondo del reactor biológico, a través de unas tolvas ubicadas en el fondo de cada reactor con una profundidad de tres metros.

#### **-Tratamiento secundario.**

Desde los reactores primarios el canal recolector conduce el efluente primario hacia el tratamiento secundario, el cual consiste en una Laguna Facultativa formada en el vaso del embalse. Esta Laguna tiene una longitud aproximada de 2000 metros y un ancho promedio de 700 m, ocupando un área de 155 ha, con una profundidad variable entre 1 y 3,5 metros. Su diseño permite un tiempo de retención nominal de 25 días.

#### **-Descarga del efluente.**

Las descargas de la laguna facultativa, consiste en tres vertederos de 12 metros de largo, el efluente entra al embalse en el punto más alejado de la toma actual del sistema de riego a 5 Km, con el propósito de aprovechar al máximo el tiempo de retención del embalse.

#### **-Lechos de secado de lodos.**

Los lodos son conducidos desde cada reactor primario hasta los lechos de secado. Estos son módulos de tierra con una profundidad de 1,5 metros cada uno, permitiendo un largo período de permanencia de los lodos, y ayudando en desinfección, particularmente en la desecación de los huevos de los parásitos existentes. Son seis unidades con estas características, con una válvula de entrada de lodos y una rampa de acceso vehicular. (Ver figura7)

En la figura, se presenta un esquema general de la Planta de Tratamiento de Taiguaguay y las estaciones de bombeo.

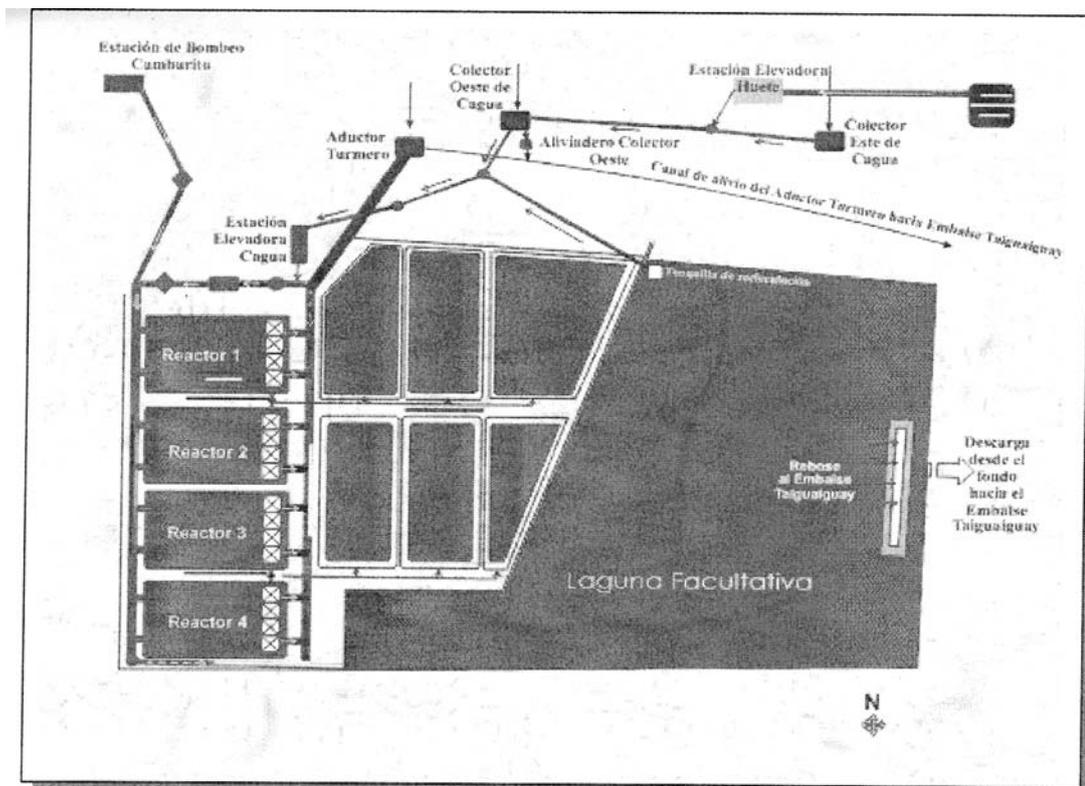


Figura 7: Esquema general de la PTAR-Taiguaguay

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En el capítulo que se presenta, se hace referencia directa a los pasos cumplidos durante la fase de estudio, lo cual permitió dar cumplimiento al objetivo orientado a desarrollar una propuesta de mejoramiento para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Taiguaiguay con la finalidad de proporcionar a la Empresa Hidrológica una alternativa para operar la planta adecuadamente.

La metodología constituye la base organizativa de la investigación, razón por la cual se incluyen en esta sección, el nivel de la investigación, diseño de la investigación, las unidades de investigación seleccionadas, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, las técnicas de análisis de los resultados y el procedimiento.

#### **4.1. Nivel de investigación**

La investigación que se abordó alcanzó un nivel exploratorio, por tanto, se logra la descripción o caracterización del evento de estudio dentro de un contexto particular, tal como lo reporta Hurtado (1998). En este caso, se diagnosticó el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Taiguaiguay, a partir del cual se formuló una propuesta de mejoramiento del proceso de tratamiento. Este nivel investigativo, según afirma Namakforoosh (2001), permite saber qué, dónde, cuándo, cómo y por qué del objeto o sujeto de estudio.

## **4.2. Diseño de la investigación**

Según el objetivo que se persigue, la investigación se ajusta a un estudio de campo de carácter proyectiva. Al respecto Arias (1999), acota que la investigación de campo permite "la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna".

Su carácter proyectivo, consiste en la elaboración de una propuesta, conducente a resolver un problema o necesidad de tipo práctico, tal como lo destaca Hurtado (1998). Por tanto, se ocupa de cómo deberían ser las cosas, para alcanzar unos fines y funcionar adecuadamente.

## **4.3. Unidades de estudio**

Para desarrollar el estudio se definió un plan de muestreo, ajustados a las características de cada lugar seleccionado: entrada a la planta, reactor anaerobio y salida de la planta.

**En la entrada a la planta.** Allí concurren las aguas provenientes de las estaciones de bombeo Camburito, Huete, Canal Aductor Turmero-Aragua y la estación Elevadora de Cagua. La recolección de muestras en este punto permitió diagnosticar el caudal de entrada a la planta, así como determinar las características físicas y químicas del afluente, lo cual favoreció la evaluación del comportamiento de cada uno de los parámetros involucrados, así como el desempeño y la eficiencia de los procesos de tratamientos de la planta.

**-En el Reactor anaerobio:** se tomaron las muestras a la salida del reactor. A partir de éstas se valoró el comportamiento y las condiciones de operación de este importante componente del sistema de Taiguaguay.

**-A la salida de la planta:** las muestras se recolectaron sobre el rebosadero de la laguna, en donde se produce la descarga del efluente, permitiendo evaluar su calidad y compararlo con las especificaciones establecidas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia. lo cual a su vez permitió inferir sobre la eficiencia de remoción del sistema.

#### **4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para recabar la información se utilizaron dos técnicas: la observación y la toma de muestras.

En el primer caso, los responsables de la investigación realizaron un recorrido por el área donde se encuentra ubicada la planta de tratamiento de Taiguaguay, lo cual a su vez les permitió identificar los lugares en los cuales se colectaron las muestras.

En el segundo caso, se elaboró un programa de monitoreo que comprendió 6 muestreos cada 8 días, durante dos meses aproximadamente, obteniéndose un total aproximado de 150 muestras en todo el proceso. Para ello se apoyó con la ficha técnica u hoja de trabajo en la cual reportan los resultados los técnicos de la empresa que realizan las labores de monitoreo del agua de la planta. (Ver Anexo A).

Los parámetros sobre los cuales se evaluaron las muestras, se ajustan a lo establecido en el Decreto 3219, referido a las “**Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las Aguas del Lago de Valencia**”, allí se reflejan los valores máximos permitidos para el agua de riego.

#### **4.5. Técnicas de análisis de los datos**

La información recabada se organizó según los objetivos fijados en la investigación. Se distinguen dos aspectos. La observación general permitió conocer el área de estudio.

Posteriormente, se procedió a procesar las muestras según los objetivos fijados, tal como se describe a continuación.

##### **a) Diagnóstico de las variables de entrada y salida en los puntos.**

Se midieron los caudales en los puntos descritos, utilizando los medidores de caudal que se encuentran en los módulos de servicio de la planta, en un lapso de dos horas. Este procedimiento se efectuó durante un día completo, es decir 24 horas.

##### **b) Caracterización de los afluentes y efluentes.**

La caracterización de los efluentes y afluentes se realizó bajo el procedimiento establecido por el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1985)*. Es de destacar que para ello se contó con el apoyo del personal técnico de la planta.

Cada parámetro tiene un método y un código definido, tal como se muestra a continuación en la tabla 3:

**Tabla 3: Parámetros considerados para el análisis**

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Código</b>
pH	Electrométrico	4500-H*B
Demanda bioquímica de oxígeno DBO <sub>(5,20)</sub> (mg/L)	Diluciones	5210
Demanda química de oxígeno DQO (mg/L)	Reflujo Abierto	5220-D
Nitrógeno total kjeldahl, Ntotal (mg/L)	Macro Kjeldahl	4500-N
Fósforo total, Ptotal (mg/L)	Acido Ascórbico	4500 P-D
Aceites y grasas vegetales y animales, A/G(mg/L)	Partición- Gravimétrico	5520-B
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico	2540-D
Sólidos flotantes	Gravimétrico	2540
Sólidos sedimentables (ml/L)	Gravimétrico	2540-F

Los parámetros considerados se compararon utilizando el promedio y la desviación estándar, las cuales permiten inferir sobre la eficiencia del sistema para la depuración de los efluentes, antes de su descarga en el Embalse de Taiguaiguay. Es destacable mencionar que la composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas, en la cuales se incluyen como las más comunes: pH, el contenido de sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), y la demanda química de oxígeno (DQO).

#### **4.6. Procedimiento de la investigación.**

La investigación comprendió tres fases según los objetivos definidos.

**Fase documental.** Esta permitió caracterizar las variables del estudio de manera amplia y exhaustiva, revisando los diferentes autores y material recopilado, lo cual propició las bases conceptuales de la investigación. Se profundizó en los conocimientos relacionados con las aguas residuales, características de las aguas residuales domésticas, constituyentes, materia orgánica, proceso de biodegradación, tipos de tratamientos de aguas, agua para riego, análisis del agua para riego, entre otros.

**Fase de campo.** Comprendió el levantamiento de información en el área. La definición de los puntos de muestreo y la toma de muestras, la cual comprendió un lapso aproximado de dos meses.

**Fase analítica.** Después de la toma de muestras fue necesario organizar la información, elaborar cuadros y procesar adecuadamente los datos atendiendo a los objetivos fijados. A partir de allí se diagnosticó el proceso, en cuanto a las variables de entrada y salida, se caracterizaron los efluentes y afluentes según las especificaciones del *Standard Methods*, apoyados en la estadística descriptiva y se definieron las posibles alternativas para la optimización del sistema.

En la tabla 4, se presenta el desarrollo sistemático de la investigación, en la cual se describen los objetivos, las herramientas metodológicas y las actividades cumplidas para llevar adelante la investigación.

#### **4.7. Desarrollo sistemático de la investigación**

**1. Realizar un diagnóstico del proceso para definir, variables de entrada y salida en los puntos críticos del mismo, con la finalidad de conocer el estado del proceso de la planta de tratamiento.**

##### **Actividades**

Por medio de revisión de tablas existentes y la consulta con el personal especializado se logra conocer los parámetros históricos de entrada y salida. se investigo los parámetros de entrada y salida la cual esta permitió caracterizar las variables del estudio de manera amplia y exhaustiva, revisando los diferentes autores y material recopilado, luego se midieron los caudales en los puntos descritos, utilizando los medidores de caudal que se encuentran en los módulos de servicio de la planta, en un lapso de dos horas. Este procedimiento se efectuó durante un día completo, es decir 24 horas, finalmente se profundizó los conocimientos relacionados con las aguas residuales, características de las aguas residuales domésticas, constituyentes, materia orgánica, proceso de biodegradación, tipos de tratamientos de aguas, agua para riego, análisis del agua para riego, para así poder definir a partir de la data actual parámetros que nos permitan saber el tipo de agua que entra y sale de la planta.

**2. Caracterizar efluentes y afluentes presentes para verificar los parámetros establecidos por el ministerio del poder popular para el ambiente, con la finalidad de verificar y establecer criterios.**

##### **Actividades**

Mediante revisión bibliográfica, se definieron los parámetros históricos de entrada y salida de las aguas servidas a la planta, revisión de los modelos

matemáticos que determinen las propiedades de las aguas servidas y tratadas durante el proceso de purificación del agua, a través los laboratorios de la empresa, se realizaron análisis físico-químicos sobre muestras compuestas.

**3. Definir las unidades de tratamiento adecuadas para el condicionamiento de las aguas residuales, con la finalidad de que el proceso tenga una elevada eficiencia.**

### **Actividades**

Mediante un recorrido por la planta se identifican las unidades de tratamiento actuales, luego se realizó un análisis del proceso tomando en cuenta los análisis de las aguas servidas de entrada, se proponen nuevos equipos de tratamiento de agua para que cumplan con la normativa del ministerio del ambiente.

El estudio orientó su tercer objetivo hacia la definición y revisión de las unidades de Tratamiento para el acondicionamiento de las aguas residuales. Atendiendo a ello se realizó una estimación de la remoción y eficiencia a nivel del reactor así como a la salida de la planta cuyas fluidos provienen de la laguna facultativa, es decir la eficiencia en el tratamiento primario y en el tratamiento secundario respectivamente.

**4. Realizar una reingeniería conceptual y básica de los equipos seleccionados para generar alternativas de mejoramiento del tratamiento de aguas residuales.**

**Actividades:**

A través de hallazgos experimentales se estudia la reingeniería que se va a aplicar al proceso con el fin de que la planta este entre los parámetros establecidos por los organismos correspondientes.

Definir la función de los equipos seleccionados, luego analizar el comportamiento de los equipos seleccionados en distintas circunstancias ambientales para las diferentes estaciones del año, para luego definir la posición de los equipos en el proceso para el logro de la reingeniería del proceso.

**5. Seleccionar técnicamente la alternativa más favorable al tratamiento, con la finalidad de mejorar parámetros de salida del agua tratada.**

**Actividades:**

Atendiendo a la exigencia del objetivo orientado a seleccionar la alternativa más favorable al tratamiento, que permita mejorar los parámetros de salida, se desprende la necesidad de definir un plan de mantenimiento efectivo que garantice la operatividad de los equipos, limpieza de las diferentes áreas y preparación y protección del personal se realizaron tormentas de ideas para determinar causas y efectos de Pareto, luego se define ponderaciones de los aspectos resaltantes de las alternativas. Dentro de este plan de mantenimiento efectivo debe redimensionarse la frecuencia de cada actividad dentro de un plan de control, para que los operarios de la planta puedan

ejecutarlo asignando ponderaciones de la matriz de decisión tomando en cuenta los criterios de la empresa.

**6. Proponer plan de control para los operarios de la planta, que cumple con la propuesta seleccionada, para monitorear el proceso y verificar que el mismo sea efectivo.**

**Actividades:**

Para el desarrollo del plan de control de parámetros, se desarrollaran tablas para las cuales incluyen parámetros de las variables, tipos de tratamiento y cálculos manuales.

En este plan de control se llevo a cabo una ficha técnica para cada parte del sistema, distinguiendo los datos eléctricos y los datos mecánicos, dejando además la información disponible para que pueda ser procesada adecuadamente luego se desarrollo un plan para el control de parámetros que incluye los análisis de laboratorio y cálculos manuales y finalmente se realizo un instrumento de trabajo (plan de control) que permita mantener las variables en rangos permisibles.

**7. Realizar un estudio de costo beneficio con la finalidad de evaluar la implementación de la alternativa seleccionada utilizando los equipos existentes.**

**Actividades:**

Para este análisis se toman en cuenta los equipos a implementar, funcionamiento actual y por último el resultado de los análisis, pudiendo de esta manera comparar análisis estadísticos para obtener resultados

confiables. Identificamos la posición y funcionamiento actual de los equipos existentes y luego analizamos los parámetros de entrada y salida de las aguas en la posición inicial de los equipos que conforman el proceso.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En esta sección se presenta el análisis y discusión de los resultados, atendiendo a las exigencias de los objetivos.

#### **5.1. Diagnóstico del proceso de la PTAR-Taiguaguay**

La Planta de Tratamiento de aguas residuales Taiguaguay se encuentra operativa desde mayo del 2001. El afluente de la planta proviene de las estaciones de Bombeo de Camburito y Huete, del Canal Aductor Turmero-Aragua y de la Estación Elevadora Cagua. Este volumen se envía a la planta en el momento en que se alcanza el nivel mínimo necesario para efectuar el proceso de bombeo.

Es de destacar que la estación de bombeo Huete, ejecuta su función aproximadamente cada tres horas, que es cuando alcanza su nivel, debido a la baja actividad de la zona. Las mediciones de los caudales de entrada a la planta se registran a continuación en la tabla 4.

Se perciben variaciones en los caudales de entrada, lo cual se asocia directamente con la actividad diaria de la zona, en algunos registros los caudales se mantienen bajos, mientras que se observan eventos en los cuales sobrepasan los 2000 L/s, lo cual puede estar influenciado por períodos lluviosos que producen a su vez incrementos en el caudal de entrada a la planta.

**Tabla 4: Mediciones de los caudales de entrada a la planta**

	<b>Muestreos (L/s)</b>					
<b>Hora</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
09:30 am	1750	1650	1500	1150	750	800
11:30 am	1950	1600	1650	1200	700	700
01:30 pm	2150	1600	1650	1000	650	750
03:30 pm	2150	2000	1800	1050	650	800
05:30 pm	1750	1950	2000	850	750	750
07:30 pm	1850	1800	1900	900	650	650
09:30 pm	2000	1650	1650	850	600	750
11:30 pm	1600	1150	1800	1200	650	800
01:30 am	2500	1300	1900	800	700	650
03:30 am	2000	1450	1850	650	750	750
05:30 am	2300	1200	1700	1050	700	850
07:30 am	2800	1250	1600	650	750	850
<b>Q<sub>promedio</sub> (L/s)</b>	<b>2066</b>	<b>1550</b>	<b>1750</b>	<b>946</b>	<b>692</b>	<b>758</b>
<b>D.M.</b>	<b>261</b>	<b>233</b>	<b>125</b>	<b>163</b>	<b>43</b>	<b>51</b>

Según los registros históricos de la planta, el caudal estimado promedio de entrada se ubica en 1500 L/s. Sin embargo, se desprende de los muestreos realizados algunos valores promedios de caudal que superan este registro. Se destacan los valores del muestreo 1, cuyo promedio se ubicó en 2066 L/s, mientras que el valor mínimo se registró en 758 L/s y correspondió al muestreo 6.

El abastecimiento de agua potable a las ciudades de Maracay, Santa Cruz, Palo Negro y Cagua, se realiza por el sistema regional del centro, y está bajo la responsabilidad de hidrocentro, la cual suministra

aproximadamente 1400L/s, para una población estimada de 500 mil habitantes, lo que representa unos 250 L/hab/día.

Bajo las estimaciones anteriores y atendiendo a lo establecido por Cubillos (2000), existe un porcentaje de retorno aproximado del 70 por ciento, INOS reporta 80 por ciento, del agua que es utilizada por la población; por tanto, el caudal de retorno en la planta se ubica en 1013 L/s.

Atendiendo a la exigencia del objetivo en cuanto al diagnóstico de los caudales promedio y el caudal de retorno a la PTAR-Taiguaiguay se refleja en la tabla 5, a continuación.

**Tabla 5: Caudales promedio y de retorno de la planta de tratamiento**

<b>Muestreo</b>	<b>Caudales promedio (L/s)</b>	<b>Caudal de retorno (L/s)</b>
1	2066	1013
2	1550	
3	1750	
4	946	
5	1277	
6	758	

Se percibe de la tabla anterior, diferencia en los caudales obtenidos en las mediciones realizadas a la entrada de la planta con respecto al caudal de retorno. Esta diferencia sin duda está relacionada con el supuesto para la estimación para el retorno, en el cual sólo se consideran las descargas domésticas, mientras que en los valores reportados para los caudales de entrada a la planta existe una mezcla de los sectores doméstico e industrial,

a lo cual se le adiciona los eventos de lluvia que pueden ocasionar variaciones e incremento en los caudales de entrada.

## **5.2. Caracterización de los efluentes y afluentes para verificación de parámetros**

Atendiendo a la exigencia del segundo objetivo, en el cual se buscó caracterizar los afluentes y afluentes presentes tomando en consideración las especificaciones establecidas en el decreto 3219, en el cual se establecen las normas para la clasificación de la calidad de las aguas y vertidos líquidos en la cuenca del lago de Valencia, emanado del ministerio del poder popular para el ambiente (1995).

Para ellos se realizaron análisis físico-químicos sobre muestras compuestas. Los datos se presentan de acuerdo con los puntos seleccionados para el muestreo: entrada de la planta, los parámetros evaluados en el reactor y los valores de cada parámetro a la salida de la planta.

Es importante resaltar que los valores de las características físicas, químicas y biológicas de un cuerpo, permiten a la empresa responsable de la operación y mantenimiento, inferir sobre el rendimiento y eficiencia de un determinado sistema, facilitando además evaluar el diseño existente y las posibles alternativas en cada caso, para garantizar la eficiencia del sistema.

### **Entrada a la planta:**

En la tabla 6, se presentan los valores correspondientes para los parámetros que se evalúan dentro de la dinámica de la PTAR-Taiguaiquay.

Se desprende de ellos variaciones en cada medición, lo cual se puede asociar con las condiciones ambientales bajo las cuales se hizo la captación de la muestra. En algunos casos, se produjeron eventos de lluvia, que ejercen una acción diluyente sobre la concentración de la muestra, particularmente en la demanda bioquímica de oxígeno.

**Tabla 6. Valores de los parámetros a la entrada de la planta**

Parámetros	MUESTREOS							
	1	2	3	4	5	6	Prom.	D.M.
pH, adim	7,10	7,00	6,90	7,00	7,00	7,00	<b>7,00</b>	0,03
DBO <sub>5,20</sub>	133,0	85,0	120,0	95,0	125,0	135,0	<b>116</b>	17
DQO (mg/L)	250,0	406,0	280,0	230,0	250,0	270,0	<b>281</b>	42
Ntotal (mg/L)	20,3	24,8	16,2	27,8	18,2	21,2	<b>21</b>	3
Ptotal (mg/L)	6,7	6,5	6,8	6,7	6,6	5,4	<b>6</b>	0,4
Aceite/grasas (mg/L)	30,0	22,0	28,0	29,0	27,0	19,0	<b>26</b>	4
Sólidos Suspendidos (mg/L)	151,0	214,0	184,0	298,0	216,0	153,0	<b>203</b>	40
Sólidos sedimentables	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1	

Los datos anteriores muestran una carga orgánica que puede considerarse de débil a media en el efluente que entra a la planta, teniendo los valores de nitrógeno y fósforo ligeramente alto con respecto a límites permisibles, establecidos para la calidad de agua de esta zona.

### Reactor anaerobio:

Los análisis correspondientes de los parámetros calculados a las muestras de agua extraídas del reactor anaerobio 2, se reflejan en la tabla 7.

**Tabla 7: Valores de los parámetros en el reactor anaerobio**

Parámetros	MUESTREOS							
	1	2	3	4	5	6	Prom.	D.M.
pH, adim	7,00	7,00	6,90	7,00	6,90	7,00	<b>7,00</b>	0,04
DBO <sub>5,20</sub>	121,0	90,0	113,0	93,0	115,0	127,0	<b>110</b>	12
DQO (mg/L)	140,0	320,0	180,0	222,0	187,0	190,0	<b>207</b>	43
Ntotal (mg/L)	17,9	24,4	24,2	20,2	18,2	22,2	<b>21</b>	2
Ptotal (mg/L)	5,5	8,3	7,0	6,5	5,8	8,0	<b>7</b>	1
Aceite/grasas (mg/L)	16,0	10,0	6,0	3,0	11,0	47,0	<b>16</b>	11
Sólidos Suspendidos (mg/L)	126,0	168,0	91,0	98,0	178,0	108,0	<b>128</b>	20
Sólidos sedimentables	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1	

Los valores que registra este muestreo son ligeramente menores a los registrados en el punto de muestra de la entrada a la planta.

### Salida de la planta:

La planta de tratamiento de Taiguaigay, muestra a la salida, en su descarga hacia el embalse, valores menores con respecto a los estimados a la entrada del efluente. Sin embargo, algunos parámetros como la cantidad

de nitrógeno, fósforo y los sólidos suspendidos, exceden lo establecido en la norma.

En la tabla 8, se presentan los valores reportados en cada muestreo realizado.

**Tabla 8. Valores de los parámetros a la salida de la planta**

Parámetros	MUESTREOS							
	1	2	3	4	5	6	Prom.	D.M.
pH, adim	7,4	8,3	7,8	7,6	7,6	7,8	<b>8,0</b>	0,2
DBO <sub>5,20</sub>	29,	54	40	58	47	40	<b>45</b>	8
DQO (mg/L)	171	180	157	182	158	172	<b>170</b>	8
Ntotal (mg/L)	13,3	10	7,8	13,2	16	7,4	<b>11</b>	3
Ptotal (mg/L)	5,7	4	6	6,2	6,5	5,9	<b>6</b>	1
Aceite/grasas (mg/L)	4	6	16	11	6	19	<b>10</b>	5
Sólidos Suspendidos (mg/L)	100	155	122	116	122	154	<b>129</b>	18
Sólidos sedimentables	>1	>1	>1	>1	>1	>1	>1	

Se refleja en la tabla anterior, que los valores reportados para los parámetros DBO y DQO, son inferiores a los reportados a la entrada del efluente, lo cual indica que el sistema contribuye a la eliminación de gran parte de la carga orgánica que se le incorpora a los cuerpos de aguas que alimentan esta planta de tratamiento.

Sin embargo, al hacer la comparación de los valores promedios obtenidos en el muestreo, los sólidos suspendidos, los sólidos sedimentables así como los niveles de nitrógeno y de fósforo, presentan valores fuera de los límites máximos permitidos. Tal como se evidencia en la tabla 9, que se presenta a continuación.

**Tabla 9: Comparación de valores con los máximos permitidos para cuerpos de agua**

<b>Parámetros</b>	<b>Límite Máximo permisible (Decreto 3219)</b>	<b>Entrada planta</b>	<b>Reactor anaerobio</b>	<b>Salida planta</b>
pH, adim	<b>6-9</b>	7,00	7,00	8,0
DBO <sub>5,20</sub>	<b>60</b>	116	110	45
DQO (mg/L)	<b>350</b>	281	207	170
Ntotal (mg/L)	<b>10</b>	21	21	11
Ptotal (mg/L)	<b>1</b>	6	7	6
Aceite/grasas (mg/L)	<b>20</b>	26	16	10
Sólidos Suspendidos (mg/L)	<b>80</b>	203	128	129
Sólidos sedimentables	<b>&lt;1</b>	>1	>1	>1

En relación con la caracterización de los afluentes y efluentes presentes en el sistema de Taiguaguay, se percibe que los valores de entrada a la planta y los valores reportados por el reactor son similares, por tanto, puede inferirse que existe una debilidad en el funcionamiento de los reactores, es decir, en el tratamiento primario.

Desde la perspectiva que marcan los datos anteriores, puede afirmarse que los reactores que funcionan como lagunas anaerobias, fueron

diseñados para lograr el máximo período de retención de sólidos y contactos entre el lodo retenido y el caudal de entrada, permitiendo mayor eficiencia en la remoción de DBO y la digestión de sólidos.

Otro factor importante de considerar dentro de la dinámica de esta planta de tratamiento, es el tipo de suelo y la biomasa del lugar, lo cual alimenta los reactores y pueden generar material excedente, algunas veces como espuma excesiva que lleva material sólido suspendido, la cual debe ser extraída para que funcione adecuadamente.

Las alteraciones en la cantidad de material así como la falta de mantenimiento en las áreas correspondientes, interfiere en la actividad de retención.

En un cuerpo de agua, es particularmente importante revisar la carga orgánica así como la cantidad de fósforo y nitrógeno, dados sus efectos sobre el crecimiento de plantas que podrían interferir sobre la disponibilidad del líquido para otros fines.

Este proceso conocido como eutrofización, no es más que el enriquecimiento con nutrientes, el cual cuando es excesivo interfiere en el desempeño del cuerpo de agua. Sin embargo, en el caso de Taiguaiguay, la cantidad de estos elementos puede ser aprovechados para beneficios como nutrientes cuando las aguas son utilizadas para riego.

Duffus (1993), señala al respecto que la descarga de nutrientes en las aguas domésticas, las aguas residuales industriales y las escorrentías procedentes de tierras agrícolas con abundancia en fertilizantes pueden generar el crecimiento de ciertas especies de manera anormal.

Dentro de la observación realizada, se percibió un color verde oscuro del agua en la planta, en los reactores, en la laguna facultativa y en el embalse, lo cual sin duda, está asociado con este proceso de eutrofización, se ha incrementado el crecimiento ciertas especies vegetales en la mayoría de los casos, algas y otras especies flotantes como la bora y el repollito, y especies ancladas como las juncáceas.

En el caso de la bora, su crecimiento ha llegado a convertirse en un problema dentro de la laguna facultativa, por lo cual debe ejecutarse actividades de extracción mecánica, para que no interfieran con los aliviaderos.

### **5.3. Definición de las unidades de tratamiento para el acondicionamiento de las aguas residuales.**

El estudio orientó su tercer objetivo hacia la definición y revisión de las unidades de tratamiento para el acondicionamiento de las aguas residuales. Atendiendo a ello se realizó una estimación de la remoción y eficiencia a nivel del reactor así como a la salida de la planta cuyas fluidos provienen de la laguna facultativa, es decir la eficiencia en el tratamiento primario y en el tratamiento secundario respectivamente.

#### **Tratamiento primario:**

Uno de los aspectos fundamentales dentro del funcionamiento de la planta de tratamiento, está referido a los tratamientos que se realizan dentro del sistema.

Para la evaluación del tratamiento primario, se consideraron los valores reportados para la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_{5,20}$ ) y la demanda química de oxígeno (DQO), tanto en el reactor como a la salida de la planta, valorándose la remoción de material en cada caso. (Ver tabla 10).

La  $(\text{DBO}_{5,20})$ , referida a la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un período de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20°C.

**Tabla 10: Comportamiento DBO en el reactor**

Muestreo	DBO		Eficiencia remoción (%)
	Entrada planta	Reactor anaerobio	
1	133	121	9
2	85	90	-
3	120	113	5,8
4	95	93	2,1
5	125	115	8
6	135	127	5,9
<b>Promedio</b>	<b>115,5</b>	<b>109,8</b>	<b>5,1</b>

Para el caso de este parámetro, se observa una baja tendencia en la remoción de materia orgánica, y en algunos casos no presenta ninguna remoción.

En cuanto al parámetro DQO (demanda química de oxígeno), es decir, la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia en una solución ácida y transformarla en dióxido de carbono y agua. Los valores que registra este parámetro, siempre son superiores a la DBO. (Ver tabla 11).

**Tabla 11: Comportamiento DQO en reactor**

<b>Muestreo</b>	<b>DQO</b>		<b>Eficiencia remoción (%)</b>
	<b>Entrada planta</b>	<b>Reactor anaerobio</b>	
<b>1</b>	250	140	44
<b>2</b>	406	320	21,2
<b>3</b>	280	180	35,7
<b>4</b>	230	222	3,5
<b>5</b>	250	187	25,2
<b>6</b>	270	190	29,6
<b>Promedio</b>	<b>281</b>	<b>206,5</b>	<b>26,5</b>

El tratamiento primario está basado en la descomposición o reducción de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno. Es importante señalar que los eventos de lluvia así como las condiciones de operatividad del reactor, inciden sobre el tiempo de remoción puesto que pueden ejercer una acción diluyente de la concentración del agua.

#### **Tratamiento secundario.**

La eficiencia del sistema se valoró a través de los valores de demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) a la salida de la planta; es decir, después que el efluente ha pasado su tiempo de residencia en la laguna facultativa, permitiendo los 25 días para efectuar la remoción.

Con respecto a los valores reportados para la DBO, se presentan a continuación en la tabla 12.

**. Tabla 12: Comportamiento DBO a la salida de la planta**

Muestreo	DBO		Eficiencia remoción (%)
	Entrada planta	Salida de planta	
1	133	29	78,2
2	85	54	36,5
3	120	40	66,7
4	95	58	38,9
5	125	47	62,4
6	135	40	70,4
<b>Promedio</b>	115	44,7	58,9

Se desprende de la tabla anterior que la descarga a la salida de la planta presenta niveles más altos de remoción, al compararlos con los valores reportados para la actividad del reactor. El promedio se ubicó en 58,9% de remoción, lo cual indica que el comportamiento de la planta en cuanto a la remoción de materia orgánica, es más eficiente.

En cuanto a la demanda química de oxígeno, el porcentaje de remoción muestra valores superiores, aún cuando no alcanza los porcentajes que reporta la bibliografía y que establece un valor entre 50-70%, cuando un sistema está funcionando a máxima eficiencia.

Los valores en calculados en cada uno de los muestreos se reflejan en la tabla 13, que se presenta a continuación.

**Tabla 13: Comportamiento DQO salida planta**

Muestreo	DQO		Eficiencia remoción (%)
	Entrada planta	Salida planta	
<b>1</b>	250	171	31,6
<b>2</b>	406	180	55,7
<b>3</b>	280	157	43,9
<b>4</b>	230	182	20,9
<b>5</b>	250	158	36,8
<b>6</b>	270	172	36,3
<b>Promedio</b>	<b>281</b>	<b>170</b>	<b>39,5</b>

El comportamiento de las unidades de tratamiento: reactor (tratamiento primario), laguna facultativa (tratamiento secundario), muestran diferencias.

El tratamiento primario presenta menores porcentajes de remoción, con respecto a la actividad que registran las bacterias y los microorganismos en la laguna facultativa.

Para visualizar las diferencias en cuanto a la eficiencia de remoción de la carga orgánica, reflejadas en los valores de DBO y DQO, se tienen los figuras 8 y 9, a continuación.

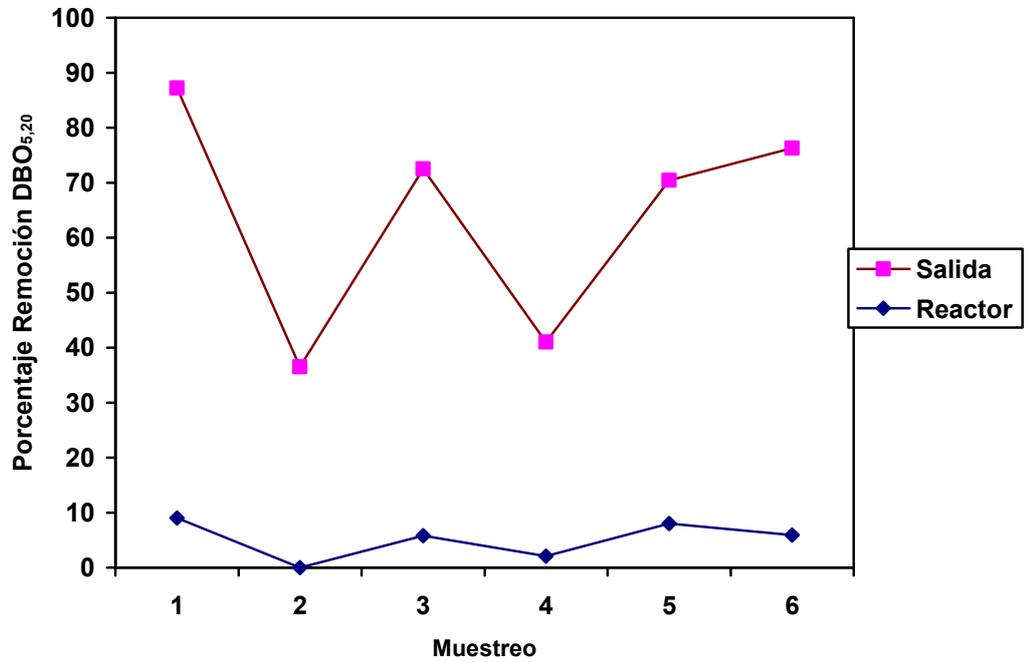


Figura 8 : Comparación DBO, eficiencia remoción reactor-salida de planta

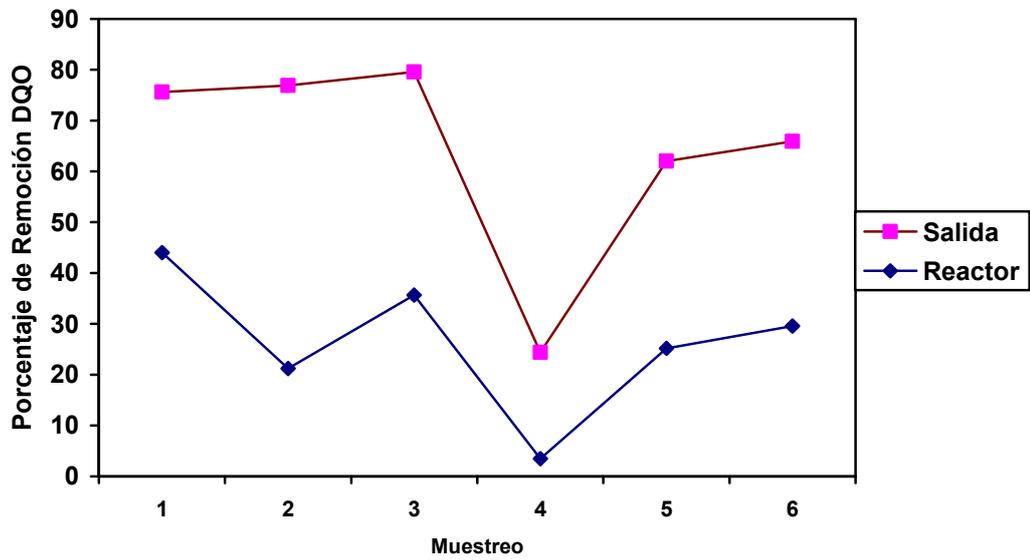


Figura 9: Comparación DQO, eficiencia remoción reactor-salida de planta

Se desprende de los gráficos anteriores, que el efluente a la salida de la planta mantiene una disminución de la DBO y la DQO, mayor con respecto a la remoción que se produce en el reactor. Esta tendencia permite inferir que el tratamiento secundario a nivel de la laguna facultativa, está ejerciendo una actividad más eficiente.

Desde la tendencia que muestran los valores reportados para los valores de DBO y DQO, tanto a nivel del tratamiento primario, como del tratamiento secundario, y atendiendo a la exigencia del objetivo, puede afirmarse que las unidades de tratamiento actuales, aún cuando presentan ciertas deficiencias, mantienen un nivel de acondicionamiento en relación con la remoción de la carga orgánica e inorgánica.

#### **5.4. Reingeniería de los equipos y el mejoramiento de la planta**

La PTAR-Taiguaiguay, presenta un diseño y distribución de sus unidades operativas acorde con la función que debe cumplir, o tratamiento a nivel secundario de las aguas residuales de varios sectores del estado Aragua.

Cada una de las etapas que conforman el proceso de tratamiento y las áreas que pertenecen a la operación de la planta, están debidamente vinculadas entre sí. Por tanto, el mejoramiento de la planta no está sujeto a la incorporación de nuevos equipos sino a la optimización del funcionamiento a nivel de cada etapa del proceso.

La observación en cada caso, lleva a los investigadores a presentar los puntos de interés para el mejoramiento de la planta.

1) **Sistema de captación de las aguas entrantes a la PTAR-Taiguaiguay:** colector Cagua, canal de derivación, la estructura de derivación y la tubería de impulsión Maracay.

El embalse Taiguaiguay es un reservorio de llenado controlado, a partir de obras de derivación sobre los ríos Turmero y Aragua y canales aductores hasta el embalse.

El río Turmero, con un área aproximada de 450 Km<sup>2</sup>, posee una presa de tipo umbral fijo con vertedero de concreto, con una estructura desarenadora con dos compuertas que constituyen el canal aductor de trasvase Turmero-Aragua.

En el río Aragua, con un área de 337 Km<sup>2</sup>, posee también una presa de tipo umbral fijo, con vertedero de concreto y a la altura del desarenador posee una compuerta rectangular así como una toma hacia el canal aductor, dotada de tres compuertas radiales.

**Puntos de interés:**

-Sistema de compuertas, que permitirán el control de las aguas en los períodos de lluvia.

-Iluminación de las áreas

**Estación elevadora Cagua:** originalmente esta estación fue puesta en operación con tres tornillos. Sin embargo en la actualidad uno de los tornillos está fuera de servicio, ya que se encuentra en rehabilitación. Su funcionamiento es fundamental dado que cumplen una función de elevar las aguas del colector Cagua a los reactores biológicos.

**Puntos de interés:**

-Operatividad de los tornillos

**Desarenador:**

Opera de manera aceptable, sobre todo por la estructura de extracción de sólidos (cuchara de almeja)

**Puntos de interés:**

-Revisión de guayas

-Sistema de lubricación

**-Cámara de reja:**

La cámara de rejillas debe ser revisada periódicamente, para su limpieza. Su funcionamiento depende directamente del manejo del efluente.

**Puntos de interés:**

-Deben utilizarse los insumos de seguridad y protección personal para las personas que realizan la limpieza de esta cámara, los cuales son suministrados y están contemplados en los pliegos de contratación.

**-Medidores de caudal:** Las obras civiles y mecánicas correspondientes a la instalación de un tubo Venturi en la tubería de impulsión proveniente de Maracay, fueron terminadas, sin embargo sigue inoperativo en cuanto a la medición.

**Puntos de interés:**

-Instalación del equipo de medición

**-Reactores anaeróbicos:**

Su actividad es fundamental para la operatividad de la planta.

**Puntos de interés:**

- Mantener los reactores libres de vegetación acuática
- Mantenimiento de los taludes
- Operatividad de las Tolvas
- Operatividad del sistema de bombeo de Recirculación de Lodos y de Purga.

**-Estación de bombeo de lodos 1 y 2.**

Constan de dos fosas húmedas, que están conectadas a las tuberías de las tolvas de los reactores. Las fosas secas, se conectan con las válvulas de compuerta de cada tolva. Una cámara de rejillas (antes del pozo de bombas). Un pozo de bombas.

**Punto de interés:**

- Verificar rutina de operación
- Iluminación del área para evitar hurto de equipos.

**-Lecho de secado de lodos:**

Los lechos son totalmente. Seis áreas totalmente utilizables, así como las correspondientes válvulas de las compuertas a la entrada de cada lecho.

**Punto de interés:**

- Mantener libre de vegetación los taludes y el fondo de los lechos
- Incluir rutina para mantenimiento de válvula de descarga en los lechos.

**Laguna facultativa:**

La laguna tiene un área aproximada de 155 ha, de las cuales aproximadamente tres están cubiertas de de bora.

**Puntos de interés:**

- Remoción permanente de vegetación acuática de rápido crecimiento
- Eliminación de vegetación que se establece en los taludes

**Aliviaderos de la laguna facultativa.**

La laguna cuenta con tres aliviaderos, que descargan al embalse.

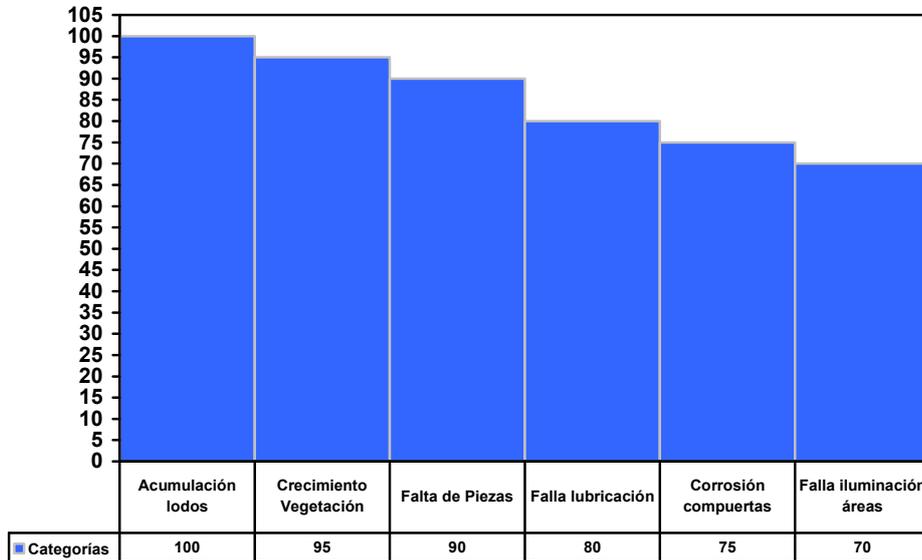
**Puntos de interés:**

-Mantenimiento y limpieza permanente para evitar acumulación de material flotante, rutina que se cumple semanalmente.

Los aspectos considerados en cada segmento del proceso, derivado de la observación durante la toma de muestras y el recorrido efectuado por la planta, lleva a los investigadores a señalar que la operatividad de la planta está sujeta a solventar los problemas que de alguna manera pueden interferir en su funcionamiento.

La acumulación de lodos residuales, el crecimiento excesivo de vegetación, la falta de inventario de equipos o repuestos básicos, el fallo de material lubricante, la corrosión y deterioro de compuertas, falta de iluminación de las áreas, entre otros, son factores que se perciben como causas de interferencia en el desempeño eficiente de la planta.

La derivación de estos factores, permitió la construcción de figura 10, en el cual se visualizan la relación entre ellos.



**Figura 10: Diagrama de Pareto**

Atendiendo a la exigencia del objetivo orientado a seleccionar la alternativa más favorable al tratamiento, que permita mejorar los parámetros de salida, se desprende la necesidad de definir un plan de mantenimiento efectivo que garantice la operatividad de los equipos, limpieza de las diferentes áreas, así como la preparación del personal.

Dentro de este plan de mantenimiento efectivo debe redimensionarse la frecuencia de cada actividad dentro de un plan de control, para que los operarios de la planta puedan ejecutarlo.

## **5.5 PROPUESTA**

Atendiendo a lo exigido en objetivo general orientado a desarrollar una propuesta de mejoramiento para la PTAR-Taiguaiguay, y derivando de la tendencia de los aspectos valorados en el diagnóstico, la tendencia de los parámetros en cada etapa del proceso, así como a la percepción de los investigadores producto de la observación general, se considera válido sustentar la propuesta de mejoramiento, en tres aspectos básicos que están afectando la actividad de este importante sistema: el Plan de mantenimiento que se lleva adelante en la planta, cumplimiento de los procedimientos de operación para garantizar la operatividad de los equipos que lo conforman y la Preparación del personal.

### **1. Plan de mantenimiento efectivo.**

Debido a las características de la zona donde se encuentra ubicada la planta, la gran extensión superficial, es fundamental redefinir los procedimientos de mantenimiento. Dentro de esta configuración debe tomar sitial preponderante el manejo de los lodos, que se acumulan no solo en las partes mecánicas del sistema, sino que hacen colapsar el sistema de reactores y la laguna facultativa por sus propiedades coloidales, que pueden interferir en la condición del cuerpo de agua. Las bombas de recirculación están operativas y se realiza la misma cada semana.

Asimismo, la fertilidad propia de los suelos del lugar, permite que la vegetación tenga un crecimiento rápido que va penetrando los espacios tanto del área de descargas del efluente, así como aquellas destinadas para la maniobra de los equipos, dificultando actividades comunes como desbaste, desmalezamiento, disposición de desechos sólidos y de material vegetal.

## **2. Cumplimiento de procedimientos de operación.**

La operatividad de los equipos está ligada al plan de mantenimiento considerado. En este momento la planta está en período de rehabilitación, y la empresa contratista ha tenido retrasos en la entrega de los trabajos. Las dificultades con los tornillos se deben a la pérdida de nivel de la estructura, falta un desbaste previo y en algunos casos, los troncos de árboles que caen producen obstrucciones.

Para ello es necesario que a nivel de gerencial se establezca nuevos esquemas en cuanto al cumplimiento de las normas de operación, la limpieza de las áreas, se incorporen rutinas de inspección, se redefina un esquema de seguridad para evitar los hurtos y, se proyecte la colocación de sistemas de protección material necesaria en aquellos equipos que pueden ser desvalijados.

## **3. Adiestramiento del personal.**

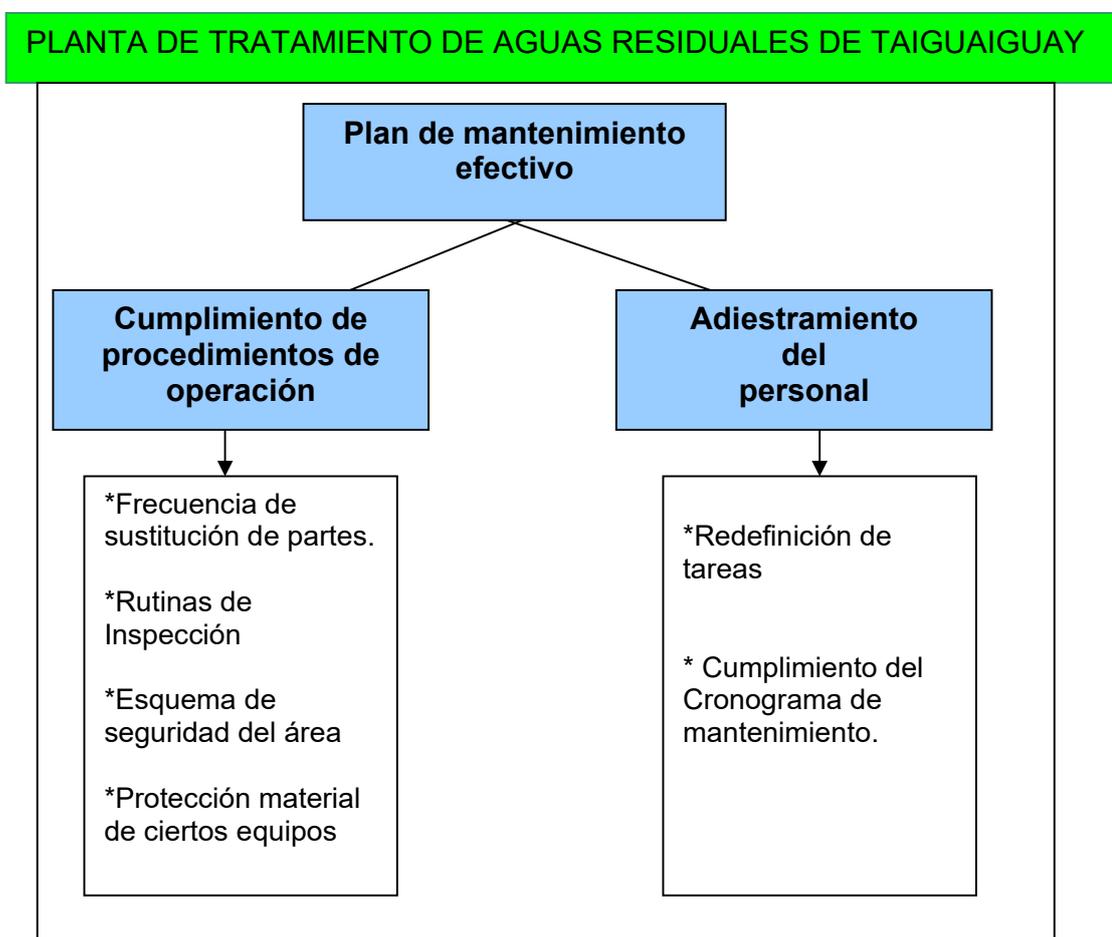
En una actividad como la que se adelanta en la planta de tratamiento de Taiguaiguay, todas las tareas deben estar debidamente sistematizadas y registradas, con un procedimiento definido, para evitar la discrecionalidad u omisión de acciones.

Debe supervisarse para que el personal utilice la protección requerida en las diferentes labores que realiza.

Para ciertas labores se requieren equipos motorizados, como vehículos, camión, lancha, tractor. En el caso del vehículo está disponible el

apoyo de Hidrocentro actualmente, los otros equipos aún no han sido suministrados.

En la figura 11, que se muestra a continuación de esquematiza los aspectos considerados dentro de la propuesta.



**Figura 11: Esquema general de la propuesta de mejoramiento de la PTAR-Taiguaguay**

## **5.6. Plan de control para monitorear el proceso de la planta**

Todo plan de mantenimiento debe ajustarse a un plan de control que debe ser conocido y manejado por los operadores y los responsables de la operatividad de la planta.

Para ello es necesario identificar las rutinas de inspección, las actividades a realizar y la frecuencia de éstas, tal como se muestra en la tabla 15, a continuación.

Para ello es necesario que lleve una ficha técnica para cada parte del sistema, distinguiendo los datos eléctricos y los datos mecánicos, dejando además la información disponible para que pueda ser procesada adecuadamente.

Este plan de control se establece en función de cinco rutinas, las relacionadas con las rejillas de desbaste, el desarenador, los estanques y fosas de succión, los módulos y la operación de la planta de tratamiento.

**Tabla 15: Plan de control para la PTAR-Taiguaiquay**

<b>Rutina</b>	<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Rejillas de desbaste</b>	1. Inspección y limpieza	Diaria
	2. Mantenimiento y pintura	Semestral
<b>Desarenador</b>	1. Limpieza de lodos	Semanal
	2. Revisión y mantenimiento general	Trimestral
	3. Pintura de las áreas	Anual
	4. Mantenimiento de compuertas	Semestral
	5. Recirculación y purga	Semanal
<b>Estanques y fosas de succión</b>	1. Limpieza general	Semestral
	2. Pintura exterior	Anual
	3. Limpieza de lodos	Bimensual
<b>Módulos</b>	1. Inspección visual estado equipos	Diaria
	2. Limpieza general	Semestral
	3. Mejoramiento pintura externa	Anual
	4. Revisión y mantenimiento de compuestas y válvulas	Trimestral
	5. Revisión y mantenimiento de canales de distribución	Mensual
<b>Operación</b>	1. Elaboración de informes de análisis físico-químicos	Mensual
	2. Captación de muestras	Diaria
	3. Informe de flujo, producción y parada de la planta	Diaria

### **5.7. Beneficios de la propuesta**

La propuesta que se presenta brinda una relación favorable en términos de la relación costo-beneficio. Por un lado, la ejecución de un mantenimiento planificado, con tareas definidas, deben ser parte de la rutina de operatividad de la planta, por tanto, las partidas deben estar asignadas.

En cuanto a los beneficios, la PTAR-Taiguaiguay, representa uno de los componentes importantes dentro del programa de saneamiento del lago de Valencia, por tanto, el tratamiento de las aguas que provienen de las zonas adyacentes, permitirá que éstas puedan ser utilizadas para el riego de los cultivos agrícolas, contribuyendo con ello a controlar los niveles del lago, que se han convertido en un problema en la zona.

## CONCLUSIONES

- ✓ El sistema muestra variación en los caudales de entrada por las precipitaciones y la falta de suministro de una de las estaciones de bombeo.
- ✓ Los afluentes muestran alta carga orgánica, acentuados en los valores de nitrógeno y fósforo.
- ✓ La mayor eficiencia de remoción de materia orgánica (DBO), se registró en la laguna facultativa, con un promedio de 58,9%.
- ✓ La mayor eficiencia de remoción de materia orgánica (DQO), se registró en la laguna facultativa, con un promedio de 39,5%.
- ✓ La laguna facultativa alcanza alta eficiencia en la estabilización de los constituyentes orgánicos, aprovechando procesos naturales: acción del sol, intercambio de oxígeno, generación de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, que activa vida bacteriana.
- ✓ PTAR-Taiguaiguay constituye parte importante del proyecto de saneamiento del lago de Valencia. Diseño de avanzada y cuenta con los equipos de procesar las aguas para que uso de riego agrícola.
- ✓ Los factores que afectan su actividad están relacionadas con el mantenimiento que se le realiza.
- ✓ La propuesta se apoya en tres aspectos: plan de mantenimiento, cumplimiento de los procedimientos de operación, preparación del personal.

## RECOMENDACIONES

En consideración a la problemática estudiada dentro de la PTAR-Taiguaiguay, se recomienda:

-Llevar a la práctica la propuesta que se sugiere, dado que permitirá desarrollar el plan de mantenimiento efectivo.

-Es fundamental que se proyecte un laboratorio para realizar los análisis dentro de la misma área, los cuales deben ser realizados diariamente.

-Presentar al personal un sistema de cursos intensivos, para que no se limiten cuando se realizan las funciones en cuanto a la remoción del material, en los espacios confinados.

-Es fundamental acentuar el trabajo de mantenimiento de la laguna facultativa, dado que allí las especies vegetales tienen un crecimiento desmesurado.

-Cuando se logre la máxima eficiencia del sistema, es fundamental expandir el sistema de riego de la zona.

-Es necesario la instalación de un tanque de igualación para manejar los caudales de entrada, sobre todo cuando se produzcan eventos de lluvia intensos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, E. (2007). **Evaluación de la calidad del agua tratada en la Planta de Taiguaiguay, con fines agrícolas.** Trabajo de Grado. Universidad Central de Venezuela.
- Alvarez, D., Contreras, S. y Poggi, H. (2006). **Análisis de la utilización de agua residual en cultivos.**
- Arias M, Hernan Alejandro (1999). **Desechos líquidos, tratamiento de aguas residuales y hongos.** en la Biblioteca Central del INIA A696e FORESTAL;
- Arthur, J.P. (1983). **Notes on the Design and Operation of Waste Stabilization Ponds on Warm.** Climates of Developing Countries. World Bank Technical Paper Nr 7.
- Ayers, R.; Wescot D.W. (1987). **La calidad del agua en la agricultura.** Estudio FAO, Riego y Drenaje, 29 (revisión 1). Roma, 174.
- Blanco, H. (2007). **Determinación de parámetros de diseño y operación de reactores anaerobios de flujo ascendente.** Trabajo de Grado. Universidad Central de Venezuela. (S/P)
- Chilton, P. Morris, B. y Foster, S. (1997). **Impacto del reuso de las aguas residuales sobre el agua subterránea en el valle del Mezquital, estado de Hidalgo, México.** Disponible: Disponible en: [www.bvsde.opsoms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/repindex/repindex066/recursos.html](http://www.bvsde.opsoms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/repindex/repindex066/recursos.html) [Revista en línea]. [Consulta: 2007, Marzo 18]
- Cubillos, A. (2000). **Reactores Anaeróbios para el tratamiento de Aguas residuales domiciliarias.** Editorial Rodeco. Mérida. Venezuela.

Decreto 3219. **Normas para la Clasificación de la calidad del agua y vertidos líquidos en la Cuenca del Lago de Valencia.** Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. 1995.

Duffus, J. (1993). **Toxicología Ambiental.** Barcelona: Editorial Omega

Gerard Kiely (2000), **Ingeniería Ambiental Editorial Mcgraw-Hill Edición.**

Hernández, J. (1996). **Evaluación de funcionamiento de la planta de tratamiento anaeróbica y aeróbica respecto a los niveles de nitrógeno y fósforo.** Trabajo de Grado. Universidad de Carabobo.

Hurtado, J. (1998). **Metodología de la investigación holística.** Instituto Universitario de Tecnología Caripito. Caracas: Fundación SYPAL.

Metcalf y Eddy. (1995). **Tratamiento, Evaluación y Reutilización de Agua Residual.** 3ra. Edición. Mc Graw Hill. Barcelona.

Namaforoosh, M. (2001). **Metodología de la investigación.** México: Limusa, Noriega Editores .(2da. Ed.)

Larson, W. E. and J. R. Gilley (1976). **Soil – climate – crop considerations for recycling organic wastes.** Transactions of the American Society of Agricultural, Vol. 19, N° 1, pp.85-88.

Ortíz, M., Gutiérrez, M., y Sánchez, E. (2007). **Propuesta de Manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México.** Disponible: [www.aquamarket.com](http://www.aquamarket.com). Consulta: Diciembre , 2007

Reynolds, K. (2007). **Tratamiento de Águas Residuales en Latinoamérica.** Disponible: [www.aquamarket.com](http://www.aquamarket.com). Consulta: Diciembre , 2007

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1985). 16<sup>th</sup>. Edition.

Urcola A Larrea, A Abad Alba (1998). **Tecnología del agua, Europa.sim. ucm.es.**

## ANEXO A

### FORMATO UTILIZADO

<b>Contratista</b>	<b>Contrato N°: GTCM-354-2007</b>	<b>Datos del Informe</b>	<b>Contratante</b>
	Operación, Mantenimiento y Control de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Maniposa y las E/B José Leonardo Chirinos en el Estado Carabobo	<b>Área de Aguas Residuales</b> Resultados promedios de Análisis realizados durante el mes de Noviembre del año 2007 en la P.T.A.R "Taiguaguay"	

**FICHA TECNICA DE RESULTADOS DURANTE EL MES DE NOVIEMBRE 2007 DE LA P.T.A.R TAIGUAGUAY**

<b>LUGAR DE CAPTACION:</b> Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Taiguaguay"	
<b>FECHA DE CAPTACION:</b> 14/11/07	<b>PUNTO DE CAPTACION:</b> Entrada, Salida de Reactores y Planta
<b>HORA DE CAPTACION:</b> 08:00am a 1:00pm	<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Compuesta

ANÁLISIS	MÉTODO	*MÁXIMO PERMISIBLE EN EL EFLUENTE	RESULTADOS				
			ENTRADA DE PLANTA	SALIDA Reactor # 1	SALIDA Reactor # 3	SALIDA Reactor # 4	SALIDA DE PLANTA
pH, adlm.	4500-H <sup>+</sup> B	6-9	7,1	7,0	7,0	6,9	7,4
Demanda Bioquímica de oxígeno, DBO (5,20) (mg/l)	5210-B	60	133	46	161	90	29
Demanda Química de oxígeno, DQO (mg/l)	5220-D	350	290	140	320	300	171
Nitrógeno Total Kjeldahl, Ntotal (mg/l)	4500-N	10	20,3	17,9	24,4	24,2	13,3
Fósforo Total, Ptotal (mg/l)	4500-P D	1	6,7	5,5	8,3	7,0	5,7
Aceite y Grasas Vegetales y Animales, A/G (mg/l)	5520-B	20	30	16	6	10	4
Turbiedad (NTU)	2130-B	N/R	E F/S	E F/S	E F/S	E F/S	E F/S
Sólidos Suspendidos (mg/l)	2540-D	80	151	56	78	71	100
Sólidos Flotantes	2540	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Sólidos Sedimentables (ml/l)	2540-F	<1	>1	>1	>1	>1	>1
Espuma	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente