

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR DE AGUAS RESIDUALES  
PROVENIENTES DE BARCELONA, UBICADO EN EL SECTOR MAURICA**

**Realizado por:**

Nathaly Alejandra Rivas Mongua  
María Teresa Tome Rodríguez

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito  
parcial para optar al título de

**INGENIERO QUÍMICO**

Puerto La Cruz, noviembre de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR DE LAS AGUAS  
RESIDUALES PROVENIENTES DE BARCELONA, UBICADO EN EL SECTOR  
MAURICA**

**ASESORA**

---

**Ing. Quím. Maritza Millán Silva, MSc.**

Puerto La Cruz, noviembre de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR DE LAS AGUAS  
RESIDUALES PROVENIENTES DE BARCELONA, UBICADO EN EL  
SECTOR MAURICA**

**JURADO**

---

**Ing. Quím. Maritza Millán Silva, MSc.**

Asesor académico

---

**Ing. Quím. Milena Amundaraín, MSc**

Jurado principal

---

**Ing. Quím. Yraima Salas, MSc**

Jurado principal

Puerto La Cruz, octubre de 2010

## **RESOLUCIÓN**

### ARTÍCULO 41

#### **REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO**

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”

## DEDICATORIA

*A Dios todopoderoso por estar a mi lado siempre y darme fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado.*

*A mis padres Alicia Mongua y Geraldo Rivas, por darme la vida y porque gracias a ustedes soy lo soy ahora, si he llegado lejos es porque ustedes siempre me han dado la mano y el piso para no caer y seguir adelante.*

*A mi hermanita Geraldine Rivas, por estar a mi lado siempre. Lo logramos hermanita ya somos profesionales.*

**A ustedes**  
**Mis eternas gracias**  
**Nathaly Rivas**

## DEDICATORIA

*A DIOS todo poderoso gran padre y rey que todo lo puede en todo momento con mucha fe, constancia y perseverancia.*

*A mis padres biológicos Ismelys Rodríguez a tu memoria madre se que me acompañas y proteges donde quieras que te encuentres en el cielo dándome tu bendición todos los días y Luís Tome por darme el regalo mas preciado la vida.*

*A mis tíos Odalys Rodríguez y Guillermo Rodríguez por ser mis padres de crianza durante todos los años de vida que tengo por creer en mí dándome todo su apoyo y confianza, yo sabia que no lo iba a defraudar.*

*A mi tía Carmen Rodríguez porque es para mi símbolo de fortaleza y constancia ayudándome a que me parara tantas veces del piso, a su hija Cinthia, prima me diste muchas palabras sabias de ánimo ante tantos tropiezos y errores encontrados en el camino.*

*A mi sobrino Gabriel Alejandro, porque todos los días me regala una sonrisa y llegue a ser un gran ser humano.*

*A mis abuelos y especial a mi abuela Eduviges Rodríguez que fue una gran mujer trabajadora llena de mucha paciencia y sonrisas se que desde el cielo me das todos los días tu bendición.*

*A toda mi familia y las personas que confiaron en mí.*

**CON TODO MI CORAZÓN**

**María Tome**

## AGRADECIMIENTOS

*Por fin, los agradecimientos. La primera pagina que leerá el lector, pero la ultima que he escrito. El trabajo esta hecho, y ya solo me queda dejar constancia de todo lo que debo a tanta gente.*

*Primeramente doy gracias a Dios todopoderoso por haberme dado la vida estar a mi lado siempre y permitirme ver hecho realidad este sueño tan anhelado. Gracias Diosito.*

*A ti mamita, que fuiste el motor que me impulso a estudiar y co gran esfuerzo durante mis noches de desvelo estuviste al pendiente de mi, brindadome tu apoyo y diciéndome las palabras de aliento cuando mas las necesitaba. Por la fortaleza que siempre mostraste y por ser mi ejemplo aseguir. Esto es par ti .Te amo mamita.*

*A ti papi, porque junto a mi madre formaste esta familia. Por ser mi ejemplo de firmeza y fortaleza ante la vida y aunque hoy no estas junto a mi, físicamente siempre estarás en mi corazón. Esto es para ti. Te amo y te extraño mucho.*

*A mi hermanita Geraldine Rivas, por estar siempre ahí y ayudarme cuando más te necesite. Te quiero mucho.*

*A todos mis hermanos por parte de Padre en especial a Sandra. Gracias.*

*A mis sobrinos queridos Alberto, Valentina y Pahola, por su cariño. Gracias los quiero muchísimo.*

*A la familia Mongua de la cual me siento orgullosa de pertenecer gracias por su apoyo y por ser como son. Los quiero mucho.*

*A mi asesora Maritza Milla Silva, quiero darle gracias por la confianza, paciencia y apoyo brindado en todo momento, por aquellas sugerencias acertadas que contribuyeron a darle forma a este proyecto.*

*A mis amigas, Yackeline, Mariangel, Zubelmarielys y Criss. Por que tuve la fortuna de conocerlas y formar parte de mi vida en la universidad, como olvidar esos días de esfuerzo, dedicación y desvelo que nos han permitido hoy en día ser todas unas Ingenieras Químicas.*

*A mi compañera de tesis María Tome, porque juntas con esfuerzo y dedicación logramos hacer este sueño realidad.*

*A la Universidad de Oriente, de la cual me siento orgullosa de egresar porque en esta institución no solo crecemos como profesionales sino también como personas integrales.*

*A la cooperativa Costa Real RL, encargada de la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica por su apoyo brindado en especial al señor José Luis y al Señor Vicente.*

*Al personal encargado del Laboratorio de aguas y suelos del Ministerio del poder popular para el Ambiente, en especial al Señor Leandro, y al señor Juan Carlos. Gracias por todo su apoyo.*

**A todos ustedes**

**Mil gracias**

**Nathaly Rivas**

## AGRADECIMIENTOS

*Cuando me senté frente a la computadora a escribir esto no sabía y encontrabas palabras como empezar, hasta que cerré mis ojos y dije gracias DIOS primero por todos los días, momentos, lagrimas que me has regalado todos estos años de vida, por ayudarme a levantarme ante un camino lleno de muchas piedras y tropiezos para alcanzar esta meta, hoy mas que nunca digo que el destino se lo hace uno mismo con la ayuda incondicional de nuestro gran padre DIOS y su hijo Jesucristo.*

*A la virgen de Betania y del Valle por los favores concedidos.*

*A Ismelys Rodríguez gracias madre por darme la vida se que al lado de DIOS me das tus bendiciones, mi tía-madre Odalys Rodríguez y tío Guillermo Rodríguez por ser mi padre enseñándome ambos los valores sabios del respeto y la familia unida, por ser lo que soy hoy en día, a mi especial tía Carmen por mostrarme que al final del túnel siempre hay una luz, a mi prima Cinthia por sus palabras de apoyo constante y mi hermana Ismelys por estar allí siempre.*

*A mi tío Santiago Rodríguez, Gladys Salazar, a mi madrina Beatriz Brito, Zulay Sánchez, mi padrino Agustín Gonzáles, Edith Salazar, la doctora Mercedes Hernández, la señora Eva a todos mil gracias por todos los consejos para que no desmayara antes tantas circunstancia.*

*A mis tíos Glendy, Antonio, Norma, mi hermano Carlos y todos mis primos maternos.*

*A mis amigas Mariangel, Marlyn, Ana María.*

*A la universidad de Oriente, ahí aprendí y crecí poco a poco logrando la formación y los conocimientos necesarios para ser una profesional.*

*A mi asesora y profesora Maritza Millán Silva, por ser perseverante con el proyecto, difundir tantos consejos, conocimiento, sabiduría y fortaleza en momentos duros personales para ella y por enseñarme tantas cosas del ambiente que hoy en día necesita de muchas personas para que lo cuidemos. DIOS la bendiga siempre.*

*A mis amigos Yannira, Samia, Mariela, Elsy, Rosalía, Reynaldo, Andrés, Rut, Mayra, Ronnie, Marcelys, Yelymar, Henry, Marina, Freddy, Yuliannys, Sughey, Diomara, Patricia, Edeanny, Ana, Crispina, Wilfredo, Jessire, Rosa Elena, Asdrúbal, Angely, Rosellyn, Eryn, Oneida Pinto, Zoraida.*

*A mi compañera de tesis Nathaly Rivas porque confió en este proyecto y me acogió en su casa por varios días para su desarrollo.*

*A las profesoras Milena Amundaray y Yraima Salas, por su disposición, tiempo en la revisión de ésta tesis.*

*Al personal que labora en la Planta de tratamiento de Maurica, por su ayuda y contribución durante la realización de este trabajo de investigación en especial al señor Vicente y el Señor José Luís.*

*Al personal del Ministerio del Poder Popular del Ambiente por su colaboración prestada en especial al personal del Laboratorio de Suelo y Aguas los técnicos señor Leandro Velásquez, señor Ramón, señor Juan Carlos y la Ing*

*María Duno por la ayuda para el análisis de todas las pruebas en este trabajo de investigación.*

*Al personal de Centro de Investigaciones Tecnológicas de Oriente.*

*Al Ing Edgar Brito y la técnico señora Yuly personal de Hidrocaribe.*

*A cada unas de las personas que conocí durante este largo camino.*

**María Teresa Tome Rodríguez**

## INDICE GENERAL

|  |       |
|--|-------|
| RESOLUCIÓN .....   | iv    |
| DEDICATORIA .....  | v     |
| AGRADECIMIENTOS .....  | viii  |
| INDICE GENERAL .....   | ix    |
| LISTA DE TABLAS .....  | xiii  |
| LISTA DE FIGURAS.....  | xviii |
| RESUMEN.....   | xxiv  |
| RESUMEN.....   | xxiv  |
| CAPÍTULO 1 .....   | 25    |
| INTRODUCCIÓN.....  | 25    |
| 1.1 RESEÑA HISTÓRICA.....  | 25    |
| 1.2 UBICACIÓN .....  | 26    |
| 1.3 DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL PROCESO .....                                     | 27    |
| 1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....   | 29    |
| 1.5 OBJETIVOS.....   | 31    |
| 1.5.1. Objetivo general.....   | 31    |
| 1.5.2. Objetivos específicos .....   | 31    |
| CAPÍTULO 2.....  | 20    |
| 2.1 ANTECEDENTES.....  | 20    |
| 2.2.1. Características químicas, físicas y biológicas del agua residual..... | 23    |

|  |     |
|--|-----|
| 2.2.2. Niveles de tratamiento de las aguas residuales.....   | 31  |
| 2.2.3 Procesos y operaciones unitarias del tratamiento de aguas<br>residuales .....  | 33  |
| 2.2.4. Caudal del agua residual .....  | 50  |
| 2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....   | 52  |
| 2.4. ESTIMACIÓN DE COSTOS.....   | 53  |
| 2.4.1. Inversión de capital .....  | 53  |
| 2.4.2. Métodos para estimar la inversión de capital .....  | 54  |
| CAPÍTULO 3.....  | 56  |
| DESARROLLO DEL TRABAJO .....   | 56  |
| 3.1 MEDICIÓN DEL CAUDAL DEL EFLUENTE A LA SALIDA DEL<br>TRATAMIENTO PRELIMINAR .....   | 56  |
| 3.1.1 Determinación del caudal promedio del efluente a la salida del<br>tratamiento preliminar de la planta.....   | 61  |
| 3.1.2 Descripción general de las estaciones de bombeo que descargan<br>en la planta de tratamiento preliminar de las aguas residuales de<br>Barcelona..... | 63  |
| 3.2 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL.....   | 66  |
| 3.2.1 Procedimiento experimental para la determinación de los<br>parámetros de calidad del agua residual. ....   | 67  |
| 3.3 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA EN LA<br>PLAYA DE CAÑO SALADO DONDE SE DESCARGA EL EFLUENTE<br>DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR .....               | 115 |
| 3.4 EQUIPOS, MATERIALES Y SUSTANCIAS.....  | 117 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.5 PROPUESTAS DE MEJORAS AL EFLUENTE DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR.....  | 120 |
| 3.5.1 Opciones.....  | 121 |
| 3.6 REALIZACIÓN DE UN ESTIMADO DE COSTO DE LAS PROPUESTAS SELECCIONADAS .....  | 134 |
| Cloradores Advance Sistema de cloración (clorinadores), utilizados en la desinfección y tratamiento de aguas, disposición de equipos operados al vacío, y a presión..... | 139 |
| Gas cloro en bombonas de 68 Kg. y cilindros de tonelada .....  | 139 |
| CAPITULO 4.....  | 141 |
| DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y .....  | 141 |
| RECOMENDACIONES .....  | 141 |
| 4.1 MEDICIÓN DEL CAUDAL DEL EFLUENTE A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR .....  | 141 |
| 4.2 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN EL CANAL DE ENTRADA, A LA SALIDA DEL DESBASTE Y EN LA SALIDA DEL DESARENADOR-DESNATADOR.....                    | 148 |
| 4.3 CONOCIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PLAYA DE CAÑO SALADO .....   | 162 |
| 4.4 PROPUESTA DE MEJORAS AL EFLUENTE DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR.....   | 172 |
| 4.5 REALIZACIÓN DE UN ESTIMADO DE COSTO DE LAS PROPUESTAS SELECCIONADAS .....  | 175 |
| 4.6 CONCLUSIONES .....   | 177 |
| 4.7 RECOMENDACIONES.....   | 180 |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| BIBLIOGRAFÍA.....                                       | 181                           |
| ANEXOS.....   | ¡Error! Marcador no definido. |
| ANEXO A.....  | ¡Error! Marcador no definido. |
| ANEXO B.....  | ¡Error! Marcador no definido. |
| ANEXO C.....  | ¡Error! Marcador no definido. |
| ANEXO D.....  | ¡Error! Marcador no definido. |
| ANEXO E.....  | ¡Error! Marcador no definido. |
| METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:..... | 186                           |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2.1 Clasificación de los microorganismos (Metcalf y Eddy, 1996). .....  | 29 |
| Tabla 2.2 Eliminación o destrucción de bacterias mediante diversos procesos de tratamientos. (Metcalf y Eddy, 1996) .....   | 44 |
| Tabla 2.3. Terminología empleada para cuantificar las variaciones de caudales (Crites y Tchobanoglous, 2000) .....  | 52 |
| Tabla 2.4 Denominación de las estimaciones de costos (PetersTimmerhaus, 1981) .....   | 54 |
| Tabla 3.1 Caudales del efluente de la planta (Halcrow, 1995) .....  | 57 |
| Tabla 3.2 Valores de caudal diario del efluente a la salida del tratamiento preliminar .....  | 59 |
| Tabla 3.3 Valores obtenidos de caudal en el efluente del tratamiento preliminar durante el día 19/10/2009. ....   | 62 |
| Tabla 3.4 Valores de temperatura para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador .....                                       | 68 |
| Tabla 3.5 Valores de conductividad eléctrica para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, y salida del desarenador-desnatador .....                         | 69 |
| Tabla 3.6 Valores de sólidos sedimentables y sólidos totales disueltos para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador ..... | 70 |
| Tabla 3.7 Valores de color y detergente para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador .....                                | 89 |
| Tabla 3.8 Valores de turbidez para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador .....  | 90 |
| Tabla 3.9 Valores de pH para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, y salida del desarenador-desnatador .....  | 91 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 3.10 Valores de nitratos y nitritos para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador .....   | 94  |
| Tabla 3.11 Valores de nitrógeno total y grasas y aceites para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador .....  | 95  |
| Tabla 3.12 Valores de oxígeno disuelto para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador .....  | 97  |
| Tabla 3.13 Valores de la demanda química de oxígeno para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador .....   | 102 |
| Tabla 3.14 Diluciones recomendadas para diferentes tipos de muestra.....<br>(Manual anual MPPA, 2007) .....  | 110 |
| Tabla 3.15 Índice de NMP y 95% de límites de confianza para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan 5 tubos por dilución (10 ml, 1,0 ml, 0,1 ml) (Crites y Tchobanoglous, 2000) .. | 112 |
| Tabla 3.16 Valores de coliformes (fecales y totales) para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador  | 113 |
| Tabla 3.17 Valores de pH, conductividad eléctrica y temperatura para la muestra de la playa de Caño Salado .....   | 115 |
| Tabla 3.18 Valores turbidez, sólidos sedimentables y sólidos disueltos totales para la muestra de la playa de Caño Salado.....   | 116 |
| Tabla 3.19 Valores de coliformes fecales, coliformes totales y color para la muestra de la playa de Caño Salado .....  | 116 |
| Tabla 3.20 Valores de nitrógeno total y grasas y aceites y oxígeno disuelto para la muestra de la playa de Caño Salado.....  | 117 |
| Tabla 3.21 Características del agua residual que afectan la eficiencia de la cloración (EPA, 1999) .....   | 131 |
| Tabla 3.22 Estimación de costos típicos de un sistema de ozonización (EPA, 1999) .....   | 136 |

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| Tabla 3.23 Estimación de costos típicos de un sistema de ozonización del año 1998 adaptada al año 2010.....   | 137                                  |
| Tabla 3.24 Estimación de costos típicos de un sistema con radiación UV dl año 1998 adaptado al año 2010 (Epa, 1999).....                                      | 138                                  |
| Tabla 3. 25 Estimación de costos típicos de un sistema de desinfección con gas cloro (Advance Laboratorios, 2010) .....                                       | 139                                  |
| Tabla 3. 26 Estimación de costos típicos de un sistema de desinfección con cloro líquido (Advance Laboratorios, 2010).....                                    | 140                                  |
| Tabla 4.1 Caudal, medio, máximo y mínimo promedios a la salida del tratamiento para el día 19/09/2009 .....   | 142                                  |
| Tabla 4.2 Caudal promedio diario (Qo) a diferentes horas del día del efluente a la salida del tratamiento preeliminar.....                                    | 146                                  |
| Tabla 4. 3 Características del agua residual en el canal de entrada, salida del desbaste y a la salida del desarenador-desnatador, promedio desviación.....   | 148                                  |
| Tabla 4.4 Valores estadísticos (promedio,desviación estándar) para los parámetros analizados en el muestreo a la playa de Caño Salado .....                   | 163                                  |
| Tabla 4.5 Síntesis de las características de los diferentes tratamiento de desinfección (EPA, 1999) .....   | 173                                  |
| Tabla 4.6 Cuadro comparativo de los distintos desinfectantes y su aplicabilidad .....   | 176                                  |
| Tabla 4.7 Costo total para cada una de las opciones .....   | 177                                  |
| Tabla A.1 Valores de caudal medidos en el efluente de la planta a la salida del tratamiento preliminar tomados durante el mes de enero y febrero de 2009..... | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Tabla A. 2 Valores de caudal medidos en el efluente de la planta durante el mes de marzo y abril de 2009.....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Tabla A.3 Valores de caudal medidos en el efluente de la planta durante el mes de mayo y junio de 2009 .....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |

Tabla A.4 Valores de caudal medidos en el efluente de la planta durante el mes de julio y agosto de 2009..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.5 Valores de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de Septiembre y Octubre de 2009 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.6 Valores de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de noviembre en el año 2009..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.7 Valores de caudal a la salida del tratamiento preliminar e la planta tomados durante el mes de diciembre de 2009**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.8 Valores de caudal a la salida del tratamiento preliminar de la planta tomados durante el mes de enero de 2010**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.9 Valores de caudal a la salida del tratamiento preliminar de la planta tomados durante el mes de febrero de 2010**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.10 Valores de caudal a la salida del tratamiento preliminar de la planta tomados durante el mes de marzo de 2010**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.11 Valores de caudal a la salida del tratamiento preliminar de la planta tomados durante el mes de abril de 2010**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.12 Valores de caudal a la salida del tratamiento preliminar de la planta tomados durante el mes de mayo de 2010**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.13 Valores de volúmenes usados durante la titulación del (blanco y muestra) de FAS, del dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) y normalidad de la solución de FAS para las muestras tomados en el canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.14 Valores del peso del erlenmeyer vacío (mg) y peso del erlenmeyers más residuo (mg), para la determinación de la concentración de aceites y grasas en los tres puntos de muestreos**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B. 1 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de enero y febrero en el año 2009**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.2 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de marzo y abril en el año 2009**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.3 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de mayo y junio en el año 2009; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.4 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de julio y agosto en el año 2009; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.5 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de septiembre y octubre en el año de 2009; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.6 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de noviembre en el año 2009.. **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.7 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de diciembre en el año 2009 ... **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.8 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes enero en el año 2010 ..... **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.9 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de febrero en el año 2010 ..... **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.10 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de marzo en el año 2010; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.11 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de abril en el año 2010 . **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.12 Promedio mensual de caudal medido en el efluente de la planta durante el mes de mayo en el año 2010; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.13 Valores promedios mensuales obtenidos del caudal del efluente de la planta durante el año 2009..... **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.14 Valores promedios mensuales obtenidos del caudal del efluente de la planta durante el año 2010..... **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.15 Valores de los volúmenes, concentraciones agregada a la muestra para la determinación de la demanda de cloro y cloro residual; **Error! Marcador no**

Tabla B.16 Valores de los volúmenes, concentraciones agregada a la muestra para la determinación de la demanda de cloro y del cloro residual ..... **Error! Marcador no definido.**

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1.1 Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica (maps Google, 2010).....  | 27  |
| Figura 1.2. Esquema general del tratamiento preliminar de la planta .....   | 29  |
| Figura 2.1 Cribas gruesas para el pretratamiento de las aguas residuales de planta de Maurica .....   | 31  |
| Figura 2.2 Tratamiento primario y secundario de planta tratadora de aguas residuales ( <a href="http://www.aguas-residuales-b-408.blogspot.com">http://www.aguas-residuales-b-408.blogspot.com</a> )..... | 33  |
| Figura 2.3 Rastrillos desarenadores de la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica .....  | 35  |
| Figura 2.4 Proceso de sedimentación ( <a href="http://www.Pantareiwater.com">http:// www. Pantareiwater.com</a> ) .....   | 38  |
| Figura 2.5 Lechos filtrantes, tanque de filtrado ( <a href="http://www.nyfdecolombia.com">http://www.nyfdecolombia.com</a> ) .....  | 40  |
| Figura 2.6 Proceso de lodos activados ( <a href="http://www.reocities.com">http://www.reocities.com</a> ) .....   | 49  |
| Figura. 2.7 Variación horaria típica de los caudales del agua residual doméstica (Metcalf y Eddy, 1996).....  | 51  |
| Figura 3.1 Regleta graduada para la medición del .....  | 57  |
| caudal ubicada al final del tratamiento preliminar .....  | 57  |
| Figura disueltos 3.4 Medición de temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales .....   | 68  |
| Figura 3.5 Medición de sólidos sedimentables .....  | 70  |
| Figura 3.6 Medición del Color, turbidez, nitritos, nitratos .....   | 88  |
| Figura 3.7 Medición de oxígeno disuelto .....   | 96  |
| Figura 3.8 Curva de calibración de la DQO .....   | 101 |
| Figura 3.9 Termoreactor para el tiempo de reacción de la DQO .....  | 102 |
| Figura 3.10 Prueba para la determinación de aceites y grasas .....  | 104 |
| Figura 3.11 Prueba para la determinación de detergentes .....   | 106 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 3.12 Curva de residual de cloro .....  | 108 |
| Figura 3.13 Curva de residual de cloro .....  | 108 |
| Figura 3.14 Diagrama esquemático del proceso de ozonización (EPA, 1999).....  | 122 |
| Figura 3.15 Diagrama esquemático típico del sistema de desinfección con radiación ultravioleta (Metcalf y Eddy, 1996). .....  | 127 |
| Figura 3.16 Reactores de contacto de luz ultravioleta ( <a href="http://aguasresiduales-b-417,2009">http://aguasresiduales-b-417,2009</a> ) .....                   | 129 |
| Figura 3.17 Sistema para cloración con gas de cloro y decloración con dióxido de azufre usando control en circuito por compuesto con cloro líquido (EPA, 1999)..... | 134 |
| Figura 4.1 Variación de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido el día lunes 19/09/2009.....   | 142 |
| Figura 4.5 Variación de caudal a la salida del tratamiento preliminar .....   | 143 |
| Figura 4.6 Variación de caudal a la salida del tratamiento preliminar Medido el sábado (06/02/10) .....   | 144 |
| Figura 4.8 Variaciones de caudal promedio a la salida del tratamiento preliminar en los diferentes días de la semana.....   | 145 |
| Figura 4. 9 Variaciones de caudal promedio a la salida del tratamiento preliminar en los diferentes meses del año 2009.....   | 145 |
| Figura 4.10 Variaciones de caudal promedio a la salida del tratamiento preliminar en los diferentes meses del año 2010.....   | 147 |
| Figura 4.11 Comportamiento de la temperatura para los diferentes puntos de muestreo .....   | 150 |
| Figura 4.12 Comportamiento de la conductividad eléctrica para los diferentes puntos de muestreo.....  | 151 |
| Figura 4.13 Comportamiento de los sólidos sedimentables para los diferentes puntos de muestreo.....   | 152 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4.14 Comportamiento de los sólidos disueltos totales para los diferentes puntos de muestreo.....    | 153 |
| Figura 4.15 Comportamiento del color para los diferentes puntos de muestreo.....                           | 154 |
| Figura 4.16 Comportamiento de la turbidez para los diferentes puntos de muestreo.....                      | 155 |
| Figura 4.17 Comportamiento del pH para los diferentes puntos de muestreo.....                              | 156 |
| Figura 4.18 Comportamiento del nitrógeno total para los diferentes puntos de muestreo.....                 | 157 |
| Figura 4.19 Comportamiento del oxígeno disuelto para los diferentes puntos de muestreo.....                | 158 |
| Figura 4.20 Comportamiento de la demanda química de oxígeno para los diferentes puntos de muestreo.....    | 159 |
| Figura 4.21 Comportamiento de aceites y grasas para los diferentes puntos de muestreo.....                 | 160 |
| Figura 4.22 Comportamiento del detergente para los diferentes puntos de muestreo.....                      | 161 |
| Figura 4.23 Comportamiento de los coliformes totales y fecales para los diferentes puntos de muestreo..... | 162 |
| Figura 4.24 Toma de muestras en la playa de Caño Salado.....   | 163 |
| Figura 4.25 Comportamiento del pH para la playa de Caño Salado.....  | 164 |
| Figura 4.26 Comportamiento de la conductividad eléctrica para la.....                                      | 165 |
| Figura 4.27 Comportamiento de la temperatura para la playa de.....   | 165 |
| Figura 4.28 Comportamiento de la turbidez para la .....<br>playa de Caño Salado.....                       | 166 |
| Figura 4.29 Comportamiento de los sólidos sedimentables para la.....<br>playa de Caño Salado.....          | 167 |
| Figura 4.30 Comportamiento de los sólidos disueltos totales para la.....                                   | 168 |

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| playa de Caño Salado.....   | 168                                  |
| Figura 4.31 Comportamiento de los coliformes totales y fecales para la ....   | 169                                  |
| playa de Caño Salado.....   | 169                                  |
| Figura 4.32 Prueba de coliformes totales y fecales realizadas a la playa<br>de Caño Salado .....                          | 169                                  |
| Figura 4.33 Comportamiento del nitrógeno total en la playa de Caño<br>Salado.....   | 170                                  |
| Figura 4.34 Comportamiento de la concentración de aceites y grasas en<br>la playa de Caño Salado .....                    | 170                                  |
| Figura 4.35 Comportamiento de la concentración de color en la playa de<br>Caño Salado .....                               | 171                                  |
| Figura 4.36 Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en<br>la playa de Caño Salado.....                     | 172                                  |
| Figura C.1 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar<br>medido durante el mes de enero de 2009 .....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura C.2 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar<br>medido durante el mes de febrero de 2009 ..... | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura C.3 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar<br>medido durante el mes de marzo de 2009.....    | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura C.4 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar<br>medido durante el mes de abril de 2009.....    | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura C.5 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar<br>medido durante el mes de mayo de 2009.....     | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura C.6 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar<br>medido durante el mes de junio de 2009 .....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura C.7 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar<br>medido durante el mes de julio de 2009 .....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura C.8 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar<br>medido durante el mes de septiembre de 2009;   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |

Figura C.9 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido durante el mes de octubre de 2009..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.10 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido durante el mes de noviembre de 2009 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.11 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido durante el mes de diciembre de 2009 . **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.12 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido durante el mes de enero de 2010 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.13 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido durante el mes de febrero de 2010 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.14 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido durante el mes de marzo de 2010..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.15 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar**¡Error! Marcador no c**

Figura C.16 Variaciones de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido durante el mes de mayo de 2010..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.17 Indicadores económicos para plantas de ingeniería química (Chemical Engineering [www.che.com](http://www.che.com),2010) ... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.18 Indicadores económicos para plantas de ingeniería química (Chemical Engineering [www.che.com](http://www.che.com),2010) ... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.1 Entrada a la planta ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.2 Áreas verdes de la planta..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.4 Área de los sopladores..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.5 Tableros de control y tuberías ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.6 Tuberías dispuesta para disposición**¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.7 Canales de entrada del agua residual**¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.8 Cribas motorizadas que separan los**¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.9 Canaletas de recolección ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.10 Unidades de desbaste ubicadas después de**¡Error! Marcador no definido.**  
las Cribas..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura D.11 Puente desarenador-desnatador: (a) vista de **¡Error! Marcador no definido.**  
frente (b) vista por encima ..... **¡Error! Marcador no definido.**  
Figura D.12 Cámaras desarenadoras aireadas **¡Error! Marcador no definido.**  
Figura D.13 Equipo de draga desarenadora para cada cámara  
desarenadora..... **¡Error! Marcador no definido.**  
Figura D.14 Equipo de draga desarenadora para cada cámara  
desarenadora..... **¡Error! Marcador no definido.**  
Figura D.15 Canales provistos para las partículas **¡Error! Marcador no definido.**  
más pesadas conducidas a los rastrillo ..... **¡Error! Marcador no definido.**  
Figura D.16 Rastrillos desarenadores..... **¡Error! Marcador no definido.**  
Figura D.17 Tolvas para la disposición final ... **¡Error! Marcador no definido.**  
de la arena..... **¡Error! Marcador no definido.**  
Figura D.18 Regleta graduada para la medición del **¡Error! Marcador no definido.**

## RESUMEN

La evaluación del tratamiento preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica contempló la medición del caudal del efluente a la salida del tratamiento, la determinación de la calidad del agua en el canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador- desnatador y en la playa de Caño Salado mediante los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, efectuándose propuestas que contribuyan al mejoramiento del funcionamiento de la planta y al saneamiento de la playa de Caño Salado; así como también se realizó una estimación de costos de las propuestas seleccionadas. La medición del caudal a la salida del tratamiento se realizó mediante un dispositivo dispuesto en la planta, obteniendo durante todo el período de medición un caudal máximo medido de 125 l/s, lo cual indicó que la planta se encuentra operando a un 12% de su caudal máximo de diseño de 1050 l/s y un caudal promedio anual correspondiente a los años 2009 hasta el mes de mayo 2010 de 45,79 l/s. Los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados en los diferentes puntos de muestreos generaron los siguientes parámetros fuera de los límites establecidos en el decreto 883: coliformes (fecales y totales) > 16.000 NMP/100ml, detergentes 4,19 mg/l y oxígeno disuelto 0,27 mg/l a la salida del tratamiento preliminar. Para la playa de Caño Salado los parámetros que no cumplieron con los límites establecidos en el decreto 883 fueron: oxígeno disuelto 4,02 mg/l y los coliformes > 11.000 NMP/100ml tanto fecales como totales. En base a los estudios realizados se sugiere la implementación del tratamiento de desinfección con cloro gas, el cual resultó ser el más económico y viable para este tipo de agua con un costo total de 21.546,56 Bs, aplicando una dosis de cloro requerida de 395,60 g/d que es lo requerido por el caudal promedio de la planta.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 RESEÑA HISTÓRICA**

La Compañía Anónima Hidrológica del Caribe filial de Hidroven, inició sus operaciones en noviembre de 1990, es una empresa regional con personalidad jurídica propia y patrimonio público cuyo accionista es el Estado y está adscrita al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA) y los ingresos por el servicio que provienen del presupuesto nacional. Es una institución de servicio que cumple un fin social dirigido a planificar, organizar, coordinar, ejecutar y controlar las estrategias del sector agua en su zona de influencia y de esa forma, lograr una eficiente administración, operación, mantenimiento y ampliación de los sistemas de agua potable y de recolección, tratamiento y disposición final de aguas servidas en los estados Sucre, Anzoátegui, Monagas y Nueva Esparta.

Actualmente está orientada a ser una empresa reconocida por su eficiencia, autosustentabilidad, que contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes del oriente del país, a través de una gestión compartida con las comunidades. Hidrocaribe ha venido desarrollando una política de incentivo para la formación de cooperativas, las cuales se encargan desde el mantenimiento y supervisión de los sistemas de bombeo hasta la recaudación, muchas de estas cooperativas están conformadas por antiguos obreros de contratistas, como es el caso de la Cooperativa Costa Real RL, la cual desde el año 2007 se ha encargado de la vigilancia, custodia y mantenimiento de la planta de tratamiento

de las aguas residuales de Maurica, Barcelona, estado Anzoátegui (Hidrocaribe, 2010).

## **1.2 UBICACIÓN**

La planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica fue construida en los años 2005 y 2006, dentro del marco del plan estratégico de saneamiento del litoral nororiental que lleva a cabo el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA), surge con el propósito de mejorar la calidad de las aguas residuales domésticas de Barcelona antes de ser enviadas a los cuerpos receptores (figura 1.1). Esta obra fue diseñada para recibir un caudal de 2700 l/s y está ubicada al norte de Barcelona, localizada en el sector de Maurica, dentro del área del Parque Simón Bolívar, zona aledaña a los puentes coloniales y aduana vieja en Barcelona, ocupando un área de 1,6 ha. Limita al Noreste por el mar Caribe, al Este por el municipio Diego B. Urbaneja y al Sur por la prolongación de la Avenida 5 de julio (Avenida Costanera) sector Nueva Barcelona (Halcrow, 1995).



**Figura 1.1 Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica (maps Google, 2010)**

### **1.3 DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL PROCESO**

La planta de tratamiento Maurica actualmente se encuentra en operación con solo una fase del tratamiento, la cual comprende el tratamiento preliminar de las aguas residuales, la segunda fase aun no ha sido construida, esta planta recibe las aguas procedentes de las estaciones de bombeo Buenos Aires, Barrio Sucre fases (I y II) y próximamente la de Nueva Bienestar. La obra de entrada recoge el agua de las fuentes señaladas, las cuales son conducidas a través de dos canales de concreto, en los cuales se encuentran instaladas dos cribas motorizadas que separan los sólidos gruesos contenidos en dichas aguas.

Estos sólidos se recogen en una canaleta de recolección ubicada en la parte posterior de las cribas y son conducidas hasta el compactador de sólidos, usando agua del proceso, impulsada mediante las bombas de aspersión, que se encuentran instaladas en la parte externa de la cámara de salida. El compactador a su vez recibe agua limpia proveniente de las bombas de lavado, las cuales son de tipo sumergible y están instaladas en el tanque de almacenamiento de agua potable de la planta. Las aguas drenadas, procedentes del compactador, son conducidas a la estación de bombeo de aguas drenadas del proceso, donde se encuentran instaladas las bombas de drenaje, que también son del tipo sumergible. Dichas bombas envían estas aguas a la cámara de salida.

Los sólidos procedentes del compactador son descargados a una tolva de recolección para su disposición final en el relleno sanitario. Las aguas residuales libres de sólidos son conducidas temporalmente mediante el canal de desviación (by-pass) hasta la tubería de rebose y de allí a la descarga submarina. Después de pasar por las cribas gruesas el agua entra a las cámaras desarenadoras aireadas, existen cuatro pero desde su inauguración sólo funcionan dos con su equipo de draga desarenadora, cada cámara recibe aire comprimido de los sopladores y están ubicados al extremo final de las cámaras. La aireación ayuda a la separación de material orgánico ayudando a las partículas más pequeñas a subir a la superficie donde son removidas por un desnatador superficial instalado en el puente. Las partículas mas pesadas caen al fondo y son extraidas por medio de las bombas desarenadoras y llevadas a unos canales que los conducen a los rastrillos desarenadores que separan la arena y la llevan a las tolvas para su disposición final. Finalmente completado el tratamiento preliminar las aguas residuales son enviadas al mar a través de una descarga submarina. Ésta se encuentra dividida en dos tramos el primero de 800 mm de diámetro y una longitud de 494 m la cual termina en una boca de visita cerca de

la orilla del mar. El segundo tramo de la descarga tiene un diámetro de 1066 mm y una longitud de 800 m.

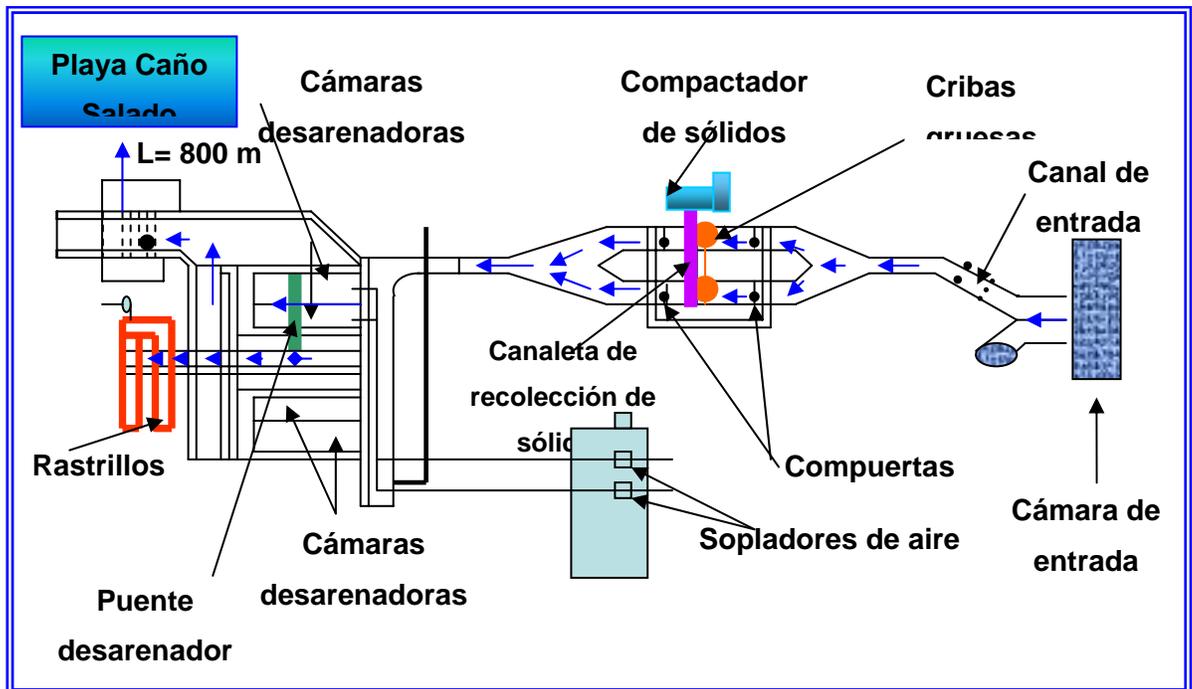


Figura 1.2. Esquema general del tratamiento preliminar de la planta

#### 1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Maurica, Barcelona, estado Anzoátegui fue construida en los años 2005 y 2006 dentro del marco del plan estratégico de saneamiento del litoral Nororiental que llevó a cabo el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR), hoy conocido como el Ministerio de Poder Popular para el Ambiente (MPPA), con la finalidad de sanear las playas de Maurica y río Neveri. La primera etapa de la planta fue inaugurada en el año 2007, la cual maneja un caudal de 1050 l/s

(Halcrow, 1995) y comprende un nivel de tratamiento primario integrado por las operaciones de desbaste, desarenación, separación de grasas en suspensión y la compactación de sólidos, y es lo que se encuentra actualmente operando en forma continua de la planta de tratamiento (figura 1.2). La planta recibe y trata las aguas residuales procedentes de las estaciones de bombeo de Buenos Aires, Barrio Sucre (Fase I y II) las cuales manejan caudales de (550 y 500 l/s) (Halcrow, 1995) y próximamente la de Nueva Bienestar.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica opera bajo la vigilancia, custodia y mantenimiento de la cooperativa Costa Real RL, la cual fue capacitada para realizar dicha labor y es supervisada por Hidrocaribe. De acuerdo al proyecto original ya debería haber sido construida la segunda etapa, con la cual se completaría la serie de sistemas rigurosos, a los que deben ser sometidas las aguas residuales, para garantizar que dichas aguas sean tratadas correctamente antes de su vertido.

Durante el año 2009, se realizaron dos captaciones de muestras por parte del Ministerio de Poder Popular para el Ambiente (MPPA) al afluente y efluente para conocer la calidad del agua tratada de la PTAR de Maurica y otra muestra captada en la playa conocida como Caño Salado, encontrando que el agua que sale de la planta no reúne las condiciones para su salida en el mar, puesto que las concentraciones de demanda química de oxígeno y del número más probable de organismos coliformes por cada 100 ml se encontraban por encima del límite establecido por las regulaciones ambientales vigentes. La descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica influye en los altos niveles de coliformes encontrados en la playa de Caño Salado.

Para responder a la situación antes mencionada, se procede a presentar este proyecto donde se pretende evaluar el tratamiento preliminar de la planta de tratamiento lo cual permitirá tener un diagnóstico de las condiciones de

operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica, para ello se procederá a medir el caudal de descarga del efluente, se caracterizará el agua residual determinando los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, así mismo se procederá a conocer la calidad del agua en la playa de Caño Salado, donde es descargado el efluente del tratamiento preliminar, todo esto con la finalidad de proponer mejoras en cuanto a la adecuación del efluente y su posible reutilización para el riego de áreas verdes de la localidad, donde se alcanzaría una disminución de los requerimientos de aguas blancas. Así como también el ahorro en la inversión de recursos y costos de operación, además de ayudar al saneamiento de la playa de Caño Salado, haciéndose cumplir la normativa vigente donde se establecen los límites máximos para la descarga al medio marino costero.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo general**

Evaluar el tratamiento preliminar de las aguas residuales provenientes de Barcelona, ubicado en el sector Maurica.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

1. Medir el caudal del efluente a la salida del tratamiento preliminar.
2. Determinar la composición del agua residual en el canal de entrada, a la salida del desbaste y en la salida del desarenador-desnatador.
3. Conocer la calidad del agua en la playa de Caño Salado, donde se descarga el efluente del tratamiento preliminar.
4. Proponer mejoras al efluente del tratamiento preliminar.

5. Realizar un estimado de costos de las propuestas seleccionadas.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

Rodríguez (2006), evaluó el desarenador N 2, en la planta de tratamiento de aguas servidas el Maguey, Puerto La Cruz, estado Anzoátegui. Estudió las fallas operacionales del mismo. Encontrando que las características del agua efluente ponían en duda la eficiencia de la unidad, la velocidad de horizontal de flujo estaba muy por debajo de la velocidad horizontal ideal de la unidad y el porcentaje de remoción de sólidos sedimentables estaba por debajo del porcentaje ideal para la misma. Recomendó la instalación un aireador que ayudaría notablemente al proceso.

Inojosa (2004), determinó la calidad fisicoquímica de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales Dos Cerritos, estado Nueva Esparta. Este estudio se realizó para determinar un posible uso de los lodos que se encontraban en los lechos de secado, los cuales estaban totalmente colapsados. Para ello se hizo una revisión de las condiciones de operación de dicha planta, se realizaron análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, metales y aceites y grasas minerales al lodo secundario y al agua cruda y tratada de la planta, se determinó la concentración de metales trazas potencialmente tóxicos, en la forma biodisponible y por último se calculó la producción de los lodos secundarios de la planta, utilizando parámetros fisicoquímicos. Obteniéndose que los lodos pueden ser utilizados en la siembra de vegetales, pero sólo en plantas ornamentales y forestales que sean tolerantes a la salinidad.

Aguirre (2003), evaluó las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas portátiles pertenecientes a la empresa Oiltools de Venezuela en campos petroleros de perforación para una población alrededor de 30 personas diarias, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos practicados al efluente observó varios parámetros fuera del rango permitido, por lo cual propuso mejoras en el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de que el vertido final de estas plantas pudiera ser asperjado al ambiente y cumplir con la normativa ambiental vigente.

Rodríguez y Mitchell (2003) realizaron un estudio en la planta de tratamiento de aguas residuales de Guanta en las lagunas de pulimento que están dentro de las instalaciones, encontrando parámetros como aceites y grasas, sulfatos, DBO y coliformes totales que superaban los límites establecidos de descarga por la legislación vigente, además de comprobar que las lagunas no estaban en capacidad de asumir la carga orgánica recibida, el estudio propuso un mantenimiento intensivo a las estructuras y colocar cortinas en forma de mamparas, para favorecer la uniformidad de las aguas residuales en las lagunas.

Sánchez y Sánchez (2003), realizaron una evaluación diagnóstica del sistema anaerobio de tratamiento de la planta de aguas residuales de Guanta, la cual incluyó la determinación del caudal y tiempo de residencia, así como también la realización de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas de entrada y salida, se estudió la condición y formación del lodo anaerobio y de los gases producto de la degradación de la materia orgánica. Encontrando los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos fuera de los límites establecidos, una remoción efectiva de los sólidos totales, una diferencia notable en la degradación de materia orgánica y una baja concentración de sulfuros y el mal olor para este tipo de tratamiento.

Castillo (2002), realizó una evaluación de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas servidas del sector este Punta Baja (Cumaná), con miras a su reutilización. Para ello determinó algunos parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del efluente tratado, así como también algunas características del lodo residual. Obteniéndose que el efluente tratado puede ser reutilizado, llevando el control adecuado de la salinidad y que el lodo estudiado puede ser utilizado como acondicionador de suelo.

González (2000), evaluó la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua cruda a la entrada y salida, en las unidades de sedimentación y lagunaje que se encuentran en la planta de tratamiento de aguas residuales Los Olivos en Puerto Ordaz, estado Bolívar, con el propósito de estimar su eficiencia. En dicha evaluación se encontró que el afluente está constituido principalmente por aguas residuales domésticas y aguas procedentes de la escorrentía superficial, en cuanto a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos los valores encontrados resultaron superiores a las condiciones empleadas para el diseño, las concentraciones de grasas y aceites superan lo permitido por la normativa ambiental vigente. Este excedente afecta la capacidad hidráulica de los sedimentadores e incide directamente en la remoción de sólidos. Debido a lo antes mencionado se determinó que es necesario agregar cuatro sedimentadores similares a los existentes.

Este proyecto se diferencia de los anteriores en que se hará un diagnóstico de una planta de tratamiento de aguas residuales, que en los actuales momentos cuenta con una fase de desbaste, desarenación, separación de grasas en suspensión y la compactación de sólidos lo cual comprende sólo el tratamiento primario de las aguas residuales.

## **2.2. CONOCIMIENTOS GENERALES SOBRE AGUAS RESIDUALES**

Los residuos que excretan los humanos se conocen como aguas residuales sanitarias. Las aguas residuales de áreas residenciales, que se describen como aguas residuales domésticas, incluyen residuos provenientes de cocinas, baños, lavado de ropa y drenaje de pisos. Estas junto con los residuos líquidos de establecimientos comerciales e industriales, se designan como aguas residuales municipales. Estas normalmente se recogen en un sistema de alcantarillado público (alcantarillas, pozos de registro, estaciones de bombeo, etc.) y se envían a los centros de tratamiento para su eliminación sin peligro (Glynn, 1999).

Las instalaciones diseñadas para purificar las aguas residuales se denominan plantas de tratamiento y empezaron a desarrollarse ante la imperiosa necesidad de velar por la salud pública y evitar condiciones adversas provocadas por la descarga de agua residual al ambiente (Metcalf y Eddy, 1996).

### **2.2.1. Características químicas, físicas y biológicas del agua residual**

#### **2.2.1.1. Características químicas del agua residual**

Comprenden tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos y los gases presentes en el agua residual. El aspecto fundamental resultante de la contaminación por **compuestos orgánicos** es la disminución de oxígeno como resultante de la utilización del existente en el proceso de degradación biológica de dichos compuestos, esta disminución del oxígeno disuelto lleva perturbaciones indeseables del medio y de la biota en ella asentada (Ramalho, 1996).

Los dos métodos de uso más frecuentes para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales son:

**A. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).** Su determinación está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Es un parámetro útil para la determinación aproximada de oxígeno que requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, para dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; medir eficiencia de algunos procesos de tratamiento, y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos (Metcalf y Eddy, 1996).

**B. Demanda química de oxígeno (DQO).** Representa la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente las sustancias orgánicas presentes. En el ensayo se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

En el caso de la contaminación derivada de la presencia de **compuestos inorgánicos** el resultado más importante es su posible efecto tóxico, más que la disminución en oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo. Los compuestos inorgánicos comunes en las aguas residuales incluyen los siguientes (Ramalho, 1996):

**A. pH:** la concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de las aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno de las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.

**B. Cloruros:** la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales es una fuente de cloruros. Puesto que los métodos convencionales de tratamiento de las aguas no contemplan la eliminación de cloruros en cantidades significativas, concentraciones de cloruros superiores a las normales pueden constituir indicadores de que la masa de agua receptora está siendo utilizada para el vertido de aguas residuales.

**C. Alcalinidad:** en un agua residual es provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco, bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos.

**D. Nitrógeno:** es esencial para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual recibe el nombre de nutriente o bioestimulador. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en que cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos.

El nitrógeno amoniacal se produce por descomposición de la urea, compuesto siempre presente en las aguas residuales sanitarias por hidrólisis enzimática, esta descomposición da como productos  $\text{NH}_3$  (amoníaco disuelto) y  $\text{NH}_4^+$  (ion amonio), la hidrólisis es rápida, por lo que la urea raramente está presente en las aguas residuales que no sean muy recientes, el amoníaco se encuentra en equilibrio con el ion amonio en función del pH de la solución de

acuerdo con la ecuación 2.1 de equilibrio (Siles, Monforte, Estrany, Pujol y Carreras, 2008):



A niveles de pH superiores a 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, mientras que a valores de pH inferiores a 7 en  $NH_4^+$  es predominante. El nitrógeno amoniacal es entonces el resultado de la hidrólisis de la urea, así como de otras sustancias proteínicas presentes en el agua residual sanitaria de acuerdo a la ecuación 2.2:



La hidrólisis de la urea se ve favorecida por un pH alcalino, entre 8,2 y 9,0, y el avance de la hidrólisis origina a su vez un aumento del pH del medio. Como se ha indicado, el proceso es rápido y produce una cantidad excesiva de amoníaco que sobrepasa los requerimientos de organismos para las síntesis proteicas.

El nitrógeno en forma de nitrito, determinado por métodos colorimétricos, es bastante inestable y fácilmente oxidado a la forma de nitrato, es un indicador de contaminación previa al proceso de estabilización y rara vez excede su concentración de 1mg/l en agua residual. Los nitritos presentes en aguas residuales tratadas son oxidados por adición de cloro, lo cual ocasiona un aumento en la demanda de cloro y en los costos de desinfección (Crites y Thobanoglous, 2000).

El nitrógeno en forma de nitrato, la especie química del nitrógeno más oxidado que se encuentra en agua residual por lo común se determina por métodos colorimétricos, la concentración de nitrato en aguas residuales tratadas puede variar de 2 a 30 mg/l como nitrógeno, dependiendo del grado de nitrificación y denitrificación del tratamiento.

**E. Fósforo:** es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Puede encontrarse en las aguas residuales disuelto o en partículas, ya sea en compuestos orgánicos o inorgánicos. Para liberar el fósforo que está combinado en la materia orgánica, es preciso someter la muestra de agua a un proceso de digestión ácida. Tras la digestión, el fósforo está en forma de ortofosfatos, que se determinan por métodos calorimétricos (Ramalho, 1996).

#### **2.2.1.2. Características físicas del agua residual**

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importante son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad y se describen a continuación (Metcalf y Eddy, 1996):

**A. Sólidos totales:** materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá de la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión). La fracción filtrable de los sólidos corresponde a los sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0,001 y micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua.

**B. Olores:** normalmente los olores son debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica.

**C. Temperatura:** en el agua residual suele ser más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. El aumento de la temperatura acelera la descomposición de la materia orgánica, aumenta el consumo de oxígeno para la oxidación y disminuye la solubilidad del oxígeno y otros gases.

**D. Densidad:** es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de lodos de sedimentación y de otras instalaciones de tratamiento.

**E. Color:** en la mayoría de los casos el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaeróbicas con los metales presentes en el agua residual.

**F. Turbiedad:** se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

### **2.2.1.3. Características biológicas del agua residual**

Para el tratamiento biológico se deben tomar en cuenta las siguientes características del agua residual: principales grupos de microorganismos presentes tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos

que intervienen en los tratamientos biológicos, a continuación se describen los principales (Metcalf y Eddy, 1996).

**A. Microorganismos:** los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, bacterias y arqueobacterias, como se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Clasificación de los microorganismos (Metcalf y Eddy, 1996).**

| Grupo           | Estructura celular | Caracterización  | Miembros representativos   |
|-----------------|--------------------|--|--|
| Eucariotas      | Eucariota          | Multicelular, con gran diferenciación de las células y el tejido<br>Unicelular o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos | Plantas (plantas de semilla, musgos, helechos). Animales (vertebrados e invertebrados).<br>Protistas (algas, hongos, protozoos). |
| Eubacterias     | Procariota         | Química celular parecida a las eucariotas.   | La mayoría de las bacterias  |
| Arqueobacterias | Procariota         | Química celular distintiva.  | Metanógenos, halófilos, termacidófilos   |

**B. Bacterias:** desempeñan un papel amplio y de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismo y proceso de síntesis.

**C. Hongos:** desde el punto de vista ecológico, presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos, sin la colaboración de los hongos en

los procesos de degradación de la materia orgánica el ciclo de carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

**D. Algas:** la presencia de algas afecta el valor de agua de abastecimiento, ya que puede originar problemas de olor y de sabor. Uno de los problemas más importantes al que se enfrenta la ingeniería sanitaria en el campo de la gestión de calidad del agua es el de encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas residuales de diferentes orígenes de modo que los efluentes no favorezcan el crecimiento de algas y demás plantas acuáticas.

**E. Protozoos:** los protozoarios de importancia en el saneamiento son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. Tienen una gran importancia, tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de cursos de agua ya que no son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos.

**F. Plantas y animales:** las diferentes plantas y animales que tienen importancia son de variados tamaños, desde gusanos y rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al ambiente, y a la hora de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos.

**G. Virus:** los virus excretados por los seres humanos son un importante peligro para la salud pública. Se sabe con certeza que algunos virus pueden sobrevivir hasta 41 días, tanto en aguas limpias como residuales a la temperatura de 20 °C, y hasta seis días en un río normal.

## 2.2.2. Niveles de tratamiento de las aguas residuales

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido del efluente. A continuación se presenta una clasificación convencional de los procesos de tratamiento de aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1996):

### 2.2.2.1 Pretratamiento

Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Algunos ejemplos pueden ser: el desbaste y dilaceración para eliminar sólidos gruesos y trapos, flotación para eliminar grasas y aceites y el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo de los mismos (figura2.1).



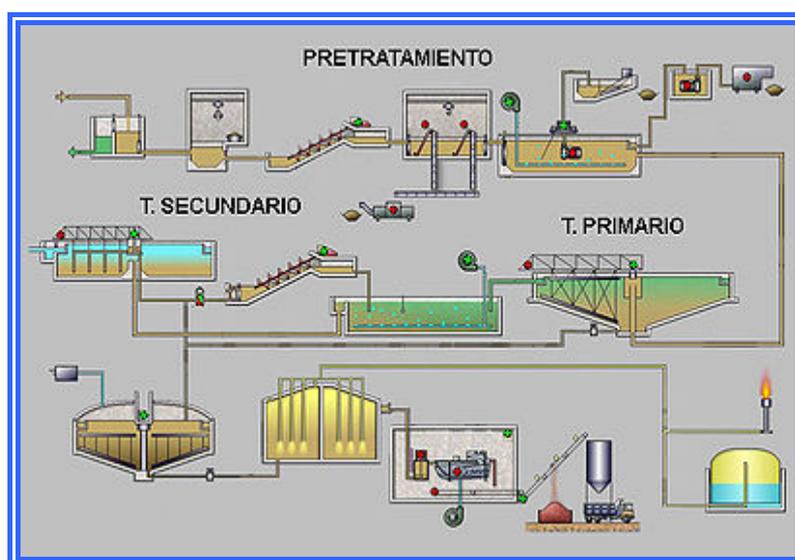
**Figura 2.1 Cribas gruesas para el pretratamiento de las aguas residuales de planta de Maurica**

### 2.2.2.2 Tratamiento primario

En el tratamiento primario se elimina una fracción de sólidos en suspensión y de materia orgánica. Suele llevarse a cabo mediante sedimentación y tamizado. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta. Cabe destacar que aunque en muchos lugares el tratamiento primario es el único que se le da al agua residual, éste es únicamente un tratamiento previo al secundario.

### 2.2.2.3 Tratamiento secundario convencional

Está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento. Se llama tratamiento convencional a la combinación de diferentes procesos para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con lodos activados, reactores de lecho fijo, sistemas de lagunaje y la sedimentación (figura2.2).



**Figura 2.2 Tratamiento primario y secundario de planta tratadora de aguas residuales ( <http://www.aguas-residuales-b-408.blogspot.com> )**

#### **2.2.2.4 Control y eliminación de nutrientes**

Normalmente es necesario debido al vertido de aguas de receptores confinados, en los que se pueda crear o acelerar los procesos de eutrofización, vertidos a cursos de agua en los que la nitrificación pueda limitar los recursos de oxígeno o en los que pueda proliferar el arraigamiento de las partículas acuáticas, y en las recargas de aguas subterráneas que puedan ser usadas indirectamente, por el abastecimiento público del agua.

#### **2.2.2.5 Tratamiento avanzado**

Se define como el tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de los constituyentes del agua residual que merecen especial atención, como los nutrientes de los compuestos tóxicos, y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Otros procesos u operaciones unitarias habitualmente empleadas en los tratamientos avanzados son la coagulación química, floculación y sedimentación seguida de filtración y carbón activado. También se emplea el tratamiento avanzado para diversas posibilidades de reutilización de las aguas residuales para los cuales es preciso conseguir efluentes de alta calidad, como puede ser el caso del agua empleada para la refrigeración industrial o para la recarga de aguas subterráneas.

### **2.2.3 Procesos y operaciones unitarias del tratamiento de aguas residuales**

Los constituyentes presentes en el agua residual se remueven por mecanismos de tipo físico, químico y biológico. Los métodos se clasifican por lo general en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios (Crites y Thobanoglous, 2000):

### 2.2.3.1 Operaciones físicas unitarias

Los métodos de tratamiento donde predominan las fuerzas físicas se conocen como operaciones físicas unitarias. A continuación se describen algunas de las operaciones unitarias típicas:

#### A. Desbaste

Es la primera operación unitaria que tiene lugar dentro de la plantas de tratamiento, está constituida por barras, alambres o varillas paralelas, rejillas, telas metálicas o placas perforadas, y las aberturas pueden ser de cualquier forma tal y como se puede apreciar en la figura 2.3, aunque normalmente suelen ser ranuras rectangulares u orificios circulares. Los elementos de uso más frecuentes para las operaciones de desbaste (Metcalf y Eddy, 1996).

- **Rejas:** son usadas dentro del tratamiento del agua residual para proteger bombas, válvulas, conducciones y otros elementos contra los posibles daños y obturaciones provocadas por la presencia de trapos y objetos de gran tamaño.
- **Tamices:** son empleados como medios para proporcionar tratamiento primario, en lugar de tanques de sedimentación. Se refiere al uso de placas perforadas y mallas metálicas de secciones cuneiformes.



**Figura 2.3 Rastrillos desarenadores de la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica**

### **B. Dilaceración**

Consiste en la trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme (Metcalf y Eddy, 1996). Dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales, los dilaceradores se usan con frecuencia para eliminar la desagradable y ofensiva tarea de manejo y disposición de residuos sólidos (Crites y Thobanoglous, 2000).

### **C. Mezclado**

Es una de las operaciones unitarias de gran importancia en muchas fases del tratamiento de aguas residuales. La mezcla en una planta de tratamiento se utiliza con miras a (Metcalf y Eddy, 1996):

- **Mezcla completa de aditivos químicos:** su principal objetivo consiste en mezclar completamente una sustancia con otra, donde la mezcla rápida puede durar desde una fracción de segundos hasta alrededor de treinta segundos, esta mezcla se puede llevar a cabo mediante los siguientes sistemas: 1) resaltes hidráulicos en canales,

2) dispositivos Venturi; 3) conducciones, 4) por bombeo; 5) mediante mezcladores estáticos y 6) mediante mezcladores mecánicos.

- **Mezcla de fluidos en reactores y tanques de almacenamiento:** su principal objetivo consiste en mantener en un estado de mezcla completa el contenido del reactor o del tanque de retención, ésta se puede llevar a cabo mediante los siguientes sistemas: 1) mezcladores mecánicos; 2) mecanismos neumáticos; 3) mezcladores estáticos y 4) por bombeo.

### C.1. Necesidades energéticas para el mezclado

Es necesario para llevar a cabo el mezclado mediante mezcladores de turbinas, paletas y hélices, así como para el mezclado con mezcladores estáticos y neumáticos.

- **Mezcladores de turbina y hélice:** son mezcladores con impulsores pequeños pueden operar a grandes velocidades produciendo una excelente mezcla de pequeñas cantidades de reactivos químicos o gases en aguas residuales (Crites y Thobanoglous, 2000).
- **Mezcladores de paleta:** por lo general estos mezcladores giran lentamente, ya que tienen una gran superficie de acción sobre el fluido. Cuando se requiere la adición de coagulantes estos son una buena acción para ser usados en equipos de floculación.
- **Mezcladores estáticos:** los mezcladores estáticos conectados en línea están provistos de tabiques internos que proporcionan cambios repentinos en la velocidad del fluido e inversiones momentáneas. Esta clase de mezcladores se utiliza a menudo para mezclar reactivos químicos con el agua residual. Otra clase de mezclador estático está constituido por canales con deflectores superiores e inferiores, los

cuales no se recomiendan para proporcionar mezclas en tiempos menores a un segundo por lo difícil de obtener dicha mezcla.

- **Mezcladores neumáticos:** en estos mezcladores se inyecta un gas (aire u oxígeno) por el fondo del tanque en la mezcla o tanque de aireación en el proceso de lodos activados generando turbulencia como resultado de la formación de burbujas de gas, las cuales ayudan a mantener el contenido del tanque bien mezclado.

#### **D. Sedimentación**

Separación de partículas suspendidas con peso específico mayor al del agua por acción de la gravedad. La sedimentación se usa para la remoción de arenas en unidades de pretratamiento, de sólidos suspendidos totales (SST) en sedimentadores primarios, de flóculos biológicos en sedimentadores de lodo activado y de flóculos químicos formados en el proceso de coagulación con gases químicos, este proceso se puede apreciar en la figura 2.4. Con base a la concentración de partículas y la tendencia de éstas a interactuar entre sí, se pueden presentar cuatro clases de sedimentación (Crites y Thobanoglous, 2000):

- **Sedimentación de partículas discretas:** se refiere a la sedimentación por gravedad de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos en un campo de aceleración constante. Es usado en la remoción de arenas en el agua residual.
- **Sedimentación de partículas floculentas:** se refiere a una suspensión mucho más diluida en partículas que se aglutinan o floculan durante la sedimentación. Es usado en la remoción de una fracción de los sólidos suspendidos presentes en aguas residuales crudas en las unidades de sedimentación primaria, también remueven los flóculos químicos de los sedimentadores.
- **Sedimentación interferida o zonal:** se refiere a suspensiones de concentración intermedia, en las cuales las fuerzas entre las partículas es suficiente para interferir en la sedimentación de las

partículas vecinas. Se presentan en unidades de sedimentación secundaria usadas como parte del tratamiento biológico.

- **Sedimentación por compresión:** se refiere a la sedimentación en donde la concentración de partículas es tan alta que promueve la formación de una estructura, y la misma ocurre solo por compresión de esa estructura. Se presenta generalmente en la capa inferior de lodos espesos.



**Figura 2.4** Proceso de sedimentación ([http:// www. Pantareiwater.com](http://www.Pantareiwater.com))

## **E. Flotación**

Operación unitaria usada para separar sólidos o líquidos contenidos en una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas (generalmente aire) en la fase líquida, que se adhieren al material particulado y, gracias a la fuerza ascensional, el conjunto de partícula-burbuja de gas sube hasta alcanzar la superficie del líquido. De esta forma es posible lograr que floten partículas con densidad mayor a la del líquido; además, se favorece la ascensión a la superficie de partículas con densidad menor a la del líquido.

### **E.1. Tipos de flotación**

- **Flotación por aire disuelto:** en estos sistemas, el aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica. Las principales aplicaciones de la flotación por aire disuelto se centran en el tratamiento de vertidos industriales y en el espesado de lodos.
- **Flotación por aireación:** en los sistemas de flotación por aireación, las burbujas de aire se introducen directamente en la fase líquida por medio de difusores o turbinas sumergidas.
- **Flotación por vacío:** consiste en saturar de aire el agua residual (1) directamente en el tanque de aireación, o (2) permitiendo que el aire penetre en el conducto de aspiración de una bomba.

## F. Filtración

La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0,15 y 0,3 mm (figura 2.5). Es una operación muy utilizada en el tratamiento de agua potable, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay más variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de tierra de diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa. Hay muchas maneras de clasificar los sistemas de filtración: por gravedad ó a presión, lenta ó rápida, de torta ó en profundidad (Crites y Thobanoglous, 2000).

- **Filtración por gravedad:** el agua circula verticalmente y en descenso través del filtro por simple gravedad. Dentro de este tipo, se puede hablar de dos formas de operar, que llevan a tener una filtración lenta, apenas utilizados actualmente, o una filtración rápida. El mecanismo de la separación de sólidos es una combinación de asentamiento, retención, adhesión y atracción, por lo que se eliminan partículas mucho menores que el espacio intersticial. Es un sistema muy utilizado en tratamientos para agua potable.
- **Filtración por presión.** Normalmente están contenidos en recipientes y el agua se ve forzada a atravesar el medio filtrante sometida a presión. También en este caso puede haber filtración lenta, en la que en la superficie del filtro se desarrolla una torta filtrante donde la filtración, a través de esa superficie, es por mecanismos físicos y biológicos. Por otro lado, en la filtración rápida se habla de filtración en profundidad, es decir, cuando la mayor parte de espesor de medio filtrante está activo para el proceso de filtración y la calidad del filtrado mejora con la profundidad. Esta filtración a presión se suele utilizar más en aguas industriales.



**Figura 2.5 Lechos filtrantes, tanque de filtrado**  
(<http://www.nyfdecolombia.com>)

## **G. Transferencia de gases**

Se puede definir como el fenómeno mediante el cual se transfiere gas de una fase a otra, normalmente de la fase gaseosa a la líquida. Es un componente esencial de gran número de los procesos de tratamiento del agua residual, la aplicación más común de la transferencia de gases consiste en la transferencia de oxígeno en el tratamiento biológico del agua residual (Crites y Thobanoglous, 2000).

### **2.2.3.2. Procesos químicos unitarios**

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de insumos químicos o por reacciones químicas, se conocen como procesos químicos unitarios. Los procesos de precipitación, adsorción, coagulación, floculación y desinfección son ejemplos de los procesos más comunes en el tratamiento de las aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1996):

#### **A. Precipitación química**

La precipitación química en el tratamiento de aguas residuales consiste en la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y facilitar su eliminación por sedimentación. Los procesos químicos, junto con algunas de las operaciones físicas unitarias, se han desarrollado para proporcionar un tratamiento secundario completo a las aguas residuales no tratadas, incluyendo la eliminación del fósforo, nitrógeno, o de ambos a la vez.

#### **B. Adsorción**

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se

ha de concentrar en la superficie del mismo. La necesidad de una mayor calidad de las aguas está haciendo que este tratamiento esté en auge. Es considerado como un tratamiento de refino, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico (Rodríguez, colaboradores, 2009).

### **C. Coagulación**

Describe el efecto producido por la adición de un producto químico a una dispersión coloidal, que se traduce en la desestabilización de las partículas por una reducción de aquellas fuerzas que tienden a mantenerlas separadas. Este proceso comprende tres etapas: mezcla rápida para coagulación, neutralización de cargas y agitación, para incrementar el número efectivo de colisiones. La coagulación empieza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundos. Básicamente consiste en una serie de reacciones químicas entre los coagulantes, las superficies de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma (Miranda, 1999).

### **D. Floculación**

Consiste en la agrupación de partículas descargadas cuando se ponen en contacto unas con otras. Ésta es la segunda fase de formación de partículas sedimentables, a partir de partículas desestabilizadas de tamaño coloidal. La floculación se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos. El propósito de la floculación del agua residual es formar agregados o flóculos a partir de la materia finamente dividida. Cuando se utiliza la floculación, se puede llevar a cabo: (1) en tanques independientes o tanques especialmente proyectados para tal fin, (2) en tanques que combinan en una sola unidad las operaciones de floculación y la decantación (<http://www.ceit.es>).

## C. Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. En el campo de las aguas residuales, las tres categorías de organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos. Las enfermedades bacterianas típicas transmitidas por el agua son: el tifus, el cólera, el paratífus y la disentería bacilar, mientras que las enfermedades causadas por los virus incluyen, entre otras, la poliomeilitis y la hepatitis infecciosa (Metcalf y Eddy, 1996).

### C.1. Métodos de desinfección

- **Agentes químicos:** los agentes químicos utilizados para la desinfección incluyen: 1) el cloro y sus compuestos; 2) el bromo; 3) el yodo; 4) el ozono; 5) el fenol y los compuestos fenólicos; 6) los alcoholes; 7) los metales pesados y los compuestos afines; 8) los colorantes; 9) los jabones; 10) los compuestos amoniacales cuaternarios; 11) el agua oxigena, y 12) ácidos y álcalis diversos.

Los desinfectantes más corrientes son los productos químicos oxidantes, de los cuales el cloro es el más universalmente empleado, aunque también se ha utilizado, para la desinfección de agua residual, el bromo y el yodo. El ozono es un desinfectante muy eficaz cuyo uso va en aumento.

- **Agentes físicos:** los desinfectantes físicos que se pueden emplear, son la luz y el calor.
- **Medios mecánicos:** las bacterias también se pueden eliminar, durante el tratamiento del agua residual, empleando medios mecánicos. En la tabla 2.2 se indican algunos rendimientos de eliminación de bacterias típicos para diferentes procesos de tratamiento.

**Tabla 2.2 Eliminación o destrucción de bacterias mediante diversos procesos de tratamientos. (Metcalf y Eddy, 1996)**

| Porcentaje de eliminación | Procesos                |
|---------------------------|-------------------------|
| 0-5                       | Tamices de malla gruesa |
| 10-20                     | Tamices de malla fina   |
| 10-25                     | Desarenadores           |
| 25-75                     | Sedimentación primaria  |
| 40-80                     | Sedimentación química   |
| 90-95                     | Filtros percoladores    |
| 90-98                     | Fangos activados        |

- **Radiación:** los principales tipos de radiación son la radiación electromagnética, la acústica y la radiación de partículas. Los rayos gamma se emiten a partir de elementos radioisótopos, como el cobalto 60. Dado su poder de penetración, los rayos gamma se han utilizado tanto para desinfección de agua potable como del agua residual.

## C.2. Factores que influyen en la acción de los desinfectantes

Al aplicar los métodos o agentes de desinfección, se deben tener en cuenta los siguientes factores.

- **Tiempo de contacto:** es una de las variables más importantes en el proceso de desinfección, la mortalidad de los patógenos aumenta cuanto mayor sea el tiempo de contacto. Esta observación fue hecha por Chick, y se puede denotar según la ecuación (Metcalf y Eddy, 1996):

$$dN = -\frac{kN_t}{dt}$$

(Ec.2.3)

donde:

$N_t$  = número de organismos en el instante  $t$

$t$  = tiempo: segundo

$k$  = constante, tiempo<sup>-1</sup>: adimensional

- **Tipo y concentración del agente químico:** según el tipo de agente químico empleado, y dentro de ciertos límites, se ha podido comprobar que la efectividad de la desinfección está relacionada con la desinfección. El efecto de la concentración se ha formulado empíricamente con la siguiente expresión (Metcalf y Eddy, 1996):

$$c^n t_p = \text{constante}$$

(Ec.2.4)

donde:

$C$  = concentración de los desinfectantes (mg/l)

$n$  = constante

$t_p$  = tiempo necesario para alcanzar un porcentaje de mortalidad constante

- **Intensidad y mortalidad de los agentes físicos:** se ha podido constatar que ambas variables están proporcionalmente relacionadas por su efectividad dentro de los métodos de desinfección.
- **Temperatura:** el efecto de la temperatura sobre la tasa de mortalidad se puede representar mediante una relación de Van' tHoff-Arrhenius. El aumento de la temperatura produce un aumento en la velocidad de la mortalidad. La relación de Van' tHoff-Arrhenius se describe en la siguiente ecuación (Metcalf y Eddy, 1996):

$$\ln \frac{t_1}{t_2} = \frac{E(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2} \quad (\text{Ec.2.5})$$

donde :

$E$ =energía de activación

$T_2$ =temperatura de salida

$T_1$ =temperatura de entrada

- **Número de organismos:** en un sistema diluido, como el agua residual, la concentración de organismos es muy raramente objeto de especial consideración.
- **Tipos de organismos:** la efectividad de los diferentes desinfectantes está influida por la naturaleza y condición de los organismos, es decir, existen organismos que se destruyen fácilmente, en cambio hay otros que son resistentes, por lo cual se evidencia que dependiendo del tipo de organismos los métodos de desinfección tendrán un escaso o ningún efecto sobre ellos.
- **Naturaleza del medio líquido:** además de todos los factores que se acaban de citar, también es necesario valorar con detenimiento la naturaleza del medio líquido, ya que puede haber materia orgánica extraña que reduzca la eficacia de los desinfectantes oxidantes al reaccionar con ellos.

#### **D. Desinfección con cloro**

El cloro es quizás el más universalmente utilizado, la razón de este hecho se fundamenta en que este elemento satisface la mayoría de las características ideales que debe tener un desinfectante. Los compuestos de cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son: el cloro gas ( $\text{Cl}_2$ ), el hipoclorito sódico ( $\text{NaOCl}$ ), el hipoclorito de calcio [ $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ] y el dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ). Los hipocloritos sódicos y cálcicos se suelen emplear en las plantas pequeñas, especialmente en las prefabricadas, en las que la simplicidad y seguridad son criterios de mayor peso que el costo.

#### **E. Decloración**

Es la eliminación de la totalidad del cloro combinado residual presente en el agua después de la cloración, para reducir los efectos tóxicos de los efluentes descargados a los cursos de agua receptores o destinados a la

reutilización. El producto químico que más se emplea para llevar a cabo la deodoración es el dióxido de azufre.

#### **F. Desinfección con dióxido de cloro**

El dióxido de cloro es otra sustancia bactericida cuyo poder de desinfección es igual o superior a la del cloro, y que se ha comprobado que resulta más efectivo que el cloro en la inhibición e inactivación de virus.

#### **G. Desinfección con cloruro de bromo**

El cloruro de bromo es un producto químico corrosivo y peligroso. Sin embargo, debido a su menor velocidad de vaporización, el cloruro de bromo es menos peligroso que el cloro. Para su uso como desinfectante el cloruro de bromo se alimenta en forma de gas licuado, no es posible clasificar este compuesto como un desinfectante de efectividad demostrada como la del cloro, pero se puede decir que es tan fiable, flexible y efectivo como el cloro.

#### **H. Desinfección con ozono**

A pesar de que, históricamente, su uso estaba limitado a la desinfección de aguas de abastecimiento, los recientes avances en materia de generación de ozono y de la tecnología de la disolución han permitido que el ozono se haya convertido en una posibilidad económicamente competitiva para la desinfección de las aguas residuales. En el tratamiento de aguas residuales, el ozono también se puede emplear para el control de olores y para la eliminación de materia orgánica soluble refractaria. La ozonación no produce sólidos disueltos ni se ve afectada por la presencia del ion amonio ni por el pH del agua que entra en el proceso de desinfección.

#### **I. Desinfección con luz ultravioleta**

Recientemente se ha experimentado un renovado interés en la aplicación de esta técnica de cara a la desinfección de aguas residuales. Se ha podido

comprobar que una correcta dosificación de rayos ultravioleta es un eficaz bactericida y virucida, además de no contribuir a la formación de compuestos tóxicos. Actualmente, el principal método de generación de radiación ultravioleta para la desinfección de las aguas residuales es la lámpara de arco de mercurio a baja presión, este instrumento presenta la ventaja de que el 85 por cien de la luz emitida es monocromática. Estas lámparas pueden estar suspendidas fuera del líquido o sumergidas en él.

### **2.2.3.3. Procesos biológicos unitarios**

Los métodos de tratamiento en donde la remoción de contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica se denominan como procesos biológicos unitarios. Su principal aplicación es la remoción de los constituyentes orgánicos biodegradables de las aguas residuales. Estas sustancias se transforman en gases que escapan a la atmósfera, y en tejidos celular biológico que puede ser removido por sedimentación. Los tratamientos biológicos también se emplean para remover nutrientes (nitrógeno y fósforo) (Crites y Thobanoglous, 2000). Entre los procesos biológicos más utilizados están:

#### **A. Lodos activados**

Es un método aerobio, continuo o discontinuo, para el tratamiento de las aguas residuales que incluyen oxidación de la materia orgánica y la nitrificación (figura 2.6). El proceso está basado en la aireación del agua residual con un cultivo de altas características floculentas, seguido por la separación de ese cultivo del agua tratada (Rodríguez et.al.2009).

#### **B. Lagunas de estabilización**

Las lagunas de estabilización incluidas en este tipo de tratamiento, son un depósito en el que el agua residual se trata en la modalidad de flujo continuo sin o con recirculación de sólidos. La principal función de este proceso es la

conversión de la materia orgánica. Las lagunas de estabilización pueden ser (Rivas, 1978).

- **Aerobias:** transforman la materia orgánica en presencia de oxígeno, el cual es suministrado por la fotosíntesis. Operan con recirculación del efluente y necesitan de gran terreno para su construcción.
- **Anaerobias:** transforman la materia orgánica en ausencia de oxígeno, aquí gran parte de la DBO se remueve por la reducción de la materia orgánica.
- **Facultativas:** pueden trabajar en presencia o ausencia de oxígeno. En los filtros biológicos la biomasa está adherida al material de contacto que constituye el reactor o unidad filtrante propiamente dicha. La materia orgánica disuelta entra en contacto con la masa microbiana a través de la fina película de agua que existe en la interfase del material en contacto y que constantemente, se remueve el paso del líquido bajo tratamiento.



Figura 2.6 Proceso de lodos activados (<http://www.reocities.com>)

#### **2.2.4. Caudal del agua residual**

En toda instalación de tratamiento de agua, es necesario analizar con detenimiento, a partir de datos disponibles, las características y variaciones de los caudales de aguas residuales, pues afectan en gran medida al diseño hidráulico tanto de las redes de alcantarillado como de las instalaciones de tratamiento (Ramalho, 1996).

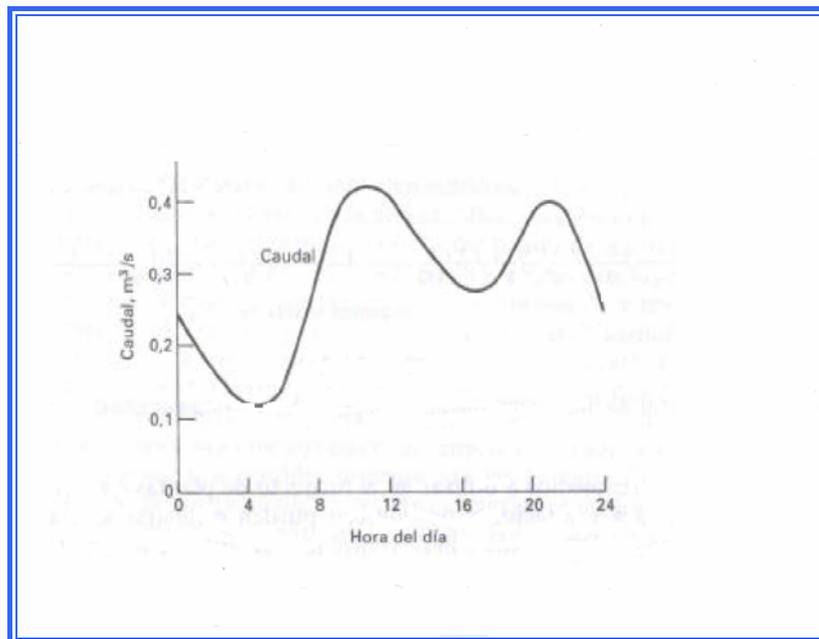
##### **2.2.4.1. Origen y caudales de las aguas residuales domésticas**

Las zonas residenciales y los centros comerciales constituyen las principales fuentes de generación de aguas residuales domésticas, aunque también debe tenerse en cuenta la importante contribución que representan los edificios institucionales y los espacios recreacionales (Metcalf y Eddy, 1996).

En el pasado, los estudios de crecimiento de la población que se empleaban para la estimación de los caudales de aguas residuales eran a menudo responsabilidad del ingeniero, pero hoy en día están disponibles en los diferentes organismos de planificación del territorio local, regional y estatal.

Los caudales del agua residual registrados en las plantas de tratamiento (figura.2.7) siguen aproximadamente una ley de variación diaria. En las primeras horas de la mañana, en las que el consumo de agua es mínimo, también son mínimos los caudales que se registran. La primera punta se alcanza cuando llega a las plantas de tratamiento el agua correspondiente al consumo punta, a última hora de la mañana. La segunda punta suele darse a última hora de la tarde, entre las 7 y las 9 h, aunque depende del tamaño de la comunidad como de la longitud de red del alcantarillado.

En la tabla 2.3 se muestran los periodos diferentes tipos de caudales usados durante investigaciones de aplicación de las aguas residuales.



**Figura. 2.7 Variación horaria típica de los caudales del agua residual doméstica (Metcalf y Eddy, 1996)**

**Tabla 2.3. Terminología empleada para cuantificar las variaciones de caudales (Crites y Tchobanoglous, 2000)**

| Términos                         | Descripción   |
|----------------------------------|---|
| Caudal promedio en tiempo seco   | Promedio de caudal diario permanente en periodos de tiempo seco con baja infiltración.  |
| Caudal promedio en tiempo húmedo | Promedio del caudal diario permanente en periodo de tiempo húmedo con alta infiltración.  |
| Caudal promedio anual diario     | Caudal promedio en periodo de 24 horas basado en datos anuales de caudal.   |
| Pico instantáneo                 | Mayor caudal registrado en un periodo acorde con el instrumento de registro. En muchos casos, caudal pico registrado puede ser considerablemente menor que el caudal pico real debido a limitaciones en los equipos de medición y de registro |
| Mínimo (promedio) horario        | Promedio de los caudales mínimos permanentes por un periodo de una hora en el registro examinado  |
| Mínimo (promedio) diario         | Promedio de caudales mínimos permanentes por un periodo de un día en el registro examinados   |
| Mínimo (promedio) semanal        | Promedio de los caudales mínimos permanentes por un periodo de una semana en el registro examinado  |
| Mínimo (promedio) mensual        | Promedio de caudales mínimos permanentes en un periodo de un mes en el registro examinado   |
| Máximo (promedio) horario        | Promedio de caudales máximos permanentes en un periodo de una hora en el registro examinado   |
| Máximo (promedio) diario         | Promedio de caudales máximo permanente en un periodo de un día en el registro examinado   |
| Máximo( promedio) semanal        | Promedio de caudales máximos permanentes por un periodo de una semana en el registro examinado  |
| Máximo( promedio) mensual        | Promedio de caudales máximos permanentes en un periodo de un mes en el registro examinado   |
| Caudal permanente                | Caudal cuyo valor persiste o es excedido durante un periodo de tiempo   |

## 2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los datos de caudal y concentración de constituyentes de las aguas residuales, involucra la determinación de parámetros estadísticos utilizados para cuantificar una serie de mediciones.

Entre los parámetros estadísticos y las técnicas más comúnmente usadas para el análisis de información de aguas residuales son: la media y la desviación estándar, coeficiente de variación, (Crites y Tchobanoglous, 2000).

**A. Media aritmética ( $\bar{X}$ ):** es la sumatoria de todos los datos obtenidos entre el número total de mediciones. Se expresa como (Cermeño, 2000):

$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n} \quad (\text{Ec.2.6})$$

**C. Desviación estándar:** mide en cuanto se alejan los datos con respecto a la media. Se expresa como (Cermeño, 2000):

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

(Ec.2.7)

## 2.4. ESTIMACIÓN DE COSTOS

En todo proceso industrial es necesario determinar el capital fijo y el capital de trabajo, los cuales no son más que el dinero que debe estar disponible para mantener una capacidad adecuada de materias primas y manejar otras situaciones que requieran disponer de dinero (Peters y Timmerhaus, 1981).

### 2.4.1. Inversión de capital

El capital necesario para proveer los equipos e instalaciones de la planta se denomina inversión de capital fijo, mientras que el capital necesario para la operación de la planta se denomina capital de trabajo. La suma de la

inversión de capital fijo y de capital de trabajo se conoce como inversión total de capital o simplemente inversión total.

La estimación del capital a invertir para un proceso varía desde una estimación preliminar hasta una estimación detallada; entre estos dos extremos pueden existir muchas otra clase de estimaciones, cuya exactitud varía de acuerdo con el grado del proyecto, éstas se explican en la tabla 2.4.

#### 2.4.2. Métodos para estimar la inversión de capital

Existen varios métodos para estimar la inversión de capital. La elección del método depende de la cantidad de información disponible y la exactitud que se desea obtener.

A continuación se describen algunos métodos para la estimación del capital a invertir (Peters y Timmerhaus, 1981):

- **Estimación detallada de cada rubro:** este método supone una cuidadosa determinación de cada uno de los rubros necesarios para instalar la planta, las necesidades de materiales y equipos se determinan a partir de planos y especificaciones completas y costos a partir de las cotizaciones de los fabricantes.
- **Estimación mediante costos unitarios:** este método permite estimaciones correctas de las inversiones de capital fijo, siempre que se disponga de buena información proveniente de experiencia previa en costos. Los datos sobre costos se toman de publicaciones o de información referencial de otros proyectos.
- **Porcentaje del equipo entregado:** este método requiere la determinación del costo del equipo entregado, para estimar el costo del resto de los rubros como porcentajes del costo de los equipos entregados.

**Tabla 2.4 Denominación de las estimaciones de costos (PetersTimmerhaus, 1981)**

|  | Tipos de costos | Descripción |
|--|-----------------|-------------|
|--|-----------------|-------------|

| Clasificación    |  |   |
|------------------|--|---|
| <b>Clase V</b>   | Estimación del orden de magnitud (estimación relativa) | Basada en datos previos sobre costos similares; esta estimación tiene una exactitud por encima del 30 %                               |
| <b>Clase IV</b>  | Estimación de estudio                                  | Basada en el conocimiento de los equipos más importantes; tiene una exactitud hasta un 30 %   |
| <b>Clase III</b> | Estimación preliminar (de los márgenes)                | Se basa en suficiente información como para que se pueda preparar un presupuesto; tiene una exactitud del 20%                         |
| <b>Clase II</b>  | Estimación definitiva (para el control del proyecto)   | Su información es casi completa pero es anterior a los diseños y especificaciones definitivas; su porcentaje de exactitud es del 10 % |
| <b>Clase I</b>   | Estimación detallada (del contratista)                 | Basada en los planos definitivos, especificaciones y estados del terreno; tiene una exactitud dentro del 5 %                          |

## CAPÍTULO 3

### DESARROLLO DEL TRABAJO

#### 3.1 MEDICIÓN DEL CAUDAL DEL EFLUENTE A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR

La medición de caudal del efluente a la salida del tratamiento preliminar, se realizó los días (19/09/2009, 02/04/2010, 21/10/2009, 26/11/2009, 04/11/2009, 06/02/2010, 14/02/2009) hasta completar una semana, cada hora en un periodo de 6:00 am a 6:00 pm, mediante un dispositivo de medición instalado en el último vertedero del tratamiento preliminar (figura 3.1), el cual esta provisto de una regleta graduada en cm, a través de la cual se obtuvo la altura del agua tratada y en base a esta altura registrada se leyó en una tabla (tabla 3.1) los caudales en l/s, los valores se reportan en la tabla 3.2.

A continuación se presenta la expresión matemática que permite determinar los caudales expuestos en la tabla 3.1 (Halcrow, 1995):

$$h = 0,68 \left( \frac{Q}{b} \right)^{2/3} \quad (\text{Ec.3.1})$$

donde:

h= profundidad de agua arriba del vertedero (m)

Q= caudal que pasa por encima del vertedero (m<sup>3</sup>/s)

b= ancho del vertedero (m)

Reorganizando la ecuación 3.1 para dar Q derivado de h, y convirtiendo a las unidades de Q en l/s, y h en cm:

$$Q \text{ (l/s)} = \left[ \frac{((h/100) \times b^{2/3})}{0,68} \right]^{3/2} \times 1000 \quad (\text{Ec.3.2})$$



**Figura 3.1 Regleta graduada para la medición del caudal ubicada al final del tratamiento preliminar**

**Tabla 3.1 Caudales del efluente de la planta (Halcrow, 1995).**

| Altura (cm) | Caudal (l/s) | Caudal (m <sup>3</sup> /d)* | Caudal ( l/d)* |
|-------------|--------------|-----------------------------|----------------|
| 0,0         | 0            | 0                           | 0              |
| 0,5         | 7            | 604,80                      | 604.800        |
| 1,0         | 19           | 1641,60                     | 1.641.600      |
| 1,5         | 35           | 3024,00                     | 3.024.000      |
| 2,0         | 54           | 4665,60                     | 4.665.600      |
| 2,5         | 76           | 6566,40                     | 6.566.400      |
| 3,0         | 100          | 8640,00                     | 8.640.000      |
| 3,5         | 125          | 10800,00                    | 10.800.000     |
| 4,0         | 153          | 13219,20                    | 13.219.200     |
| 4,5         | 183          | 15811,20                    | 15.811.200     |
| 5,0         | 214          | 18489,60                    | 18.489.600     |
| 5,5         | 247          | 21340,80                    | 21.340.800     |
| 6,0         | 281          | 24278,40                    | 24.278.400     |
| 6,5         | 317          | 27388,80                    | 27.388.800     |
| 7,0         | 355          | 30672,00                    | 30.672.000     |

|      |      |           |             |
|------|------|-----------|-------------|
| 7,5  | 393  | 33955,20  | 33.955.200  |
| 8,0  | 433  | 37411,20  | 37.411.200  |
| 8,5  | 475  | 41040,00  | 41.040.000  |
| 9,0  | 517  | 44668,80  | 44.668.800  |
| 9,5  | 561  | 48470,40  | 48.470.400  |
| 10,0 | 606  | 52358,40  | 52.358.400  |
| 10,5 | 652  | 56332,80  | 56.332.800  |
| 11,0 | 699  | 60393,60  | 60.393.600  |
| 11,5 | 747  | 64540,80  | 64.540.800  |
| 12,0 | 796  | 68774,40  | 68.774.400  |
| 12,5 | 846  | 73094,40  | 73.094.400  |
| 13,0 | 898  | 77587,20  | 77.587.200  |
| 13,5 | 950  | 82080,00  | 82.080.000  |
| 14,0 | 1003 | 86659,20  | 86.659.200  |
| 14,5 | 1058 | 91411,20  | 91.411.200  |
| 15,0 | 1113 | 96163,20  | 96.163.200  |
| 15,5 | 1169 | 101001,60 | 101.001.600 |
| 16,0 | 1226 | 105926,40 | 105.926.400 |
| 16,5 | 1284 | 110937,60 | 110.937.600 |
| 17,0 | 1343 | 116035,20 | 116.035.200 |
| 17,5 | 1402 | 121132,80 | 121.132.800 |
| 18,0 | 1463 | 126403,20 | 126.403.200 |
| 18,5 | 1524 | 131673,60 | 131.373.600 |
| 19,0 | 1586 | 137030,40 | 137.030.400 |
| 19,5 | 1649 | 142473,60 | 142.473.600 |
| 20,0 | 1713 | 148003,20 | 148.003.200 |
| 20,5 | 1778 | 153619,20 | 153.619.200 |
| 21,0 | 1843 | 159235,20 | 159.235.200 |
| 21,5 | 1909 | 164937,60 | 164.937.600 |
| 22,0 | 1976 | 170726,40 | 170.726.400 |
| 22,5 | 2044 | 176601,60 | 176.601.600 |

\*Cálculos propios

**Tabla 3.2 Valores de caudal diario del efluente a la salida del tratamiento preliminar**

| Hora     | Lunes<br>(19/09/2009) |            | Martes<br>(02/04/2010) |            | Miércoles<br>(21/10/2009) |            | Jueves<br>(26/11/2009) |            | Viernes<br>(04/11/2010) |            | Sábado<br>(06/02/2010) |            | Domingo<br>14/02/2010) |            |
|----------|-----------------------|------------|------------------------|------------|---------------------------|------------|------------------------|------------|-------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|
|          | Altura<br>(cm)        | Q<br>(l/s) | Altura<br>(cm)         | Q<br>(l/s) | Altura<br>(cm)            | Q<br>(l/s) | Altura<br>(cm)         | Q<br>(l/s) | Altura<br>(cm)          | Q<br>(l/s) | Altura<br>(cm)         | Q<br>(l/s) | Altura<br>(cm)         | Q<br>(l/s) |
| 6:00 am  | 1,5                   | 35         | 2,0                    | 54         | 0,5                       | 7,0        | 1,5                    | 35         | 1,5                     | 35         | 1,5                    | 35         | 2,0                    | 54         |
| 7:00 am  | 1,0                   | 19         | 2,5                    | 76         | 1,0                       | 19         | 0,0                    | 0,0        | 2,0                     | 54         | 1,0                    | 19         | 2,0                    | 54         |
| 8:00 am  | 3,5                   | 125        | 2,0                    | 54         | 2,5                       | 76         | 0,0                    | 0,0        | 2,0                     | 54         | 0,5                    | 7,0        | 1,5                    | 35         |
| 9:00 am  | 2,5                   | 76         | 2,0                    | 54         | 0,5                       | 7,0        | 0,0                    | 0,0        | 2,5                     | 76         | 0,0                    | 0,0        | 0,0                    | 0,0        |
| 10:00 am | 1,0                   | 19         | 1,5                    | 35         | 2,0                       | 54         | 2,5                    | 76         | 1,0                     | 19         | 0,0                    | 0,0        | 0,0                    | 0,0        |
| 11:00 am | 2,0                   | 54         | 2,0                    | 54         | 2,5                       | 76         | 0,0                    | 0,0        | 1,5                     | 35         | 1,0                    | 19         | 0,0                    | 0,0        |
| 12:00 pm | 1,0                   | 19         | 2,0                    | 54         | 1,0                       | 19         | 1,0                    | 0,0        | 1,0                     | 19         | 0,0                    | 0,0        | 0,0                    | 0,0        |
| 1:00 pm  | 3,0                   | 100        | 0,0                    | 0,0        | 0,5                       | 7,0        | 1,5                    | 0,0        | 1,0                     | 19         | 2,5                    | 76         | 3,0                    | 100        |

|         |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|         |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 2:00 pm | 1,0 | 19 | 2,0 | 54  | 3,0 | 100 | 3,0 | 100 | 3,0 | 100 | 2,0 | 54  | 2,5 | 76  |
| 3:00 pm | 2,5 | 76 | 2,5 | 76  | 2,5 | 76  | 1,0 | 19  | 1,0 | 19  | 3,0 | 100 | 2,0 | 54  |
| 4:00 pm | 1,0 | 19 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 54  | 0,5 | 7,0 | 2,0 | 54  | 2,5 | 76  | 1,0 | 19  |
| 5:00 pm | 2,0 | 54 | 2,0 | 54  | 1,5 | 35  | 1,0 | 19  | 1,5 | 35  | 1,0 | 19  | 0,0 | 0,0 |
| 6:00 pm | 2,0 | 54 | 1,5 | 35  | 2,0 | 54  | 2,0 | 54  | 2,0 | 54  | 2,0 | 54  | 0,0 | 0,0 |

### 3.1.1 Determinación del caudal promedio del efluente a la salida del tratamiento preliminar de la planta

La determinación del caudal promedio diario y mensual se calculó por medio de la ecuación 3.3 a la salida del tratamiento preliminar.

Para el cálculo del caudal promedio diario el día lunes 19 de octubre de 2009, tomando los valores de caudal que se encuentran reportados en la tabla 3.3 se tiene que (Cermeño, 2000):

$$\bar{Q}_{op} = \frac{\sum Q_{oi}}{n^0} \quad (\text{Ec.3.3})$$

donde:

$Q_{op}$ = caudal promedio de operación (l/s)

$Q_{oi}$ = caudal promedio diario, mensual (l/s)

$n^0$ = número de muestreos por días

**Tabla 3.3 Valores obtenidos de caudal en el efluente del tratamiento preliminar durante el día 19/10/2009.**

| Hora           | Caudal (l/s) | Caudal (l/d) | Caudal (m <sup>3</sup> /d)     |
|----------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| 6:00 am        | 35           | 3.024.000    | 3024                           |
| 7:00 am        | 19           | 1.641.600    | 1641,60                        |
| 8:00 am        | 125          | 10.800.000   | 10800                          |
| 9:00 am        | 76           | 6.566,400    | 6566,4                         |
| 10:00 am       | 19           | 1.641.600    | 1641,6                         |
| 11:00 am       | 54           | 4.665.600    | 4665,6                         |
| 12:00 pm       | 19           | 1.641.600    | 1641,6                         |
| 1:00 pm        | 100          | 8.640.000    | 8640                           |
| 2:00 pm        | 19           | 1.641.600    | 1641,6                         |
| 3:00pm         | 76           | 6.566.400    | 6566,4                         |
| 4:00 pm        | 19           | 1.641.600    | 1641,6                         |
| 5:00 pm        | 54           | 4.665.600    | 4665,6                         |
| 6:00 pm        | 54           | 4.665.600    | 4665,6                         |
| $\bar{Q}_{op}$ |              |              | <b>4446,29 m<sup>3</sup>/d</b> |

Los datos obtenidos durante las mediciones semanal del caudal realizadas se encuentran reportadas en la tabla 3.2 y los resultados del cálculo del caudal promedio diario para los diferentes días de muestreo se encuentran reportados en la tabla 4.2.

El cálculo del caudal promedio mensual y anual correspondiente al periodo enero 2009 hasta mayo 2010 se realizó de igual manera que el proceso anterior tomando los datos del libro diario de la planta tomados por el personal a solicitud del ingeniero inspector de la planta de tratamiento los cuales se encuentran reportados en las tablas de datos A.1 a A.12 y los

resultados de los caudales mensual y anual promedios se reportan B.1 a B.14.

### **3.1.2 Descripción general de las estaciones de bombeo que descargan en la planta de tratamiento preliminar de las aguas residuales de Barcelona**

Con la finalidad de facilitar la comprensión de las estaciones de bombeo que tienen como dirección de descarga la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica ubicada en Barcelona, a continuación se detallan estos sistemas de drenaje y sus principales componentes (figura 3.2).

**a. Estación de bombeo Buenos Aires:** es una instalación de tipo pozo húmedo y seco, recibe las aguas de las zonas aledañas a la estación y adicionalmente las aguas provenientes de las estaciones El Recreo, Bienestar, Tricentenario, Portugal, El Espejo, La Aduana y Camino Nuevo. Las múltiples estaciones que descargan en dicha estación y la gran cuenca que abarca, la hace una de las más importantes de la zona metropolitana (Salazar y Somoza, 2007):

- **Equipos**

Esta estación cuenta con:

- ❖ 3 bombas, (actualmente operativa 1)
- ❖ Hidroneumático
- ❖ Planta de emergencia
- ❖ Separadores de sólidos

- **Capacidad de bombeo:** 1036 l/s
- **Caudal actual:** 350 l/s

#### **a.1 Estaciones de bombeo secundarias:**

Estas estaciones de bombeo forman parte de las subcuencas menores que descargan a la estación principal de Buenos Aires (Dirección General de Equipamiento ambiental, 2004):

**a.1.1 Estación de bombeo Camino Nuevo:** cuenta con un caudal de 125 l/s y una tubería de impulsión de  $\varnothing=300$  mm y L=650m.

**a.1.2 Estación de bombeo Colombia:** cuenta con un caudal de 95 l/s y una tubería de impulsión de  $\varnothing= 300$  mm y L=650 m.

**a.1.3 Estación de bombeo La Aduana:** cuenta con un caudal de 76 l/s y una tubería de impulsión  $\varnothing=250$  mm y L=450 m.

**a.1.4 Estación de bombeo El Recreo, Bienestar, Tricentenaria y La Montañita:** Todas cuentan con un caudal de 94 l/s y una tubería de impulsión de:

- La Montañita  $\varnothing=6''$  y L= 18 m
- El Recreo  $\varnothing=6''$  y L= 63 m
- Bienestar  $\varnothing=6''$  y L= 871 m

## **a.2 Colectores principales**

**a.2.1 Colector Pedro María Freites:** es el principal de la red de cloacas de la ciudad de Barcelona cuenta con una L= 1454 m y un  $\varnothing= 600$  mm a 1000 mm.

Recibe una cuenca aportante de 285 ha, lo que equivale al casco central de la ciudad Barcelona, Barrio Camino Nuevo, Barrio Buenos Aires, La Aduana entre otros.

**a.2.2 Colector Palotal:** este colector esta trabajando a presión en algunos de sus tramos, cuenta con una tubería de  $\varnothing= 500$ mm y L=820 m, recibe aguas de las subcuencas de Portugal (incluyendo a Guamachito y La Resistencia).

**a.2.3 Colector Avenida 5 de Julio-Zamora:** este colector recibe las aguas de la subcuenca La Aduana.

**b. Estación de bombeo Barrio Sucre:** recibe las aguas de su zona circunvecina y el rebombeo de la estación El Espejo, sus instalaciones posee

cerca perimetral de malla de ciclón, pared de mampostería, un portón metálico posee un pozo húmedo (Salazar y Somoza, 2007):

- **Equipos**

Esta estación cuenta con:

- ❖ 3 bombas, (actualmente operativa 1)
- ❖ Hidroneumático

- **Capacidad de bombeo:** 354 l/s

- **Caudal actual:** 170 l/s

Las aguas residuales son conducidas a través de una tubería de impulsión de  $\varnothing= 500\text{mm}$  y  $L=1400\text{m}$  que llega a un colector de gravedad de  $\varnothing= 800\text{ mm}$  y  $L= 1600\text{ m}$  y éste a su vez descarga al colector Oeste de la Avenida Intercomunal en la estación de bombeo Paris, esto se empleó rápidamente para evitar seguir contaminado al río Neverí (Dirección General de Equipamiento Ambiental, 2004).

### **b.1 Estaciones de bombeo secundarias**

Estas estaciones de bombeo forman parte de las subcuencas menores que descargan a la estación de Barrio Sucre las cuales son (Dirección General de Equipamiento Ambiental, 2004):

**b.1.1 Estación de bombeo Portugal:** es la principal subcuenca de la estación de Barrio Sucre, descarga por un tubería de impulsión de  $\varnothing= 350\text{ mm}$  y  $L= 175\text{ m}$  al colector de Palotal que culmina en la estación de bombeo de Buenos Aires, posee un caudal de 300 l/s.

**b.1.2 Estación de bombeo Guamachito:** esta estación descarga por una tubería de impulsión de  $\varnothing= 300\text{ mm}$  y  $L= 149\text{ m}$  a la red cloacas de la cuenca de la estación de bombeo de Portugal, cuenta con un caudal de 110 l/s.

**b.1.3 Estación de bombeo La Resistencia:** esta estación descarga por una tubería de impulsión de  $\varnothing= 150\text{ mm}$  y  $L= 170\text{ m}$  y un caudal de 33 l/s.

## **b.2 Colectores principales**

**b.2.1 Colector Portugal:** cuenta con una L= 1800 a 2000 m y un diámetro de acuerdo al gasto de la zona.

De acuerdo al estudio realizado por Salazar y Somoza (2007), la distribución de las estaciones de bombeo que se muestran en la figura 3.2, los caudales correspondientes a cada una de las subestaciones que descargan tanto en la estación de bombeo de Buenos Aires y la de Barrio Sucre no correspondían a lo que dichas aguas se encontraban bombeando, esto hace pensar que las bombas y manejos de dichas instalaciones no están en buen funcionamiento y esto provoca fallas continuamente a todas estas estaciones de bombeo.

## **3.2 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL**

Para la determinación de la composición del agua residual se tomaron muestras en el canal de entrada a la planta, a la salida del desbaste y a la salida del desarenador-desnatador, el muestreo consistió en muestras puntuales tomadas dos veces por mes durante seis meses en una hora comprendida entre las (9 - 10 am), la ubicación de estos puntos se puede ver con mayor claridad en la figura (3.3). La captación de las muestras puntuales se realizó siguiendo el siguiente procedimiento:

- a. Se tomó muestra de agua a través de un recipiente plástico en los puntos indicados
- b. Se almacenaron las muestras en frascos de vidrio de varios tamaños, bien limpios, previamente curados e identificados.
- c. Se guardaban las muestras en una cava, para ser transportadas hasta el sitio de análisis, esto se tenía que hacer a la brevedad posible ya que, existían pruebas o análisis

cuyas muestras tienen tiempos estipulados para ser procesados por problemas de biodegradabilidad

El análisis de las muestras captadas para la determinación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua residual en estudio se realizó siguiendo lo establecido en los métodos estándar para el análisis de aguas y aguas de desecho (AWWA, WEF, APHA, 1998).

Los análisis de cada una de las muestras se realizaron en los siguientes laboratorios: Laboratorio de Suelo y Aguas del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA), Laboratorios de Estudios Ambientales y de Hidrocarburos del Departamento de Ingeniería Química de la UDO-Anzoátegui y Centro de Investigaciones Tecnológicas de Oriente (Cito) de en un período no mayor de cuatro horas después de tomada la muestra.

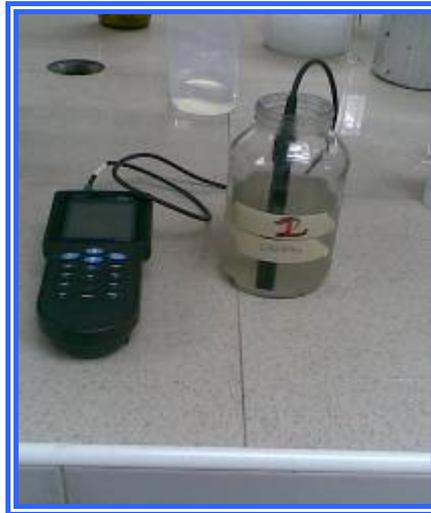
### **3.2.1 Procedimiento experimental para la determinación de los parámetros de calidad del agua residual.**

#### **3.2.1.1 Parámetros físicos**

##### **a. Temperatura (ME-2550-B)**

Para la determinación de la temperatura, se sumergió el electrodo del medidor de temperatura en cada una de las muestras tal y como se ilustra en la (figura 3.4) y se tomó la lectura indicada por el equipo. Para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009, se registró un valor de temperatura de 35 °C.

De igual modo se obtienen los valores de temperatura para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.4.



**Figura disueltos 3.4 Medición de temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales**

**Tabla 3.4 Valores de temperatura para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador**

| Fecha    | Temperatura(°C)<br>Canal de entrada | Temperatura(°C)<br>Salida del desbaste | Temperatura(°C)<br>Salida del desarenador-desnatador |
|----------|-------------------------------------|--|--|
| *20/1/09 | 20                                  | ----                                   | 19   |
| *26/5/09 | 30,3                                | ----                                   | 30,4   |
| 8/12/09  | 35                                  | 35                                     | 35,4   |
| 12/2/10  | 29,3                                | 29,7                                   | 30,2   |
| 10/3/10  | 32,2                                | 32,0                                   | 31,5   |
| 12/4/10  | 32,2                                | 30,7                                   | 31,7   |
| 08/05/10 | 30,1                                | 31,1                                   | 32,1   |
| 8/6/10   | 29,9                                | 29,8                                   | 30,8   |
| 14/6/10  | 29,7                                | 29,65                                  | 30,5   |
| 29/6/10  | 29,8                                | 30,3                                   | 31,7   |

---- Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

### b. Conductividad eléctrica (ME-4520-B)

Para la determinación de la conductividad eléctrica, se sumergió el electrodo del medidor de conductividad en cada una de las muestras tal y como se ilustra en la (figura 3.4) y se tomó la lectura indicada por el equipo. Para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009, se registró un valor de conductividad eléctrica de 1299  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

De igual modo se obtienen los valores de temperatura para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.5

**Tabla 3.5 Valores de conductividad eléctrica para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, y salida del desarenador-desnatador**

| Fecha    | Conductividad eléctrica<br>Canal de entrada<br>( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) | Conductividad eléctrica<br>Salida del<br>desbaste ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) | Conductividad eléctrica<br>Salida del<br>desarenador-<br>desnatador ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) |
|----------|--|---|---|
| *20/1/09 | 1896   | ----  | 1690  |
| *26/5/09 | 1790   | ----  | 1693,5  |
| 8/12/09  | 1299   | 1433  | 1384  |
| 12/2/10  | 1461   | 1474  | 1451  |
| 10/3/10  | 1890   | 1987  | 1611  |
| 12/4/10  | 1494   | 1631  | 1413  |
| 08/05/10 | 1255   | 1435  | 1485  |
| 8/6/10   | 1242   | 1293  | 1317  |
| 14/6/10  | 1265   | 1285  | 1320  |

---- Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

### c. Sólidos sedimentables (SSD) (ME-2534)

- Se agitó vigorosamente la muestra (homogeneizar).
- Se colocó 600 ml de la muestra dentro del cono de Imhoff
- Se dejó reposar por 45 minutos y finalmente se tomó la lectura en el cono, marcada por la cantidad de sólidos sedimentados (ml/l) para el

canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009 el cual fue de SSD=0,5(ml/l)

De igual modo se obtiene los valores de sólidos sedimentados (figura 3.5) para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.6.



Figura 3.5 Medición de sólidos sedimentables

Tabla 3.6 Valores de sólidos sedimentables y sólidos totales disueltos para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador

| Fecha    | Canal de entrada |            | Salida del desbaste |            | Salida del desarenador-desnatador |            |
|----------|------------------|------------|---------------------|------------|-----------------------------------|------------|
|          | SSD (ml/l)       | STD (ml/l) | SSD (ml/l)          | STD (ml/l) | SSD (ml/l)                        | STD (ml/l) |
| *20/1/09 | 2                | 1213,4     | ----                | ----       | 6                                 | 1081,98    |
| *26/5/09 | 2                | 1145,6     | ----                | ----       | 0,2                               | 1083,84    |
| 08/12/09 | 0,5              | 595        | 0,3                 | 669        | 0,03                              | 639        |
| 12/2/10  | 0,25             | 645        | 0,23                | 679        | 0,23                              | 669        |
| 10/3/10  | 0,4              | 358        | 0,1                 | 688        | 0,01                              | 737        |
| 12/4/10  | 0,4              | 655        | 0,1                 | 726        | 0,01                              | 625        |
| 08/05/10 | 0,3              | 955        | 0,1                 | 1020       | 0,01                              | 1021       |
| 08/6/10  | 0,4              | 1108       | 0,3                 | 1156       | 0,02                              | 1161       |
| 14/6/10  | 0,4              | 1106       | 0,3                 | 1165       | 0,01                              | 1168       |
| 29/6/10  | ----             | ----       | ----                | ----       | ----                              | ----       |

----Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

#### **d. Sólidos disueltos totales (SDT) (ME- 2540 B)**

Para la determinación de sólidos totales disueltos, se sumergió el electrodo del medidor como se muestra en la (figura 3.4) en cada una de las muestras y se tomó la lectura indicada por el equipo. Para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009, se registró un valor de sólidos totales disueltos TDS=595 (ml/l)

De igual modo se obtienen los valores de sólidos totales disueltos para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.6.

#### **e. Color (ME- 8025)**

- Se añadió 50 ml de muestra problema en un fiola con tapa de filtro
- Se procedió a encender la bomba para suministrar aire a la muestra, se deja por espacio de 15 minutos y luego se apaga.
- Se tomó 10 ml de la muestra aireada y se añadió a una celda de reacción y se introdujo en el equipo (figura 3.6) se introduce el numero del programa para el análisis de color: 125 y luego presiona enter. La pantalla muestra una longitud de onda de 465.
- Se tomó la lectura indicada la cual fue de 290 (Pt-Co) para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009.

De igual modo se obtienen los valores de color para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.7.



**Figura 3.6 Medición del Color, turbidez, nitritos, nitratos**

**Tabla 3.7 Valores de color y detergente para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador**

| Fecha    | Canal de entrada |                   | Salida del desbaste |                   | Salida del desarenador-desnatador |                   |
|----------|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|
|          | Color (Pt-Co)    | Detergente (mg/l) | Color (Pt-Co)       | Detergente (mg/l) | Color (Pt-Co)                     | Detergente (mg/l) |
| *20/1/09 | ----             | ----              | ----                | ----              | ----                              | ----              |
| *26/5/09 | ----             | ----              | ----                | ----              | ----                              | ----              |
| 8/12/09  | 269              | 6,9               | 225                 | 5,9               | 212                               | 4,77              |
| 12/2/10  | 130              | 5,65              | 125                 | 5,25              | 122                               | 4,25              |
| 10/3/10  | 144              | 4,89              | 113                 | 4,73              | 114                               | 4,47              |
| 12/4/10  | 250              | 4,63              | 238                 | 4,53              | 233                               | 4,38              |
| 08/05/10 | 160              | 4,44              | 152                 | 4,33              | 151                               | 4,21              |
| 8/6/10   | 145              | 4,78              | 141                 | 4,51              | 139                               | 3,71              |
| 14/6/10  | 148              | 4,83              | 138                 | 4,54              | 143                               | 3,57              |
| 29/6/10  | ----             | ----              | ----                | ----              | ----                              | ----              |

----Parámetro no realizado  
el MPPA

\* Informe de análisis realizados por

#### **f. Turbiedad (HACH) (ME- 8237)**

- Se Introdujo el número del programa para el análisis de turbidez: 750 y luego se presiona enter. La pantalla muestra dial nm to 860
- Luego se roto la perilla de la longitud de onda hasta que la pantalla mostró 860 nm y cero.
- Se colocó 25 ml de agua desionizada (blanco) en la celda de la muestra, se introdujo en el receptáculo de la muestra y se cerró el escudo para luz.
- Se presionó cero y la pantalla mostró la lectura.
- Se colocó 25 ml de muestra en otra celda.
- Inmediatamente se colocó esta celda en el receptáculo de la muestra y se cerró el escudo de luz.
- Se presionó leer y el resultado mostrado como Formazina Unidades de atenuación (Formazin Attenuation Units) (FAU) fue de 50 (UNT)

para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009.

De igual modo se obtienen los valores de turbidez (figura 3.6) para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Valores de turbidez para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador**

| Fecha    | Turbidez Canal de entrada (UNT) | Turbidez Salida del desbaste (UNT) | Turbidez Salida del desarenador-desnatador (UNT) |
|----------|---------------------------------|------------------------------------|--|
| *20/1/09 | 54                              | ----                               | 56   |
| *26/5/09 | 20                              | ----                               | 23   |
| 8/12/09  | 50                              | 55                                 | 98   |
| 12/2/10  | 64                              | 60                                 | 58   |
| 10/3/10  | 75                              | 71,46                              | 86,6   |
| 12/4/10  | 72                              | 65                                 | 64   |
| 08/05/10 | 45                              | 43                                 | 53   |
| 8/6/10   | 33,2                            | 33,7                               | 18,1   |
| 14/6/10  | 33,4                            | 33,4                               | 18,4   |

---- Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

### 3.2.1.2 Parámetros químicos inorgánicos

#### a. pH (ME-4500-H-B)

Para la determinación de pH, se sumergió el electrodo del medidor de pH en cada una de las muestras y se tomó la lectura indicada por el equipo. Para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009, se registró un valor pH de 7,3.

De igual modo se obtienen los valores de pH (figura 3.4) para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9 Valores de pH para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, y salida del desarenador-desnatador**

| Fecha    | pH Canal de entrada | pH Salida del desbaste | pH Salida del desarenador-desnatador |
|----------|---------------------|------------------------|--------------------------------------|
| *20/1/09 | 7,29                | ----                   | 7,09                                 |
| *26/5/09 | 7,19                | ----                   | 6,89                                 |
| 8/12/09  | 7,30                | 7,14                   | 7,41                                 |
| 12/2/10  | 7,73                | 7,73                   | 7,73                                 |
| 10/3/10  | 7,60                | 7,75                   | 7,40                                 |
| 12/4/10  | 7,51                | 7,51                   | 7,63                                 |
| 08/05/10 | 7,45                | 7,45                   | 7,30                                 |
| 8/6/10   | 7,30                | 7,50                   | 7,66                                 |
| 14/6/10  | 7,33                | 7,57                   | 7,63                                 |
| 29/6/10  | 6,74                | 6,78                   | 6,55                                 |

---- Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

### b. Nitrógeno total

El contenido total de nitrógeno esta compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos según la ecuación 3.4 (Siles y colaboradores, 2008):

$$\text{Nitroógeno total} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = (\text{Nitritos} + \text{Nitratos} + \text{Nitógeno amoniacal}) \quad (\text{Ec.3.4})$$

Para la determinación del contenido de total de nitrógeno no se consideró la concentración del nitrógeno amoniacal debido a que el proceso de hidrólisis de la urea no se da muy rápidamente pues que el valor promedio de pH se encuentra por debajo del rango establecido según (Siles y colaboradores, 2008). De esta manera se determinó la concentración del nitrógeno total con la suma de la concentración nitritos más los nitratos según la siguiente ecuación 3.5:

$$\text{Nitrógeno total} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = (\text{Nitritos} + \text{Nitratos}) \quad (\text{Ec.3.5})$$

### **b.1 Determinación de nitritos (HACH DR/2010) (ME- 8507)**

- Se introdujo el número del programa para el análisis de nitrito: 371 y luego se presionó enter. La pantalla mostró dial nm to 507.
- Se rotó la perilla de la longitud de onda hasta que la pantalla mostró 507 nm. (Cuando la longitud de onda correcta aparezca en pantalla se mostrará rápidamente: cero y luego mg/L NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N LR)
- Se midió 10 ml de muestra y se añadió a una celda.
- Se añadió el contenido de un sobre del reactivo NitriVer3
- Se tapó la celda y agitó para disolver
- Se espero un período de reacción de 20 minutos
- Cuando el cronómetro emitió un pitido, la pantalla mostró mg/L NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N LR
- Se llenó un vial vacío con 10 ml de la muestra (blanco).
- Se colocó la celda con el blanco sobre el elevador de viales y se cerró la tapa del instrumento
- Se presionó cero
- Se colocó la muestra preparada en el adaptador del vial y se cerró la tapa del instrumento.
- Se presionó leer y la pantalla mostró la lectura
- El resultado fue mostrado como mg/L de nitrito como nitrógeno el cual fue de 0,089 mg/l para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009.

De igual modo se obtienen los valores de nitrito (figura 3.6) para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.10.

### **b.2 Determinación de nitratos (HACH DR/2010) (ME- 8192)**

- Se Introdujo el número del programa para el análisis de nitrito: 351 y luego se presiono enter. La pantalla mostró dial nm to 507.

- Se rotó la perilla de la longitud de onda hasta que la pantalla mostró 507 nm. (Cuando la longitud de onda correcta aparezca en pantalla se mostrará rápidamente: cero y luego mg/L  $\text{NO}_2^-$  - N LR)
- Se midió 25 ml de muestra y se añadió a una celda.
- Se añadió el contenido de una sobre de reactivo NitriVer3 a la celda de la muestra. Se tapó y se agitó para disolver.
- Se espero un período de reacción de 10 minutos.
- Cuando el cronómetro emitió un pitido, la pantalla mostró mg/L  $\text{NO}_2^-$  - N LR
- Se llenó otra celda con 25 ml de la muestra (blanco).
- Se colocó la celda en el receptáculo de la celda.
- Se presiono cero
- Dentro de los 10 minutos siguientes a la emisión del pitido por parte del equipo, se colocó la celda con la muestra en el receptáculo de los viales.
- Se presiono leer. La pantalla mostró la lectura
- El resultado fue mostrado como mg/L de nitrato el cual fue de 17,7 mg/l para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009.

De igual modo se obtienen los valores de nitrato (figura3.6) para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10 Valores de nitratos y nitritos para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador**

| Fecha    | Canal de entrada |                 | Salida del desbaste |                 | Salida del desarenador-desnatador |                 |
|----------|------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
|          | Nitratos (mg/l)  | Nitritos (mg/l) | Nitratos (mg/l)     | Nitritos (mg/l) | Nitratos (mg/l)                   | Nitritos (mg/l) |
| *20/1/09 | ----             | ----            | ----                | ----            | ----                              | ----            |
| *26/5/09 | ----             | ----            | ----                | ----            | ----                              | ----            |
| 8/12/09  | 17,7             | 0,089           | 16,40               | 0,101           | 21,90                             | 0,101           |
| 12/2/10  | 16,75            | 0,018           | 15,75               | 0,025           | 15,43                             | 0,028           |
| 10/3/10  | 21,22            | 0,054           | 20,11               | 0,040           | 20,05                             | 0,039           |
| 12/4/10  | 21,87            | 0,065           | 19,87               | 0,045           | 19,77                             | 0,033           |
| 8/6/10   | 22,33            | 0,075           | 20,37               | 0,072           | 19,15                             | 0,39            |
| 14/6/10  | 25,10            | 0,66            | 23,10               | 0,42            | 18,56                             | 0,48            |

----Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

La determinación del nitrógeno total será la suma de los nitritos más los nitratos según la siguiente ecuación 3.5

El nitrógeno total para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009, donde nitrito= 0,089 mg/l y nitratos= 17,7mg/l, tomados de la tabla 3.13 y sustituyendo los valores en la ecuación 3.5 se tiene que:

$$\text{Nitrógeno total} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = (0,089 + 17,7)$$

$$\text{Nitrógeno total} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = 17,789$$

De igual modo se obtiene el nitrógeno total para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.11.

**Tabla 3.11 Valores de nitrógeno total y grasas y aceites para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador**

| Fecha    | Canal de entrada |              | Salida del desbaste |              | Salida del desarenador-desnatador |              |
|----------|------------------|--------------|---------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
|          | NT(mg/l)         | A y G (mg/l) | NT(mg/l)            | A y G (mg/l) | NT(mg/l)                          | A y G (mg/l) |
| *20/1/09 | ----             | ----         | ----                | ----         | ----                              | ----         |
| *26/5/09 | ----             | ----         | ----                | ----         | ----                              | ----         |
| 8/12/09  | 17,79            | 7,67         | 16,50               | 7,33         | 22,001                            | 5,67         |
| 12/2/10  | 16,77            | 7,66         | 15,78               | 7,00         | 15,458                            | 5,00         |
| 10/3/10  | 21,27            | 9,33         | 20,15               | 8,67         | 20,089                            | 6,66         |
| 12/4/10  | 21,93            | 7,66         | 19,91               | 7,33         | 19,803                            | 5,00         |
| 8/6/10   | 22,40            | 8,66         | 20,44               | 7,67         | 19,54                             | 5,00         |
| 14/6/10  | 25,76            | 9,00         | 23,52               | 8,00         | 19,04                             | 6,00         |

----Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el

MPPA

### c. Oxígeno disuelto (ME-4500 O-C)

- Se añadió 1 ml de la solución de sulfato de manganeso a la muestra tomada en la botella Winkler, seguida de 1 ml del reactivo de alcali-yoduro-azida. Se tapó cuidadosamente para excluir cualquier burbuja de aire, se mezcló por inversión de la botella por lo menos 15 veces, y se dejó reposar
- Se removió cuidadosamente la tapa e inmediatamente se agregó 1 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado alrededor del cuello de la botella, y se tapó.
- Se agitó por inversión de la botella hasta la completa disolución del flóculo.
- Se tituló con tiosulfato de sodio 0,0250N hasta un color amarillo pajizo
- Se añadió 1 ml de la solución de almidón, y se continuó la titulación hasta la primera desaparición del color azul.

- Se anotó el volumen consumido de la solución de tiosulfato de sodio 0,0250N en la titulación, el cual fue de 2,5 mg/l para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009.

De igual modo se obtiene el oxígeno disuelto (figura 3.7) para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.12.



**Figura 3.7 Medición de oxígeno disuelto**

**Tabla 3.12 Valores de oxígeno disuelto para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador**

| Fecha    | Oxígeno disuelto (mg/l)<br>Canal de entrada | Oxígeno disuelto (mg/l)<br>Salida del desbaste | Oxígeno disuelto (mg/l)<br>Salida del desarenador-desnatador |
|----------|---|--|--|
| *20/1/09 | 0,01  | ----   | 0,09   |
| *26/5/09 | 0,01  | ----   | 0,01   |
| 8/12/09  | 2,5   | 3,0  | 2,1  |
| 12/2/10  | 0   | 0,01   | 0,1  |
| 10/3/10  | 0,02  | 0,03   | 0,1  |
| 12/4/10  | 0   | 0,01   | 0,02   |
| 08/05/10 | 0,02  | 0,02   | 0,02   |
| 8/6/10   | 0,01  | 0,01   | 0,01   |
| 14/6/10  | 0,02  | 0,02   | 0,02   |

---- Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPP

### 3.2.1.3 Parámetros químicos orgánicos

#### a. Demanda química de oxígeno (DQO)

La determinación de la demanda química de oxígeno se llevó a cabo según los siguientes métodos:

##### a.1 Reflujo cerrado, método titulométrico (ME- 5220 C)

- Se sacó la muestra de la nevera y se dejaron enfriar a temperatura ambiente
- Se agitó la muestra
- Se adicionó 1,5 ml de solución de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,0417M en un tubo de digestión
- Se añadió cuidadosamente 3,5 ml de del reactivo de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ )  $Ag_2SO_4$
- Se adicionó 2.5 ml de muestra

- Se tapó herméticamente, se homogenizaron los tubos de digestión y colocaron dentro del reactor (Figura 3.9).
- Se prendió el equipo y contabilizó por dos horas a partir del momento en que la temperatura alcanzó los 150 °C.
- Transcurrido el tiempo de reflujo, se retiraron los tubos de digestión y dejaron enfriar a temperatura ambiente
- Se tituló el exceso de  $K_2Cr_2O_7$  con la solución de sulfato amoniacal ferroso (FAS) 0,01N, usando 2 o 3 gotas de indicador de ferroina. El punto final de la titulación es el primer cambio de color verde- azul a marrón rojizo.
- Se anotó el volumen de FAS gastado
- Se tituló igualmente un blanco (agua destilada) y un patrón llevados a reflujo con todos los reactivos. Se uso un volumen de agua destilada y patrón igual al de las muestras.
- Se calculó la DQO de la muestra y el patrón, restando el blanco, de acuerdo con la ecuación que se muestra a continuación:

$$DQO \left( \frac{mgO_2}{l} \right) = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{(ml)muestra} \quad (Ec.3.6)$$

donde :

A= ml de FAS usados en la titulación del blanco

B= ml de FAS usados en la titulación de la muestra

N=M= normalidad, molaridad de la solución de FAS

El cálculo de normalidad de la solución FAS se realiza según la siguiente ecuación:

$$Normalidad = \frac{VolumenK_2Cr_2O_7}{VolumendeFASgastado} \times 0,100 \quad (Ec.3.7)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.7 los valores de volumen de dicromato de 1,5 ml y volumen de FAS gastado de 1,53 ml tomados de la tabla A.13 correspondientes al día 8 de diciembre de 2009 en el canal de entrada se tiene que:

$$Normalidad(N) = \frac{1,5ml}{1,53ml} * 0,100$$

$$Normalidad(N) = 0,098$$

De igual modo se obtienen los valores de la normalidad para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla A.13.

La demanda química de oxígeno para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009, donde A=1,53 ml, B= 1,0 ml y N= 0,098 valores tomados de la tabla A.13 y sustituyendo en la ecuación 3.6 se tiene que:

$$DQO \left( \frac{mgO_2}{l} \right) = \frac{(1,53 - 1,0) \times 0,098 \times 8000}{2,5ml}$$

$$DQO \left( \frac{mgO_2}{l} \right) = 166,21$$

De igual modo se obtiene la demanda química de oxígeno para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.13.

#### **a.2 Reflujo cerrado, método colorimétrico (ME- 5220 B)**

- Se sacó la muestra de la nevera y se dejaron enfriar a temperatura ambiente
- Se agitaron las muestras
- Se adicionaron 1,5 ml de solución de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,0417M en un tubo de digestión

- Se añadieron cuidadosamente 3,5 ml del reactivo de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ )  $Ag_2SO_4$
- Se adicionaron 2,5 ml de muestra
- Se tapó herméticamente y homogenizaron los tubos de digestión y se colocaron dentro del reactor.
- Se prendió el equipo y contabilizo por dos horas a partir del momento en que la temperatura alcanzó los 150 °C.
- Transcurrido el tiempo de reflujo, se retiraron los tubos de digestión y dejaron enfriar a temperatura ambiente
- Se calibró el equipo espectrofotómetro, 20 minutos antes de hacer la medición
- Se fijó una longitud de onda de 600 nm y se colocó un blanco (agua destilada), se llevó a una transmitancia de 100% y absorbancia de 0%
- Se introdujeron los tubos de digestión e inmediatamente el equipo mostró la lectura de absorbancia, el cual de 0,061 para el canal de entrada (primer punto) del día 12 de abril de 2010, con este valor se fue a la figura 3.8 (absorbancia vs. DQO), para finalmente leer el valor de la DQO, el cual fue de  $DQO=157,09$  ( mg/l)

De igual modo se obtiene la demanda química de oxígeno para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.13.

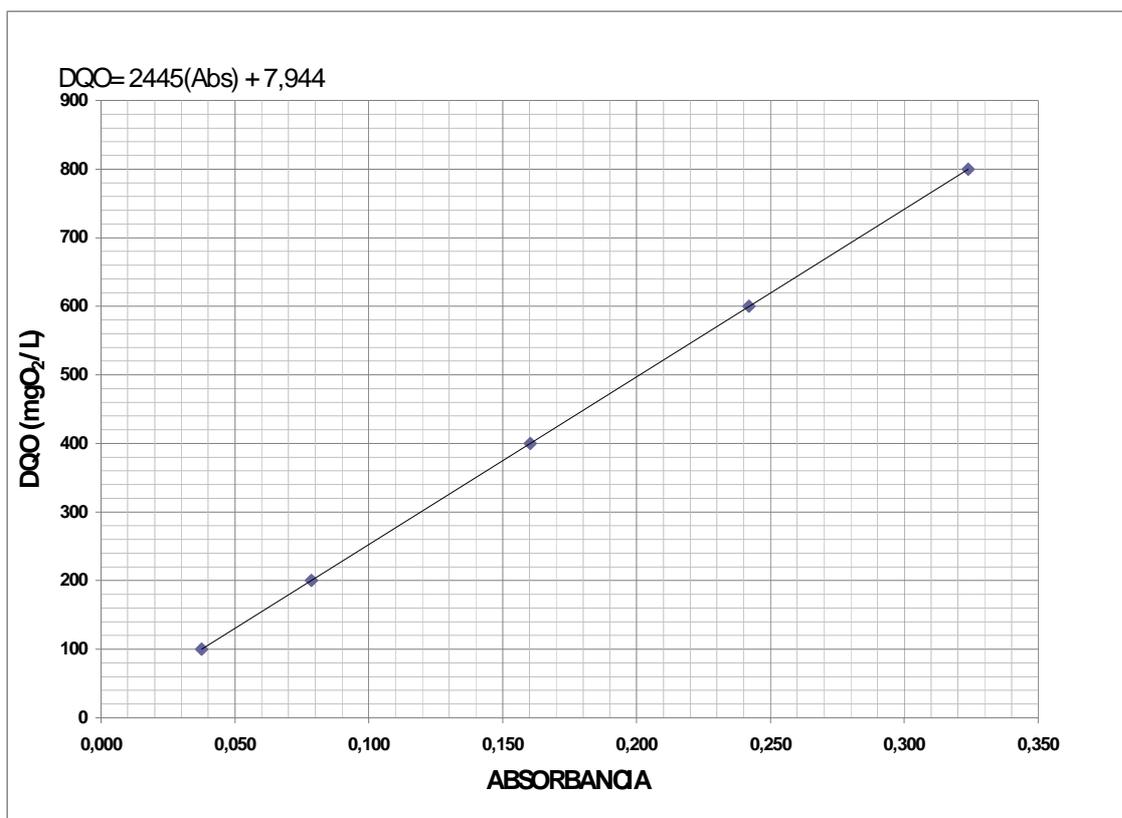


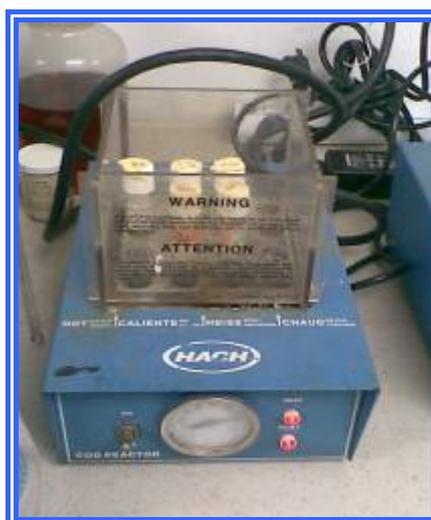
Figura 3.8 Curva de calibración de la DQO

**Tabla 3.13 Valores de la demanda química de oxígeno para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador**

| Fecha    | DQO (mg/l)<br>Canal de entrada | DQO (mg/l)<br>Salida del desbaste | DQO (mg/l)<br>Salida del desarenador-desnatador |
|----------|--------------------------------|-----------------------------------|---|
| *20/1/09 | 580                            | ----                              | 220,8   |
| *26/5/09 | 620                            | ----                              | 425,2   |
| 8/12/09  | 166,21                         | 134,85                            | 128,58  |
| 12/2/10  | 157,09                         | 125,2                             | 113,08  |
| 10/3/10  | 157,5                          | 136,96                            | 119,84  |
| 12/4/10  | 161,41                         | 155,22                            | 80,70   |
| 8/05/10  | 181,28                         | 148,32                            | 145,02  |
| 8/6/10   | 134,4                          | 130,0                             | 127   |
| 14/6/10  | 302,15                         | 284,71                            | 260,27  |
| 29/6/10  | 317,76                         | 289,16                            | 193,83  |

----Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA



**Figura 3.9 Termoreactor para el tiempo de reacción de la DQO**

### b. Grasas y aceites (ME- 5520-B)

- Se lavó un erlenmeyer con potasa alcohólica, y enjuagó con agua destilada
- Se secó en la estufa durante 1 hora a 100 – 110 ° C.
- Se dejó enfriar en un desecador
- Se pesó cada erlenmeyer
- Se repitieron los pasos (enfriar en desecador y pesar cada balón) hasta obtener peso constante, y se asignó a este peso el valor  $P_1$ .
- Se midió 300 ml de muestra, y se añadió en un embudo de separación
- Se agregó 25 ml de hexano
- Se agitó vigorosamente por 2 minutos liberando la presión al abrir la válvula de salida (invirtiendo el embudo tapado).
- Se dejó reposar para que ocurra la separación de las capas orgánica y acuosa
- Se extrajo por dos veces más la muestra con porciones de 25 ml de solvente
- Se evaporó el solvente en un rotavapor a una temperatura de 70 °C hasta sequedad
- Se colocó en la estufa a 56 – 60 °C por 24 horas
- Se dejó enfriar en un desecador durante 30 minutos
- Se pesó y denominó a este valor  $P_2$
- Se calculó la concentración de aceites y grasas e hidrocarburos según se indica en la siguiente ecuación:

$$Ac - Gr \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{(P_2 - P_1)}{(l)muestra} \times 1000$$

(Ec.3.8)

donde:

$P_1$ = peso del erlenmeyer vacío (mg)

$P_2$ = peso del erlenmeyer más residuo (mg)

La determinación de aceites y grasas (figura 3.10) para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009, tomando los valores de  $P_1=117,098$  mg y  $P_2 =117,085$  mg tomados de la tabla A.14 y sustituyéndolos en la ecuación 3.8 se tiene que:

$$Ac - Gr \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{(117,098 - 117,075)}{(0,3)} \times 1000$$

$$Ac - Gr \left( \frac{mg}{l} \right) = 7,67$$

De igual modo se obtienen los valores de aceites y grasas para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.7.



**Figura 3.10 Prueba para la determinación de aceites y grasas**

### c. Detergentes (HACH DR/2010) (ME- 8028)

- Se introdujo el número del programa para el análisis de detergentes: 710 y luego presionó enter. La pantalla mostró dial nm to 605.

- Se rotó la perilla de la longitud de onda hasta que la pantalla mostró 605 nm (Cuando la longitud de onda correcta aparezca en pantalla se mostrará rápidamente: cero.
- Se midió 300 ml de muestra con un cilindro de 500 ml
- Se colocó la muestra en un embudo de separación.
- Se añadió 10 ml de la solución buffer de fosfato, se tapó el embudo y agitó por 5 segundos
- Se añadió el contenido de un reactivo de detergente se tapó y agitó para disolver
- Se añadió 30 ml de benceno en el embudo se tapó y agitó suavemente durante un minuto.
- Se dejó reposar durante un período de reacción de 30 minutos
- Se removió la tapa del embudo de separación y drenó la capa acuosa del fondo.
- Se drenó la capa orgánica en una celda de 25 ml.
- Se llenó otra celda con benceno puro (blanco)
- Se colocó un blanco en el receptáculo de la celda y se cerró el escudo protector.
- Se presionó cero y la pantalla mostró la lectura
- Se colocó la muestra preparada en el receptáculo de la celda y se cerró el escudo protector
- Se presionó leer. La pantalla mostró el resultado como mg/L de detergente para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009, el cual fue 6,9 ( mg/l)

De igual modo se obtienen los valores de detergentes (figura 3.11) para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.7.



**Figura 3.11 Prueba para la determinación de detergentes**

#### **d. Determinación de la demanda de cloro**

El parámetro de la demanda de cloro es un análisis que se debe hacer una o dos veces por día en las plantas de tratamiento de aguas residuales para que desinfecte asertivamente, con la finalidad de determinar cuanto cloro en cualquiera de sus presentaciones comerciales debe ser añadido al agua además de monitorear el procedimiento de dosificación en la planta de tratamiento y almacenamiento de agua, antes de ser vertido a los cuerpos receptores. Para este trabajo de investigación se realizó dos veces la demanda de cloro durante una semana, debido a que no se había realizado desde su inauguración.

##### **d.1. Cálculo de la solución patrón a para agregar a cada erlenmeyer**

Utilizando la siguiente ecuación:

$$V = \frac{ppm \times 100}{195} \quad (\text{Ec.3.9})$$

donde:

V= volumen de solución patrón a agregar en cada erlenmeyer (ml)

ppm= concentración aplicada a la muestra (mg/l)

$C_{sp}$ = concentración de la solución patrón (mg/l)

Sustituyendo los valores de concentración aplicada a la muestra para la determinación de la demanda de cloro reportados en las tablas B.15 y B.16 se obtienen el volumen de solución patrón a agregar en cada erlenmeyer:

$$V = \frac{20 \times 100}{195} = 10,26 \text{ ml}$$

Este procedimiento se repite para los otros ensayos y los datos y resultados se encuentran reportados en la tabla B.15 y B.16.

#### **d.2. Procedimiento de la demanda**

- Se captó dos litros de la muestra de agua de la planta
- Se agregó 200 ml de agua cruda a cada erlenmeyer
- Se agregó la cantidad de solución patrón de cloro, calculada según la ecuación 3.7.
- Se guardaron los erlenmeyer en un cuarto oscuro, por un tiempo de 30 min.
- Se procedió a medir el cloro residual una vez transcurrido el tiempo de contacto establecido y se encuentra reportado en las tablas B.15 y B.16

La demanda de cloro va ser igual a la cantidad de cloro agregada menos la cantidad de cloro residual después del tiempo de contacto y se expresa de la siguiente manera:

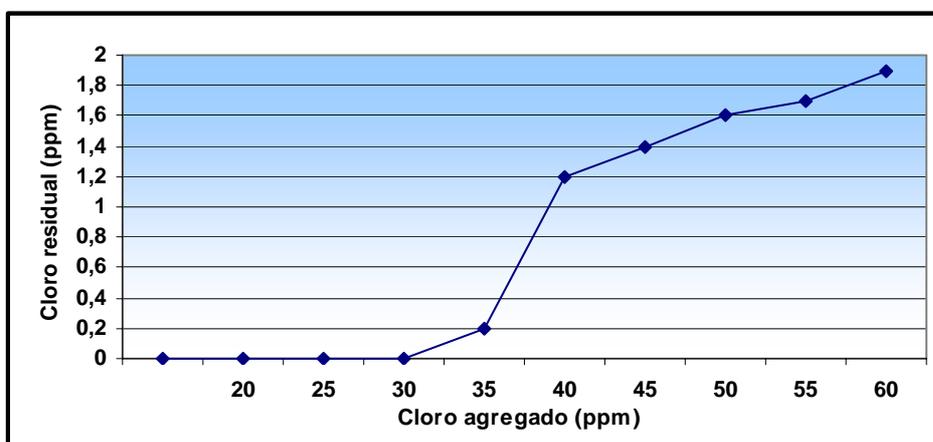
$$\text{Demanda de cloro} = \text{dosis de cloro} - \text{cloro residual} \quad (\text{Ec.3.10})$$

Sustituyendo los valores tomados de la tabla B.15 y B.16 en la ecuación 3.10 se tiene:

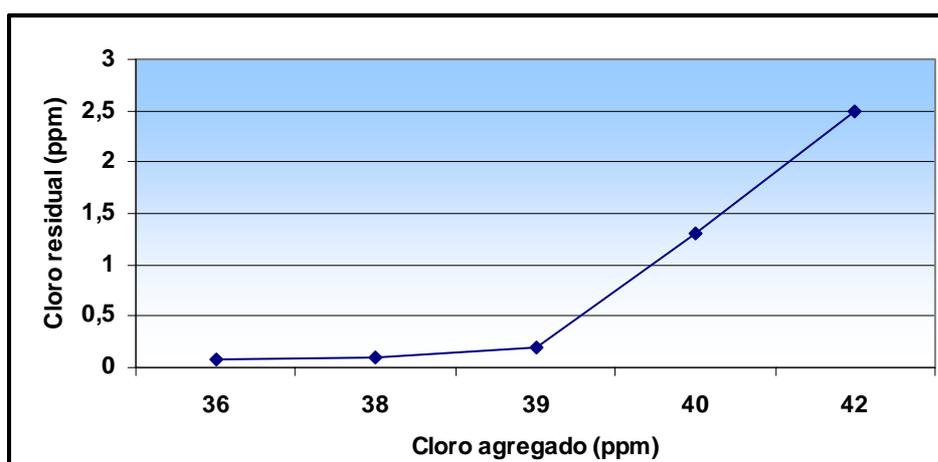
$$\text{Demanda de cloro} = (38 - 0,1) \text{ mg/l}$$

*Demanda de cloro= 37,9 mg/l*

Las figuras 3.12 y 3.13 que se presentan a continuación muestra las curvas de la demanda de cloro realizada a las aguas residuales de la planta de tratamiento, lo cual se puede apreciar un rango de (35-40) mg/l donde se observa el punto de ruptura, se realizó una segunda demanda de cloro que permitiera observar cual era el valor del punto de ruptura más exacto dentro del rango antes mencionado el cual fue de 37,9 mg/l.



**Figura 3.12 Curva de residual de cloro**



**Figura 3.13 Curva de residual de cloro**

### d.3. Estimación de la dosis de cloro requerida para el efluente

Es necesario determinar la cantidad de cloro a utilizar a razón del caudal que maneje la planta de tratamiento, para así lograr una óptima desinfección. De acuerdo <http://www.ceit.es>, (2009) sugieren que se debe de mantener una concentración de cloro residual a la salida de la planta de 1 mg/l, se determina usando la siguiente ecuación:

$$gCL_2 = Q \times Cf \times 0,001 \quad (\text{Ec.3.11})$$

donde:

$gCL_2/d$ : cantidad de cloro (g)

Cf: concentración esperada de cloro (mg/L)

0,001: conversión de mg a g

Sumando los promedios de los caudales anuales correspondientes a los años 2009 hasta el mes de mayo 2010 que se encuentran reportados en las tablas B.14 y B.15 se obtiene un caudal promedio anual de 3.956.004 l/d (45,79 l/s) y este se sustituye en la ecuación 3.10 para de esta manera obtener la cantidad de cloro requerido en el caudal promedio de operación:

$$gCL_2 = 3.956.004 \frac{l}{d} \times 0,1 \frac{mg}{l} \times 0,001$$

$$gCL_2 = 395,60 \frac{g}{d} \text{ Requerido en } 3.956.004 \text{ l/d}$$

#### 3.2.1.4 Parámetros biológicos

##### Coliformes totales y fecales, aplicando la técnica de tubos múltiples (ME-9221)

##### Preparación de la muestra

- Se agitó la muestra 25 veces como mínimo en aproximadamente 10 segundos.
- Se tomó 1 ml de la muestra con una pipeta de 1ml con punta estéril y se colocó en un tubo con 9 ml de agua de dilución.

- Se agitó 25 veces aproximadamente 10 segundos. Dilución  $10^{-1}$ .
- Se tomó 1 ml del tubo de dilución  $10^{-1}$  con una pipeta de 1 ml con una punta estéril a un tubo con 9 ml de agua de dilución
- Se agitó 25 veces aproximadamente 10 segundos. Dilución  $10^{-2}$ .
- Se realizaron diluciones recomendadas en la tabla 3.14 según el tipo de muestra.

**Tabla 3.14 Diluciones recomendadas para diferentes tipos de muestra**

**(Manual anual MPPA, 2007)**

| <b>Muestra</b>                                  | <b>Dilución</b>          |
|---|--------------------------|
| Agua potable                                    | No                       |
| Agua pozo                                       | Hasta $10^{-2}$          |
| Agua lago, laguna que reciben descargas fecales | De $10^{-2}$ a $10^{-4}$ |
| Agua río  | Hasta $10^{-2}$          |
| Planta de tratamiento de aguas residuales       | De $10^{-2}$ a $10^{-4}$ |
| Agua marina                                     | Hasta $10^{-2}$          |
| Agua piscina                                    | Hasta $10^{-2}$          |

### **Análisis**

- Se transfirió con una alícuota la muestra o dilución respectiva, por serie de tubos de caldo lauril triptosa.
- Se transfirieron las alícuotas tanto de las muestras como las de sus diluciones, con pipetas provistas de puntas estériles.
- Se incubaron las series de tubos a  $35 \pm 0,5$  °C por 48 horas
- Interpretar como reacción positiva, la formación de turbidez y de gas en el tubo Durham
- Se contó y anotó el número de tubos positivos por dilución inoculada
- Se transfirió una asada de cada tubo positivo de caldo lauril triptosa a un tubo de caldo (B V B), respectivamente.
- Se incubo a  $35 \pm 0,5$  °C por 24 – 48 horas

- Se contó el número de tubos positivos en caldo BVB (con turbidez y formación de gas) por dilución inoculada y anoto la combinación de los tubos positivos.
- Se determinó el número más probable de coliformes totales considerando la combinación de números obtenidos en los tubos positivos en el caldo bilis verde brillante (Tabla 3.14).
- Se reportó el valor tabulado como el NMP/100 ml de coliformes totales.
- Se transfirió una asada de cada tubo positivo de caldo lauril triptosa a un tubo con caldo EC.
- Se incubaron los tubos de EC a  $44,5 \pm 0,5$  °C por 24 horas.
- Se contó el número de tubos positivos en caldo EC (con turbidez y formación de gas) por dilución inoculada y se anotó la combinación de los tubos positivos.
- Se determinarán el NMP/100 ml de coliformes fecales, considerando la combinación de números obtenidos en los tubos positivos a partir del EC. Utilizando la tabla 3.14
- Si el volumen de muestra sembrada por usted es menor 10 veces a la tabulada, es decir que sembró 1, 0.1 y 0.01 ml, multiplique el valor de la tabla por 10, en caso que siembre  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  ml, multiplique el valor de la tabla por 100 y así dependiendo de las diluciones inoculadas el valor de tabla será multiplicado por un factor de dilución.

De acuerdo al número de combinaciones (5-5-5) tomadas de la tabla 3.15, se calculó el valor del NMP/100 ml de coliformes fecales y totales para el canal de entrada (primer punto) del día 8 de diciembre de 2009 los cuales fueron:

NMP/100 Coliformes fecales = >16000

NMP/100 Coliformes totales = >16000

De igual modo se obtienen los valores del NMP/100 ml de coliformes fecales y totales para el resto de los otros puntos de muestreo y los resultados se reportan en la tabla 3.16.

**Tabla 3. 15 Índice de NMP y 95% de límites de confianza para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan 5 tubos por dilución (10 ml, 1,0 ml, 0,1 ml) (Crites y Tchobanoglous, 2000)**

| Combinación de positivos | Índice de NMP/100 mL | 95% de límites de confianza |       | Combinación de positivos | Índice de NMP/100 mL | 95% de límites de confianza |       |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|
|                          |                      | Menor                       | Mayor |                          |                      | Menor                       | Mayor |
| 0-0-0                    | < 2                  | —                           | —     | 4-2-0                    | 22                   | 9.0                         | 56    |
| 0-0-1                    | 2                    | 1.0                         | 10    | 4-2-1                    | 26                   | 12                          | 65    |
| 0-1-0                    | 2                    | 1.0                         | 10    | 4-3-0                    | 27                   | 12                          | 67    |
| 0-2-0                    | 4                    | 1.0                         | 13    | 4-3-1                    | 33                   | 15                          | 77    |
|                          |                      |                             |       | 4-4-0                    | 34                   | 16                          | 80    |
|                          |                      |                             |       | 5-0-0                    | 23                   | 9.0                         | 86    |
| 1-0-0                    | 2                    | 1.0                         | 11    | 5-0-1                    | 30                   | 10                          | 110   |
| 1-0-1                    | 4                    | 1.0                         | 15    | 5-0-2                    | 40                   | 20                          | 140   |
| 1-1-0                    | 4                    | 1.0                         | 15    | 5-1-0                    | 30                   | 10                          | 120   |
| 1-1-1                    | 6                    | 2.0                         | 18    | 5-1-1                    | 50                   | 20                          | 150   |
| 1-2-0                    | 6                    | 2.0                         | 18    | 5-1-2                    | 60                   | 30                          | 180   |
|                          |                      |                             | 17    | 5-2-0                    | 50                   | 20                          | 170   |
| 2-0-0                    | 4                    | 1.0                         | 20    | 5-2-1                    | 70                   | 30                          | 210   |
| 2-0-1                    | 7                    | 2.0                         | 21    | 5-2-2                    | 90                   | 40                          | 250   |
| 2-1-0                    | 7                    | 2.0                         | 24    | 5-3-0                    | 80                   | 30                          | 250   |
| 2-1-1                    | 9                    | 3.0                         | 25    | 5-3-1                    | 110                  | 40                          | 300   |
| 2-2-0                    | 9                    | 3.0                         | 29    | 5-3-2                    | 140                  | 60                          | 360   |
| 2-3-0                    | 12                   | 5.0                         | 24    | 5-3-3                    | 170                  | 80                          | 410   |
| 3-0-0                    | 8                    | 3.0                         | 29    | 5-4-0                    | 130                  | 50                          | 390   |
| 3-0-1                    | 11                   | 4.0                         | 29    | 5-4-1                    | 170                  | 70                          | 480   |
| 3-1-0                    | 11                   | 4.0                         | 35    | 5-4-2                    | 220                  | 100                         | 580   |
| 3-1-1                    | 14                   | 6.0                         | 35    | 5-4-3                    | 280                  | 120                         | 690   |
| 3-2-0                    | 14                   | 6.0                         | 40    | 5-4-4                    | 350                  | 160                         | 820   |
| 3-2-1                    | 17                   | 7.0                         |       |                          |                      |                             |       |
|                          |                      |                             | 38    | 5-5-0                    | 240                  | 100                         | 940   |
| 4-0-0                    | 13                   | 5.0                         |       | 5-5-1                    | 300                  | 100                         | 1300  |

|       |    |     |    |       |        |     |      |
|-------|----|-----|----|-------|--------|-----|------|
| 4-0-1 | 17 | 7.0 | 45 | 5-5-2 | 500    | 200 | 2000 |
| 4-1-0 | 17 | 7.0 | 46 | 5-5-3 | 900    | 300 | 2900 |
| 4-1-1 | 21 | 9.0 | 55 | 5-5-4 | 1600   | 600 | 5300 |
| 4-1-2 | 26 | 12  | 63 | 5-5-5 | ≥ 1600 | —   | —    |

**Tabla 3.16 Valores de coliformes (fecales y totales) para las muestras del canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador-desnatador**

| Fecha    | Canal de entrada      |                       | Salida del desbaste   |                       | Salida del desarenador-desnatador |                       |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|
|          | CF (NPM/100ml)        | CT (NPM/100ml)        | CF (NPM/100ml)        | CT (NPM/100ml)        | CF (NPM/100ml)                    | CT (NPM/100ml)        |
| *20/1/09 | >16000                | >16000                | ----                  | ----                  | >16000                            | >16000                |
| *26/5/09 | >16000                | >16000                | ----                  | ----                  | >16000                            | >16000                |
| 08/12/09 | >16000                | >16000                | >16000                | >16000                | >16000                            | >16000                |
| 12/2/10  | >16000                | >16000                | >16000                | >16000                | >16000                            | >16000                |
| 10/3/10  | 1,6*10 <sup>5</sup>               | 1,6*10 <sup>5</sup>   |
| 12/4/10  | 1,6*10 <sup>5</sup>               | 1,6*10 <sup>5</sup>   |
| 08/05/10 | 1,6*10 <sup>5</sup>               | 1,6*10 <sup>5</sup>   |
| 08/6/10  | ----                  | ----                  | ---                   | ----                  | ----                              | ----                  |
| 14/6/10  | >2400*10 <sup>6</sup>             | >2400*10 <sup>6</sup> |
| 29/6/10  | ----                  | ----                  | ----                  | ----                  | ----                              | ----                  |

----Parámetro no realizado

CF= Coliforme Fecales

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

CT= Coliforme Totales

### 3.2.1. 5 Análisis estadísticos

Durante esta etapa se realizó el análisis estadístico de los datos de caudal y concentración de constituyentes de las aguas residuales, involucra la determinación de parámetros estadísticos utilizados para cuantificar una serie de mediciones. Entre los parámetros estadísticos que se utilizaron están: el promedio y la desviación estándar.

### A. Cálculo de la media y la desviación estándar

Sustituyendo los valores de temperatura de la tabla A y usando las ecuaciones 2.5 y 2.6 se obtiene lo siguiente:

$$\bar{X} = \frac{(20 + 30,3 + 35 + 29,3 + 32,2 + 32,4 + 30,1 + 29,9 + 29,7 + 29,8)}{10}$$

$$\bar{X} = 27,17^{\circ}C$$

| $(x - \bar{X})$       | $(x - \bar{X})^2$ |
|-----------------------|-------------------|
| $20 - 27,17 = -7,17$  | 51,41             |
| $30,3 - 27,17 = 3,13$ | 9,80              |
| $35,0 - 27,17 = 8,13$ | 66,09             |
| $29,3 - 27,17 = 2,13$ | 4,54              |
| $32,2 - 27,17 = 5,03$ | 25,30             |
| $32,4 - 27,17 = 5,23$ | 27,35             |
| $30,1 - 27,17 = 2,93$ | 8,54              |
| $29,9 - 27,17 = 2,73$ | 7,45              |
| $29,7 - 27,17 = 2,53$ | 6,40              |
| $29,8 - 27,17 = 2,63$ | 6,92              |

$$\sum (x - \bar{X}) = 213,80$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (213,80)}{10 - 1}} = 4,87$$

De igual forma se realizaron los cálculos para cada uno de los parámetros en estudio y los resultados se presentan en las tablas 4.3 y 4.3.

### 3.3 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA EN LA PLAYA DE CAÑO SALADO DONDE SE DESCARGA EL EFLUENTE DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR

Este estudio se hizo primordialmente para saber la calidad del agua de esta playa, ya que dicho cuerpo de agua es el receptor del efluente de la planta de tratamiento y de esta manera tener un estimado del grado de contaminación que proporciona, al efluente a la playa de Caño Salado, cabe destacar que la descarga de la planta se encuentra dividida en dos tramos el primero de una longitud de 494 m la cual termina en una boca de visita cerca de la orilla del mar y el segundo tramo de la descarga tiene una longitud de 800 m. Para conocer las características del agua en la playa de Caño Salado fue necesario realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, dentro de los cuales se encuentran: conductividad, nitrógeno total, coliformes (totales y fecales), pH, temperatura, turbidez, color, oxígeno disuelto, aceites y grasas, y sólidos (totales y sedimentables), siguiendo para ellos los parámetros establecidos por los métodos estándar para el análisis de aguas y aguas de desecho (AWWA, WEF, APHA, 1998).empleando el mismo procedimiento de cálculo a las aguas residuales playa de Caño Salado, los cálculos se hicieron de igual manera a los anteriores análisis y los datos se encuentran reportados en las tablas 3.17 a 3.20.

**Tabla 3.17 Valores de pH, conductividad eléctrica y temperatura para la muestra de la playa de Caño Salado**

| Fecha    | pH   | CE ( $\mu\text{s/cm}$ ) | T( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|----------|------|-------------------------|-------------------------|
| *20/1/09 | 8,02 | 24885                   | 19                      |
| *26/5/09 | 7,08 | 24880                   | 29,02                   |
| 8/12/09  | 7,88 | 60200                   | 33,1                    |
| 12/2/10  | 7,5  | 60000                   | 31                      |
| 10/3/10  | 7,20 | 61500                   | 30,5                    |
| 12/4/10  | 7,65 | 55800                   | 32,33                   |

--- Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

**Tabla 3.18 Valores turbidez, sólidos sedimentables y sólidos disueltos para la muestra de la playa de Caño Salado**

| Fecha    | Turbidez (UNT) | SSD(mg/l) | SDT(mg/l) |
|----------|----------------|-----------|-----------|
| *20/1/09 | 30             | ---       | 1081,98   |
| *26/5/09 | 11             | ---       | 1587,2    |
| 8/12/09  | 16             | 0,01      | 36500     |
| 12/2/10  | 35,1           | 0,01      | 36300     |
| 10/3/10  | 58,5           | 0,03      | 36800     |
| 12/4/10  | 30             | 0,01      | 33200     |

--- Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

**Tabla 3.19 Valores de coliformes fecales, coliformes totales y color para la muestra de la playa de Caño Salado**

| Fecha    | CF (NPM/100ml)   | CT(NPM/100ml)    | Color(Pt-Co) |
|----------|------------------|------------------|--------------|
| *20/1/09 | 11000            | 11000            | ----         |
| *26/5/09 | 11000            | 11000            | ----         |
| 8/12/09  | 11000            | 11000            | 19           |
| 12/2/10  | 11000            | 11000            | 21,1         |
| 10/3/10  | $1,1 \cdot 10^5$ | $1,1 \cdot 10^5$ | 23           |
| 12/4/10  | $1,1 \cdot 10^5$ | $1,1 \cdot 10^5$ | 22           |
| 8/05/10  | ----             | ----             | ----         |
| 8/6/10   | ----             | ----             | ----         |
| 14/6/10  | ----             | ----             | ----         |
| 29/6/10  | ----             | ----             | ----         |

---- Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

**Tabla 3.20 Valores de nitrógeno total y grasas y aceites y oxígeno disuelto para la muestra de la playa de Caño Salado**

| Fecha     | NT (mg/l) | G y A(mg/l) | OD (mg/l) |
|-----------|-----------|-------------|-----------|
| *20/01/09 | ----      | ----        | 2,7       |
| *26/05/09 | ----      | ----        | 2,7       |
| 08/12/09  | 7,529     | 10          | 1,0       |
| 12/02/10  | 5,522     | 12          | 3,02      |
| 10/03/10  | 4,231     | 10          | 4,5       |
| 12/04/10  | 5,363     | 26,67       | 10,2      |
| 08/05/10  | ----      | ----        | ----      |
| 08/06/10  | ----      | ----        | ----      |
| 14/06/10  | ----      | ----        | ----      |
| 29/06/10  | ----      | ----        | ----      |

---- Parámetro no realizado

\* Informe de análisis realizados por el MPPA

### 3.4 EQUIPOS, MATERIALES Y SUSTANCIAS

Los equipos, materiales y sustancias a utilizar durante el desarrollo de este proyecto se encuentran en el laboratorio del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, Laboratorios de de Estudios Ambientales y de Hidrocarburos del Departamento de Ingeniería Química de la UDO-Anzoátegui y el Centro de Investigaciones Tecnológicas de Oriente (CITO), ubicados en la ciudad de Barcelona en el estado Anzoátegui.

#### 1. Equipos

- Autoclave digital. marca Fanem, modelo 415.
- Balaza analítica, marca Citizen, modelo Cy204, capacidad: 220g, precisión: 0,001g.

- Espectrofotómetro portátil, marca HACH, modelo DR/2010, rango de medición: 400 a 900 nm, precisión:  $\pm 2,0$  nm de 400 a 700 nm /  $\pm 3,0$  nm de 700 a 900 nm.
- Medidor de pH y temperatura portátil, marca HACH, rango de 0 a 14
- Termoreactor, marca HACH, modelo: 16500-10, rango 217 VA.
- Espectrofotómetro Spectronic 20 Genesys, rango de 325 a 1100 nm, precisión:  $\pm 2,0$  nm, exactitud:  $\pm 0.003$  A de 0.0 a 0.3A /  $\pm \% 0.301$ A a 2.5A.
- Horno, marca Felisa, modelo FE-311I, voltaje 120 V, potencia 400 W, frecuencia 60 Hz, rango de temperatura: 420 °C.
- Balanza analítica, modelo Fx 300, marca AND, capacidad: 310 g, precisión: 0,001g.
- Incubadora. Marca Memmert, rango de temperatura: 0 a 120 °C, potencia: 1600W, frecuencia: 50 Hz., voltaje: 110 V.

## 2. Materiales

- Beaker de 100, 200, 500 y 1000 ml
- Pipeta de  $5 \pm 0,1$  ml
- Cilindro graduado de  $50 \pm 1$  ml
- Termómetro de 0 a 100 °C
- Bureta de  $50 \pm 1$  ml
- Papel de filtro
- Espátula
- Varilla de agitación
- Desecador
- Conos Imhoff
- Cronómetros
- Tubos de ensayo y fermentación
- Matraces de 100, 150 y 200 ml
- Embudos de separación
- Guantes de látex

- Botellas de incubación
- Pinzas
- Peras de succión
- Botellas de vidrio color ámbar
- Goteros
- Vidrio de reloj
- Recipientes plásticos

### **3. Sustancias**

- Agua destilada
- Ácido sulfúrico concentrado
- Ácido clorhídrico concentrado
- Agua residual
- Almidón
- Hidróxido de sodio
- Tiosulfato de sodio
- Permanganato de potasio
- Ácido ascórbico
- Sulfato de plata
- Sulfato de magnesio
- Caldo lactosado
- Fenolftaleína
- Hidróxido de potasio
- Caldo bilis verde brillante
- Dicromato de potasio
- Benceno
- Hexano
- Nitrato reagente
- Lauryl triptosa
- Medio EC
- Nitrato N5

- Solución buffer
- Detergente reagente
- Ioduro de potasio
- Cloruro de zinc
- Solución madre de cloro
- Fosfato de sodio bibásico anhidro
- Fosfato de potasio monobásico
- D P D sulfato
- E D T A sal de sodio
- Dicloruro de mercurio
- Acido acético glacial

### **3.5 PROPUESTAS DE MEJORAS AL EFLUENTE DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR**

En base a los resultados de los análisis de las composiciones de las aguas residuales y de contribuir a obtener un efluente bajo en concentraciones de materia orgánica y bacterias, específicamente de aquellos parámetros que se encuentren sobre de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente (decreto 883,1995) y los parámetros operacionales de la planta, se propone un estudio para la implementación de un sistema de desinfección de las aguas residuales que descargan a esta planta ya que, dentro de la instalación no se cuenta con este tipo de técnica, la metodología a emplear para la selección es analizar las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de tratamiento dentro de los cuales destacan cloro, radiación UV y ozono para la reducción de cada contaminante y escoger el que mejor se ajuste a las necesidades de este proyecto. A continuación se describen las diferentes opciones .para la desinfección del agua

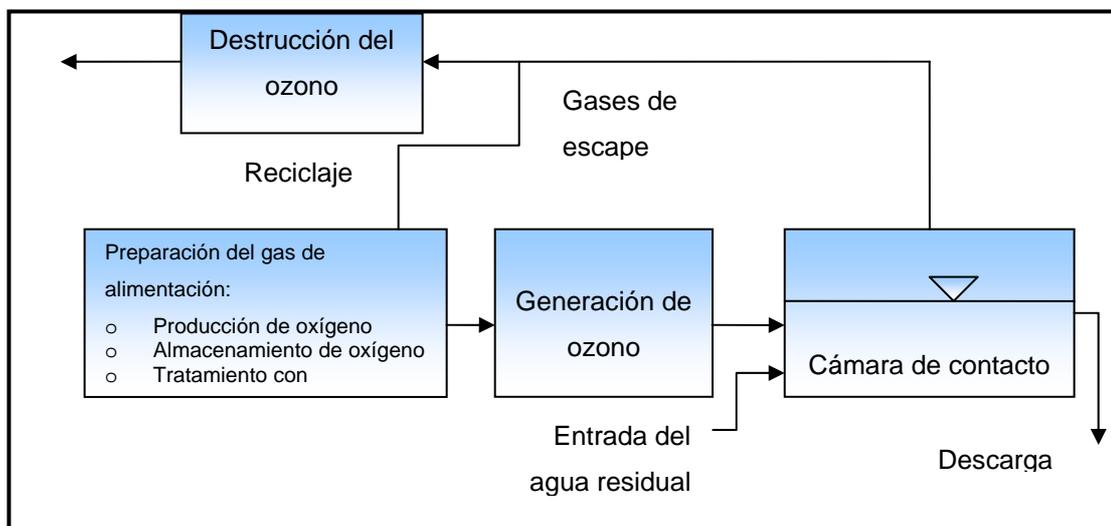
### 3.5.1 Opciones

#### 3.5.1.1 Opción 1: desinfección con ozono

El ozono ( $O_3$ ) es un gas alótropo del oxígeno. A la temperatura y presión del ambiente es un gas inestable que se descompone rápidamente para volver a la molécula de oxígeno ( $O_2$ ). Debido a esta característica, no se puede almacenar o envasar sino que debe generarse in situ y usarse inmediatamente. Por lo general, la ozonización se utiliza cuando se requiere su propiedad más importante: su elevado potencial oxidante, que permite eliminar los compuestos orgánicos que dan color, sabor u olor desagradable al agua y, al mismo tiempo, cuando se desea inactivar los microorganismos patógenos del agua. (EPA, 1999)

Cuando el ozono se descompone en agua, los radicales libres del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y del hidróxido (OH) que se forman tienen gran capacidad de oxidación y desempeñan un papel activo en el proceso de desinfección. En general se cree que las bacterias son destruidas debido a la oxidación protoplasmática, dando como resultado la desintegración de la pared de la célula (fisuramiento o lisis de la célula).

La eficacia de la desinfección depende de la susceptibilidad de los organismos a ser tratados, del tiempo de contacto y de la concentración de ozono. Un diagrama lineal del proceso de desinfección con ozono se muestra en la figura 3.14.



**Figura 3.14 Diagrama esquemático del proceso de ozonización (EPA, 1999)**

Los componentes de un sistema de desinfección utilizando ozono incluyen la preparación del gas de alimentación, la generación del ozono, el contacto con el ozono, y la destrucción del ozono. El aire o el oxígeno puro se utilizan como fuente de oxígeno en el gas de alimentación, el cual es transmitido al generador de ozono a una tasa establecida de flujo. La fuente de energía para la producción es generada mediante una descarga eléctrica en un gas que contenga oxígeno. Los generadores de ozono son comúnmente clasificados de acuerdo a:

- El mecanismo de control (voltaje o unidad de frecuencia).
- El mecanismo de enfriamiento (agua, aire, o agua más aceite).
- El arreglo físico de las placas dieléctricas (vertical u horizontal).
- El nombre del inventor.

Si bien los generadores de ozono fabricados por diversas compañías tienen características únicas, estos también tienen algunas disposiciones en común. El método de descarga eléctrica es la fuente de energía más comúnmente utilizada para la producción de ozono. El aire extremadamente seco u oxígeno puro se exponen a una descarga controlada y uniforme de

alto voltaje a una frecuencia alta o baja. El punto de condensación del gas de alimentación debe ser igual o menor de  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-76\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). La corriente de gas generada del aire contiene cerca del 0,5 a 3,0% de ozono por peso, mientras que el oxígeno puro genera aproximadamente de 2 a 4 veces esa concentración.

Después de su generación, el ozono es alimentado a una cámara de contacto de flujo vertical de caída que contiene el agua residual a ser desinfectada. El propósito principal de la cámara de contacto es transferir el ozono que se encuentra dentro de la burbuja de gas al cuerpo del líquido mientras que se permite suficiente tiempo de contacto para la desinfección.

Los tipos de cámara de contacto de burbujas difusas comúnmente utilizados (bien sea en dirección del flujo o a contracorriente) son los de inyección de presión positiva, de presión negativa (*Venturi*), de agitación mecánica y las torres de lecho fijo. Debido a que el ozono se consume rápidamente, debe proveerse un contacto uniforme en una cámara de flujo en pistón (tubular). Los gases de escape de la cámara de contacto deben ser tratados para destruir cualquier ozono restante antes de ser liberados a la atmósfera. Por lo tanto, es esencial mantener una dosificación óptima del ozono para una mejor eficacia.

Cuando se utiliza el oxígeno puro como gas de alimentación, los gases de escape de la cámara de contacto pueden ser reciclados para generar el ozono o para la reutilización en el tanque de aireación. Los gases de escape del ozono que no se utilizan se envían a una unidad de destrucción de ozono o se reciclan. Los parámetros principales de control del proceso son la dosis, la mezcla y el tiempo de contacto.

Los sistemas de desinfección por medio de ozono tienen como objetivo el medio de ozono tienen como objetivo el maximizar la solubilidad del ozono en el agua residual ya que la desinfección depende de la transferencia del ozono al agua residual. La cantidad de ozono que se disuelve en el agua

residual a una temperatura constante es una función de la presión parcial del ozono gaseoso sobre el agua o en la corriente del gas de alimentación.

#### **a. Aplicabilidad**

La desinfección con ozono se utiliza generalmente en plantas de tamaño mediano o grande una vez que el agua residual haya recibido por lo menos tratamiento secundario. Además de la desinfección, otro uso común del ozono en el tratamiento del agua residual es el control de malos olores. La desinfección con ozono es el método menos utilizado en los Estados Unidos aún cuando en Europa esta tecnología ha tenido una amplia aceptación por varias décadas. El tratamiento con ozono tiene la capacidad de lograr niveles más altos de desinfección en comparación con el cloro o la luz ultravioleta; sin embargo, los costos de inversión así como los gastos de mantenimiento no son competitivos con las alternativas disponibles. Por lo tanto, el ozono es utilizado con poca frecuencia, principalmente en casos especiales en los cuales otras alternativas no son efectivas.

#### **b. Ventajas y desventajas**

##### **❖ Ventajas:**

- El ozono es más eficaz que la utilización del cloro para la desinfección o destrucción de virus y bacterias.
- El proceso de ozonización utiliza un período corto de contacto (aproximadamente de 10 a 30 minutos).
- No existen residuos peligrosos que necesiten ser removidos después del proceso de ozonización porque el ozono se descompone rápidamente.
- Después del proceso de ozonización, los microorganismos no crecen nuevamente, a excepción de aquellos que están protegidos por las partículas en la corriente de agua residual.
- El ozono es generado dentro de la planta, existiendo así muy pocos problemas de seguridad industrial asociados con el envío y el transporte.

- El proceso de ozonización eleva la concentración de oxígeno disuelto (OD) del efluente. El incremento OD puede eliminar la necesidad de reaeración y también puede incrementar el nivel de OD en la corriente de agua receptora.

❖ **Desventajas:**

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes.
- El proceso de ozonización es una tecnología más compleja que la cloración o la desinfección con luz ultravioleta, por lo cual se requieren equipos complicados y sistemas de contacto eficientes.
- El ozono es muy reactivo y corrosivo, requiriendo así de materiales resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable.
- El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de sólidos suspendidos (SS), demanda bioquímica del oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno, o carbono orgánico total.
- El ozono es extremadamente irritante y posiblemente tóxico, así que los gases de escape que salen de la cámara de contacto deben ser destruidos para evitar que los trabajadores estén expuestos a ellos.
- El costo del tratamiento puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y la demanda de energía eléctrica.

### **3.5.1.2 Opción 2: desinfección con luz ultravioleta (UV)**

La luz ultravioleta (UV) es una alternativa establecida y cada vez más popular frente al uso de productos químicos para la desinfección de agua potable, aguas residuales y aguas industriales de varias calidades. Los sistemas de desinfección UV pueden ser diseñados para una amplia gama de aplicaciones siempre que se preste la debida atención a la calidad del agua que se está desinfectando y a los objetivos de desinfección buscados (<http://www.gaisa-mspas>, 2008)

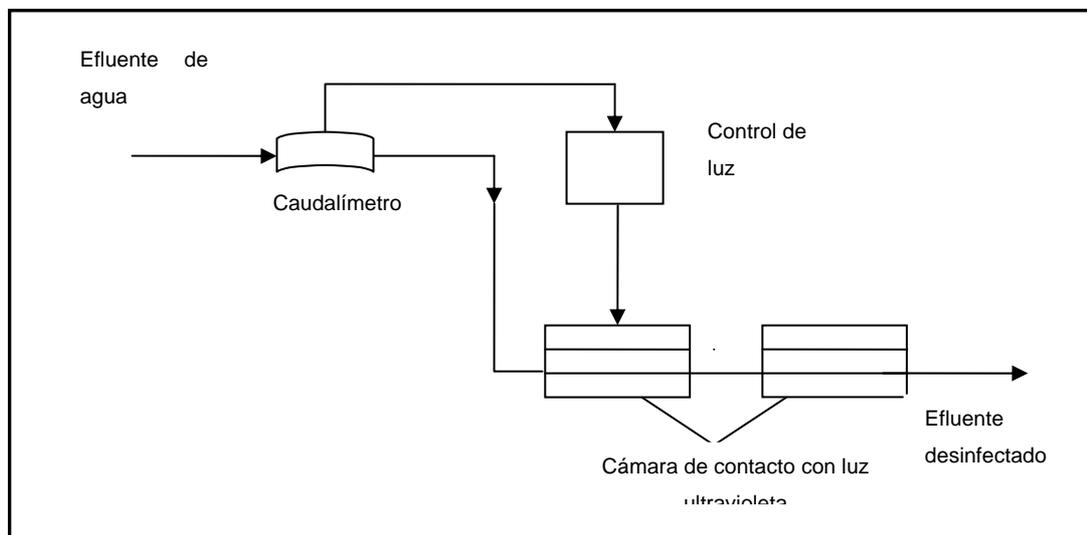
El sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV) transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del organismo (ADN o ARN). Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo, ésta destruye la habilidad de reproducción de la célula. (EPA, 1999)

La radiación UV, generada por una descarga eléctrica a través de vapor de mercurio, penetra al material genético de los microorganismos y retarda su habilidad de reproducción. La eficacia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua residual, la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor. Para cualquier planta de tratamiento, el éxito de las actividades de desinfección está directamente relacionado con la concentración de componentes coloidales y de partículas en el agua residual.

Los componentes principales del sistema de desinfección con luz UV son las lámparas de vapor de mercurio, el reactor y los balastos electrónicos (*ballasts*). La fuente de luz UV son las lámparas de arco de mercurio de baja o mediana presión, bien sea de intensidad baja o alta. La longitud de onda óptima para desactivar eficazmente los microorganismos se encuentra en el rango de 250 a 270 nm. La intensidad de la radiación emitida por la lámpara se disipa a medida que la distancia de la lámpara aumenta. Las lámparas de baja presión emiten básicamente luz monocromática a una longitud de onda de 253,7 nm. Las longitudes estándar de las lámparas de baja presión son de 0,75 y 1,5 metros, y sus diámetros van de 1,5 a 2,0 cm. La temperatura ideal de la pared de la lámpara se encuentra entre 95 y 122. (EPA, 1999)

Las lámparas de mediana presión son generalmente utilizadas en instalaciones de mayor tamaño. Estas lámparas de luz UV tienen una intensidad germicida aproximadamente 15 a 20 veces mayor que las lámparas de baja presión. La lámpara de mediana presión desinfecta más rápido y tiene más capacidad de penetración debido a su mayor intensidad. Sin embargo, estas lámparas operan a temperaturas más altas con un mayor

consumo de energía eléctrica. En la figura 3.15 se representa un diagrama esquemático típico del sistema de desinfección con radiación ultravioleta.



**Figura 3.15 Diagrama esquemático típico del sistema de desinfección con radiación ultravioleta (Metcalf y Eddy, 1996).**

#### a. Aplicabilidad

Cuando se selecciona un sistema de desinfección con luz UV, existen tres áreas críticas que deben considerarse. La primera la determina principalmente el fabricante; la segunda, el diseño y las actividades de operación y mantenimiento; y la tercera debe ser controlada en la instalación de tratamiento. El seleccionar un sistema de desinfección con luz UV depende de los tres factores críticos que se enumeran a continuación (Epa, 1999):

- Propiedades hidráulicas del reactor: de preferencia, un sistema de desinfección con luz UV debe tener un flujo uniforme con un movimiento axial suficiente (mezcla radial) para lograr una máxima exposición a la radiación UV. En la figura 3.16 se muestra un reactores de contacto de luz ultravioleta y se puede apreciar su aplicabilidad La trayectoria que un organismo toma en el reactor determina la cantidad de radiación a la cual es expuesto antes de la

desactivación. Un reactor se debe diseñar para eliminar el flujo en cortocircuito y/o las zonas estancadas o estáticas que pueden dar lugar al uso ineficaz de la energía y la reducción del tiempo de contacto.

- Intensidad de la radiación UV: los factores que afectan la intensidad son la edad de las lámparas, la formación de depósitos en las lámparas, y la configuración y la ubicación de las lámparas en el reactor.
- Características del agua residual: éstas incluyen el caudal, los sólidos suspendidos y coloidales, la densidad bacteriana inicial, y otros parámetros físicos y químicos.

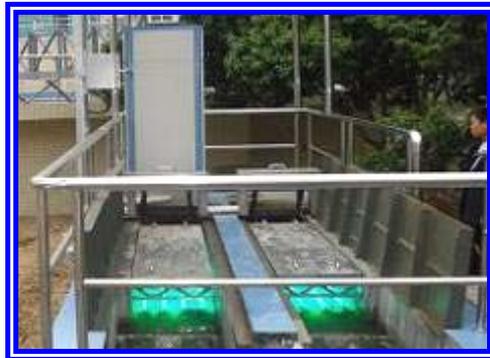
#### **b. Ventajas**

- La desinfección con luz UV es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.
- La desinfección con luz UV es más un proceso físico que una desinfección química, lo cual elimina la necesidad de generar, manejar, transportar, o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos.
- No existe ningún efecto residual que pueda afectar a los seres humanos o cualquier organismo acuático.
- La desinfección con luz UV es de uso fácil para los operadores.
- La desinfección con luz UV tiene un período de contacto más corto en comparación con otros desinfectantes (aproximadamente de 20 a 30 segundos con la utilización de las lámparas de baja presión).
- El equipo de desinfección con luz UV requiere menos espacio que otros métodos.

#### **c. Desventajas**

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas y quistes.

- Algunas veces los organismos pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante un “mecanismo de reparación”, también conocido como foto reactivación o, en ausencia de radiación, como “reparación en oscuro”.
- Un programa de mantenimiento preventivo es necesario para controlar la acumulación de sólidos en la parte externa de los tubos de luz.
- La turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual hacen que la desinfección con luz UV sea ineficaz. El uso de la desinfección con lámparas UV de baja presión no es tan efectivo en el caso de efluentes secundarios con niveles de SST mayores a 30 mg/l.
- La desinfección con luz UV no es tan económica como la desinfección con cloro, pero los costos son competitivos cuando la cloración requiere descloración y se cumple con los códigos de prevención de incendios.



**Figura 3.16 Reactores de contacto de luz ultravioleta**  
(<http://aguasresiduales-b-417,2009>)

### **3.5.1.3 Opción 3: desinfección con cloro**

#### **a. Aplicabilidad**

El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica porque destruye los organismos a ser inactivados mediante la

oxidación del material celular .En la tabla 3.21 se mencionan algunas características del agua residual que afectan la eficiencia de la cloración El cloro puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas de cloro tal y como se muestra en la figura 3.17, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida. Algunas de las alternativas de desinfección incluyen la ozonización y la desinfección con radiación ultravioleta (UV). La selección de un desinfectante adecuado para una instalación de tratamiento depende de los siguientes criterios (EPA, 1999):

- La capacidad de penetrar y destruir los gérmenes infecciosos en condiciones normales de operación.
- La facilidad y seguridad en el manejo, el almacenamiento y el transporte.
- La ausencia de residuos tóxicos y de compuestos mutagénicos o carcinógenos.
- Costos razonables de inversión de capital y de operación y mantenimiento (O/M).

**Tabla 3.21 Características del agua residual que afectan la eficiencia de la cloración (EPA, 1999)**

| Características del agua residual   | Efecto de la desinfección con cloro  |
|-------------------------------------|--|
| Amoníaco                            | Forma cloraminas cuando se combina con cloro   |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | El grado de interferencia depende de los grupos funcionales y la estructura química  |
| Dureza del agua, hierro, nitratos   | De presentarse, sus efectos son menores  |
| Nitrito                             | Reduce la efectividad del cloro y resulta en la formación de THM   |
| pH                                  | Afecta la distribución entre el ácido hipocloroso y los iones de hipoclorito, y entre las varias especies químicas de cloraminas |
| Sólidos suspendidos totales         | Aísla las bacterias que se encuentran incorporadas y que representan demanda de cloro  |

#### **b. Ventajas y desventajas**

El cloro es un desinfectante que tiene ciertos limitantes en términos de salubridad y

seguridad, pero al mismo tiempo tiene un largo historial como un desinfectante efectivo. Antes de decidir si el cloro reúne las condiciones para su uso por parte de una municipalidad es necesario entender las ventajas y desventajas de este producto.

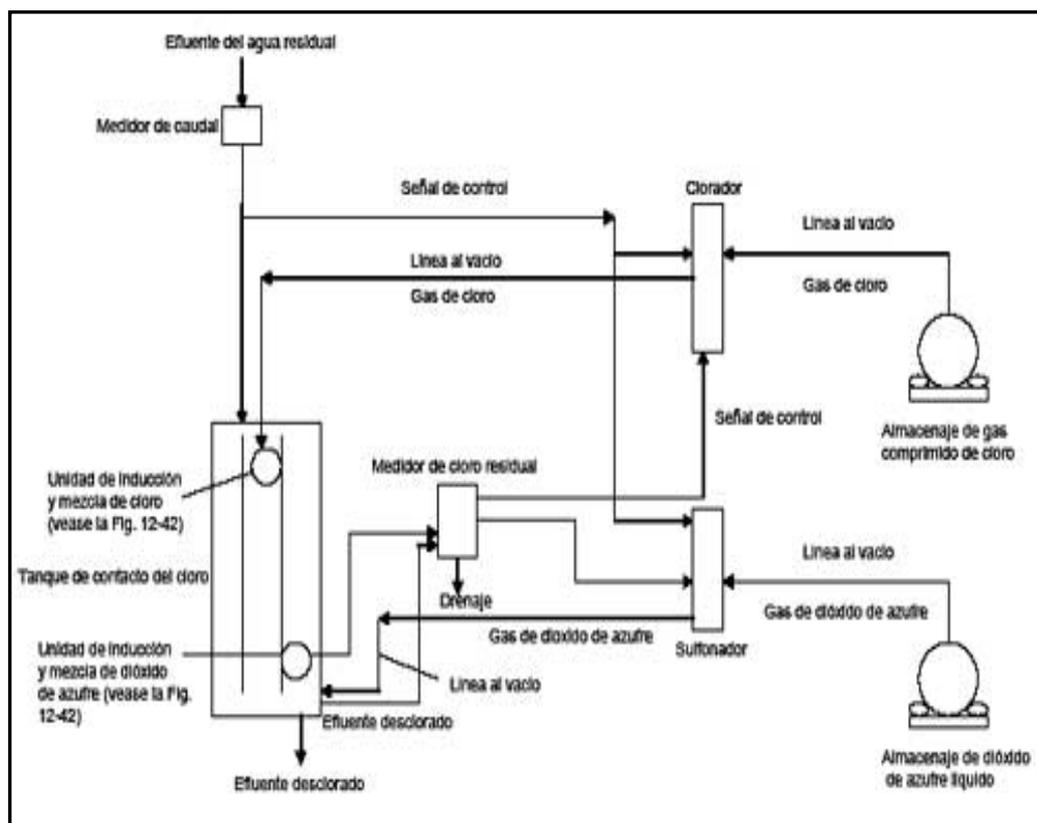
### **b.1 Ventajas**

- La cloración es una tecnología bien establecida.
- En la actualidad la cloración es más eficiente en términos de costo que la radiación UV o la desinfección con ozono (excepto cuando la descloración y el cumplimiento con requisitos de la prevención de incendios son requeridos).
- El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección aún después del tratamiento inicial, y puede ser medido para evaluar su efectividad
- La desinfección con cloro es confiable y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos.
- El cloro es efectivo en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos.
- La cloración permite un control flexible de la dosificación.
- El cloro puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección.

### **b.2. Desventajas**

- El cloro residual, aún a bajas concentraciones, es tóxico a los organismos acuáticos y por ello puede requerirse la descloración.
- Todas las formas de cloro son muy corrosivas y tóxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, el transporte y el manejo presentan riesgos cuya prevención requiere normas más exigentes de seguridad industrial.
- El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos (tales como los metanos trihalometanos [THM]).

- El nivel total de sólidos disueltos se incrementa en el agua efluente.
- El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada.
- Algunas especies parásitas han mostrado resistencia a dosis bajas de cloro, incluyendo los oocistos de *Cryptosporidium parvum*, los quistes de *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*, y los huevos de gusanos parásitos.
- Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la descloración al ambiente.



**Figura 3.17 Sistema para cloración con gas de cloro y de cloración con dióxido de azufre usando control en circuito por compuesto con cloro líquido (EPA, 1999)**

### 3.6 REALIZACIÓN DE UN ESTIMADO DE COSTO DE LAS PROPUESTAS SELECCIONADAS

El desarrollo de planes de ingeniería para el tratamiento de aguas residuales involucra la evaluación económica de esquemas alternativos, la selección de un sistema satisfactorio menos costoso y el desarrollo de un plan de financiación. Con frecuencia la alternativa menos costosa debe de ser evaluada desde varios puntos de vista: costo total, la relación costo-satisfacción y costo total para el usuario. (McGhee, 1999)

Para este proyecto la estimación de los costos es clase III ver la (tabla 2.4) y su estudio estará basado en la capacidad de la planta, en la

composición fisicoquímica y bacteriológica del efluente y del fabricante de los equipos. Los precios fueron obtenidos de las listas de precios referenciales de empresas especializadas en el tratamiento de aguas servidas (Advance Laboratorios, 2010).

A continuación se presentan tablas de costos de las diferentes alternativas seleccionadas dentro de las cuales destacan la desinfección con cloro, ozono y radiación UV.

Para realizar las estimaciones de costo de las propuestas mencionadas anteriormente para la desinfección de las aguas residuales se aplicó la ecuación 3.5 de escalamiento de costos (Peters y Timmerhaus, 1981), y los indicadores económicos para plantas de ingeniería química que se encuentran ubicados en las figuras C.17 y C.18

$$\text{Costo en el año A} = \text{costo en el año B} \times \frac{\text{Índice de costo año A}}{\text{Índice de costo año B}} \quad (\text{Ec.3.12})$$

### **Opción 1: desinfección con ozono**

Sustituyendo los costos de los componentes de la tabla 3.21 y los indicadores de costo del periodo 1998 adaptados al periodo del año 2010 en la ecuación 3.5 respectivamente se tiene:

$$\text{Costo en el año 2010} = \text{costo en el año 245,50\$} \times \frac{645,50}{389,50} = 406,86\$$$

Realizando la conversión de 406,86 dólares a bolívares nos da un valor 1749,50. Este mismo procedimiento se aplica para los restantes costos de los componentes que integran el sistema de ozonización y para el sistema con radiación UV y se muestran en las tablas 3.23 y 3.24.

**Tabla 3.22 Estimación de costos típicos de un sistema de ozonización (EPA, 1999)**

| <b>Componente</b>   | <b>Costo del sistema (\$)</b> |
|---|-------------------------------|
| Gas de alimentación y compresor de oxígeno  | 245,500                       |
| Cámara de contacto (500 gpm)  | 4,000 – 5,000                 |
| <b>Unidad de destrucción</b>  |                               |
| Pequeña (cerca de 30pcm)  | 800                           |
| Grande (cerca de 120 pcm)   | 1,000 – 1,200                 |
| Costos misceláneos  | 35,000                        |
| Costos de ingeniería  | 12,000 – 15,000               |
| <b>Costo anual de operación y mantenimiento</b>   |                               |
| Mano de obra  | 12,000                        |
| <b>Otros (reemplazo de filtros, aceite del compresor, repuestos dieléctricos, etc.)</b> | 6,500                         |

**Tabla 3.23 Estimación de costos típicos de un sistema de ozonización del año 1998 adaptada al año 2010**

| <b>Componente</b>   | <b>Costo del sistema<br/>(bolívares)</b> |
|---|--|
| Gas de alimentación y compresor de oxígeno  | 1749,50                                  |
| Cámara de contacto<br>(500 gpm)   | 28504,74 – 35630,92                      |
| <b>Unidad de destrucción</b>  |  |
| Pequeña (cerca de 30pcm)  | 5700,94                                  |
| Grande (cerca de 120 pcm)   | 7126,18 – 8551,41                        |
| Costos misceláneos  | 249416,56                                |
| Costos de ingeniería  | 85514,23 – 106895,80                     |
| <b>Costo anual de<br/>operación y mantenimiento</b>   |  |
| Mano de obra  | 85514,23                                 |
| <b>Otros (reemplazo de filtros,<br/>aceite del compresor,<br/>repuestos dieléctricos, etc.)</b> | 46320,20                                 |
| <b>Total</b>  | 539.769.628,00                           |

gpm: galones por minuto

pcm: pies cúbicos por minuto

En general, los costos son influenciados en gran parte por factores específicos de la localidad; por esto, las estimaciones que se presentan a continuación son valores típicos que pueden variar de un sitio a otro.

### Opción 2: desinfección con radiación UV

**Tabla 3.24 Estimación de costos típicos de un sistema con radiación UV del año 1998 adaptado al año 2010 (Epa, 1999)**

| Componente   | Rango (bolívares)                     |
|--|---------------------------------------|
| Lámparas UV  | (lámpara)                             |
| 1 – 5 MGD  | 2829,09-9727,25                       |
| 5 – 10 MGD   | 2494,51-4232,96                       |
| 19 – 100 MGD                                       | 1952,59-4190,18                       |
| Costo de construcción de las instalaciones físicas | (% del costo de Lámparas( UV) 75 –200 |
| Limpieza   | 8408,91                               |
| Mantenimiento                                      | 10261,69                              |
| Control del procesos                               | 44467,42                              |
| Pruebas  | 29644,91                              |
| <b>Total</b>                                       | <b>95782,95</b>                       |

### Opción 3: desinfección con cloro

En la tabla 3.25 y 3,26 se observa una estimación de costos típicos de un sistema de desinfección con gas cloro y cloro líquido general además de mostrar una descripción breve de estos productos dependiendo de su uso y empleo.

**Tabla 3. 25 Estimación de costos típicos de un sistema de desinfección con gas cloro (Advance Laboratorios, 2010)**

| Gas cloro                     |   |                 |          |
|-------------------------------|---|-----------------|----------|
| Producto                      | Descripción   | Precio unitario | Subtotal |
| Clorador advance MOD.100E     | CLORADORES ADVANCE SISTEMA DE CLORACIÓN (CLORINADORES), UTILIZADOS EN LA DESINFECCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS, DISPOSICIÓN DE EQUIPOS OPERADOS AL VACÍO, Y A PRESIÓN | 16.248          | 16.248   |
| Cloro gas en bombona          | GAS CLORO EN BOMBONAS DE 68 KG. Y CILINDROS DE TONELADA   | 2.990           | 2.990    |
| Subtotal                      |   |                 | 19238    |
| Impuesto del 12% sobre 19238: |   |                 | 2308,56  |
| Total:                        |   |                 | 21546,56 |

Fuente: presupuesto suministrado por Advance Laboratorios.

**Tabla 3. 26 Estimación de costos típicos de un sistema de desinfección con cloro líquido (Advance Laboratorios, 2010)**

| Cloro líquido                      |  |                 |          |
|------------------------------------|--|-----------------|----------|
| Producto                           | Descripción  | Precio unitario | Subtotal |
| DD300 PVC (2280 GPD / 142 PSI) PVC | Bombas dosificadoras operadas por motor, o dosificadores con motor, marca LMI-Milton Roy, Dosivac, Advance, para adición de productos químicos a un fluido específico en un proceso industrial, municipal o doméstico. | 16.320          | 16.320   |
| DD600 PVC (4560 GPD / 57 PSI) PVC  | Bombas dosificadoras operadas por motor, o dosificadores con motor, marca LMI-Milton Roy, Dosivac, Advance, para adición de productos químicos a un fluido específico en un proceso industrial, municipal o doméstico. | 16.320          | 16.320   |
| Bidón hipoclorito de sodio         | Bidón hipoclorito de sodio 10% de 20 litros  | 53750,00        | 53750,00 |
| Subtotal                           |  |                 | 86390    |
| Impuesto del 12% sobre 86390:      |  |                 | 10366,8  |
| Total:                             |  |                 | 96756,8  |

Fuente: presupuesto suministrado por Advance Laboratorios.

## CAPITULO 4

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 MEDICIÓN DEL CAUDAL DEL EFLUENTE A LA SALIDA DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR

Es necesario analizar con detenimiento del comportamiento de los caudales de salida en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, pues afectan en gran medida las instalaciones de tratamiento.

En la tabla 4.1 y las figuras 4.1 a 4.7 se muestran los caudales a la salida del tratamiento preliminar medidos a cada hora en un periodo de 6:00 am a 6:00 pm los días (19/09/2009, 02/04/2010, 21/10/2009, 26/11/2009, 04/11/2009, 06/02/2010, 14/02/2009). Como puede observarse el caudal de la planta de tratamiento se considera un caudal notoriamente variable.

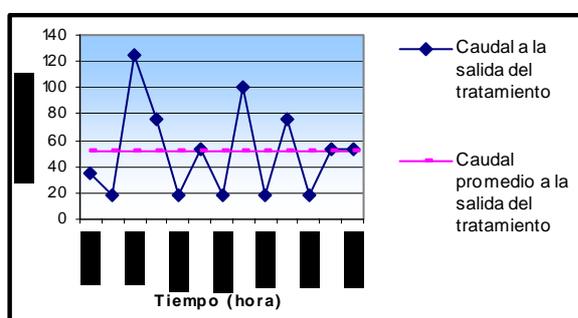
En la tabla 4.1 se muestra los valores de caudal máximo, mínimo y medio de salida en la planta de tratamiento tomados de la tabla 4.2, observándose un caudal máximo de 125 l/s correspondiente al día lunes 19/09/2009 y todo el período de muestreo lo cual nos muestra que la planta se encuentra operando a un 12% con respecto a su caudal máximo de diseño el cual es de 1050 l/s (Halcrow, 1995) según la siguiente expresión:

$$Eficiencia = \frac{125(l/s)}{1050(l/s)} \times 100$$

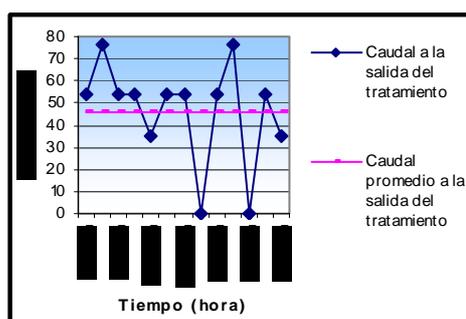
$$Eficiencia = 12\%$$

**Tabla 4.1 Caudal, medio, máximo y mínimo promedios a la salida del tratamiento para el día 19/09/2009**

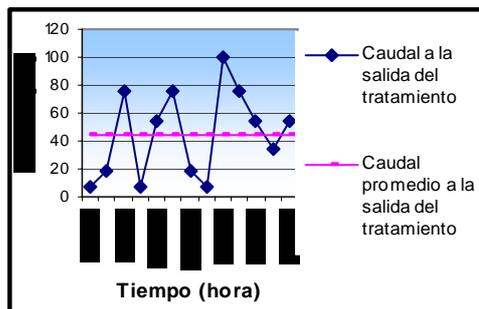
| Caudal | Q (l/s) | Q (l/d)    | Q (m <sup>3</sup> /d) |
|--------|---------|------------|-----------------------|
| Medio  | 51,46   | 4.446.144  | 4446,14               |
| Máximo | 125     | 10.800.000 | 10800                 |
| Minino | 19.0    | 1.641.600  | 1641.6                |



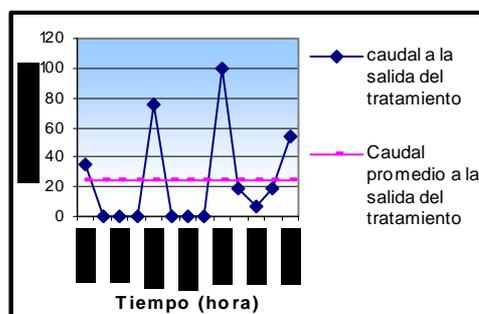
**Figura 4.1 Variación de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido el día lunes 19/09/2009**



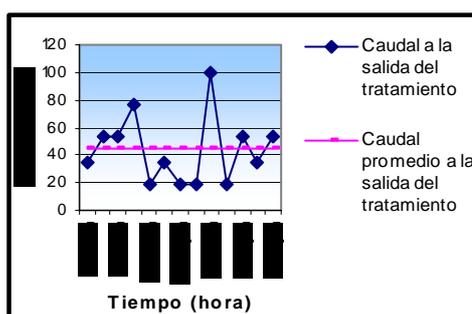
**Figura 4.2 Variación de caudal a la salida tratamiento preliminar medido el martes (04/02/10)**



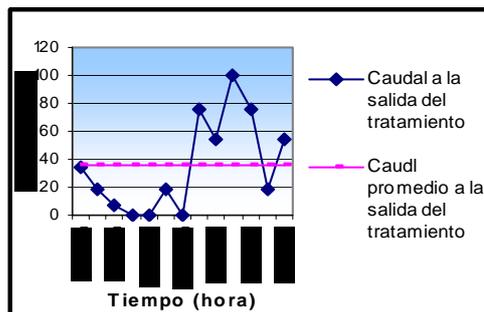
**Figura 4.3 Variación caudal a la salida del tratamiento preliminar medido el miércoles (21/10/09)**



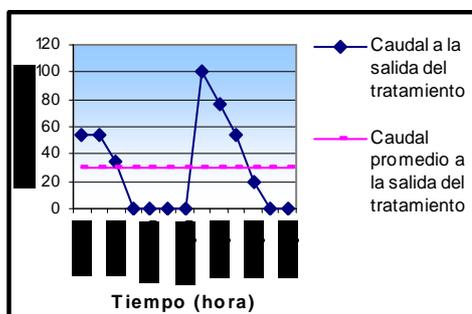
**Figura 4.4 Variación de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido el jueves (26/11/09)**



**Figura 4.5 Variación de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido el viernes (04/11/09)**

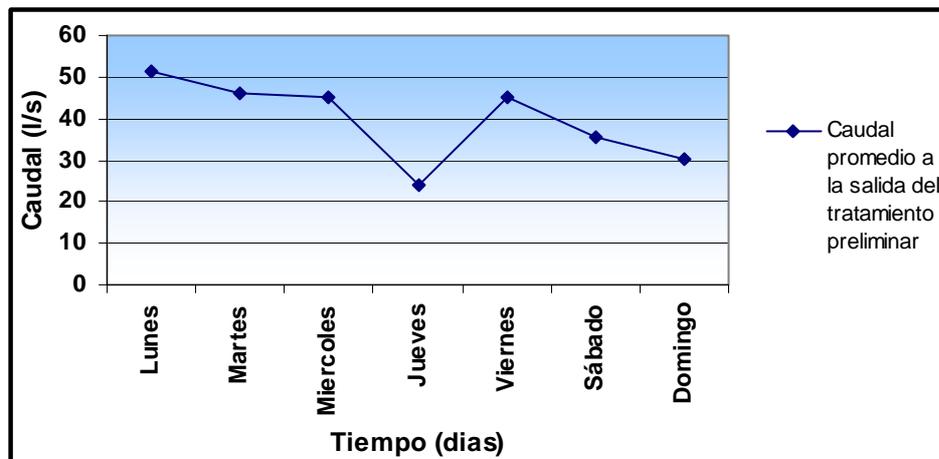


**Figura 4.6 Variación de caudal a la salida del tratamiento preliminar Medido el sábado (06/02/10)**



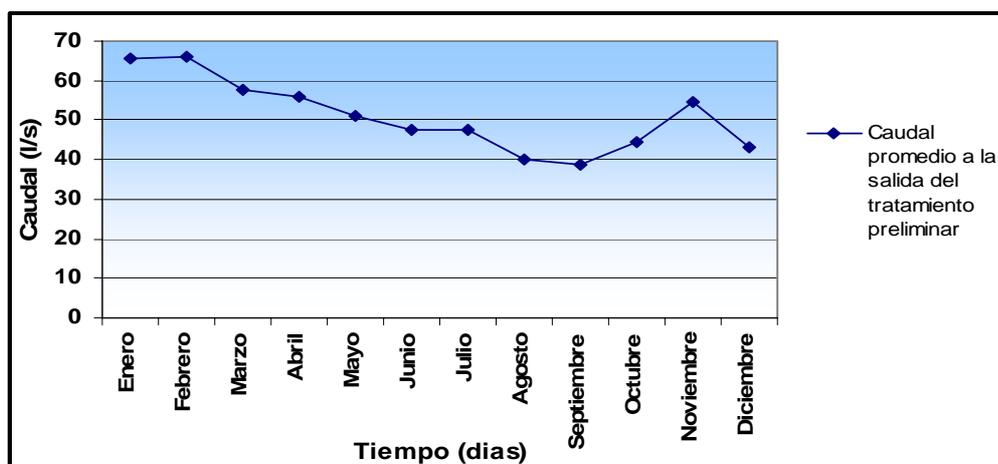
**Figura 4.7 Variación de caudal a la salida del tratamiento preliminar medido el domingo (14/02/10)**

En la figura 4.8 se observa que el comportamiento del caudal de salida durante el resto de los días laborables tiene un comportamiento similar, y para los días de fin de semana se observó un descenso significativo, lo cual se puede atribuir a las condiciones de operación de las estaciones de bombeo, y a la poca actividad doméstica de la comunidad durante estos días.



**Figura 4.8 Variaciones de caudal promedio a la salida del tratamiento preliminar en los diferentes días de la semana**

En la figura 4.9 realizada con los datos de la tabla B.13 se muestra comportamiento del caudal promedio a la salida del tratamiento preliminar medido durante todo el año de 2009. Se puede observar que durante los dos primeros meses del año se registraron los mayores valores de caudal de agua residual, siendo para el mes de enero un caudal promedio de 65,76 l/s, y de 66,07 l/s en el mes de febrero respectivamente, durante el resto de los meses del año se puede observar un descenso en el caudal lo cual se puede atribuir a la época de sequía que hubo durante ese año.

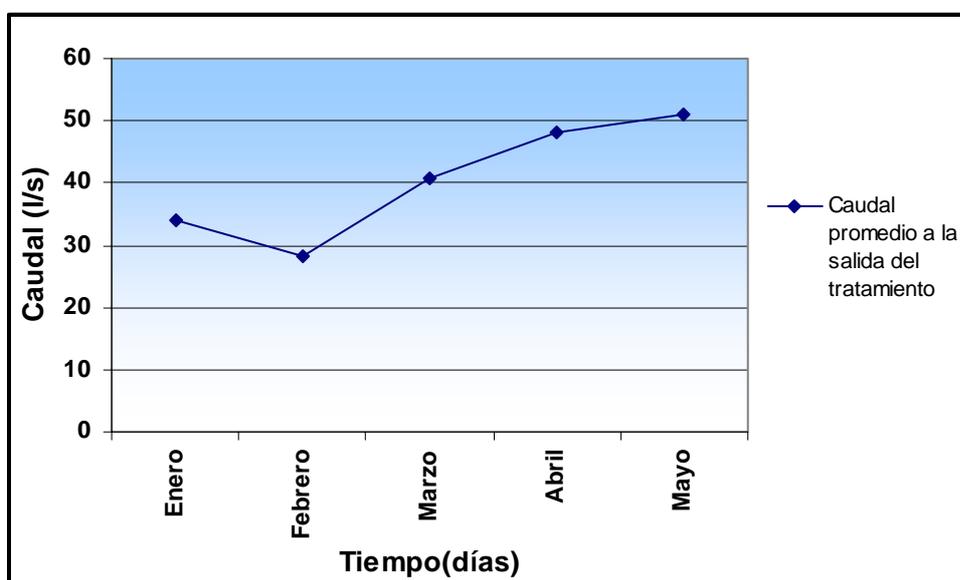


**Figura 4.9 Variaciones de caudal promedio a la salida del tratamiento preliminar en los diferentes meses del año 2009**

**Tabla 4.2 Caudal promedio diario (Qo) a diferentes horas del día del efluente a la salida del tratamiento preliminar**

| Hora                    | 6:00<br>am | 7:00<br>am | 8:00<br>am | 9:00<br>am | 10:00<br>Am | 11:00<br>Am | 12:00<br>am | 1:00<br>am | 2:00<br>am | 3:00<br>am | 4:00<br>am | 5:00<br>am | 6:00<br>am | Qo<br>(l/s) | Qo<br>(l/d) | Qo<br>(m <sup>3</sup> /d) |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|---------------------------|
| Día                     | Q<br>(l/s) | Q<br>(l/s) | Q<br>(l/s) | Q<br>(l/s) | Q<br>(l/s)  | Q<br>(l/s)  | Q<br>(l/s)  | Q<br>(l/s) | Q<br>(l/s) | Q<br>(l/s) | Q<br>(l/s) | Q<br>(l/s) |            |             |             |                           |
| Lunes<br>(19/09/09)     | 35         | 19         | 125        | 76         | 19          | 54          | 19          | 100        | 19         | 76         | 19         | 54         | 54         | 51,46       | 4.446.290   | 4446,29                   |
| Martes<br>(04/02/10)    | 54         | 76         | 54         | 54         | 35          | 54          | 54          | 0,0        | 54         | 76         | 0,0        | 54         | 35         | 46,15       | 3.987.360   | 3987,36                   |
| Miércoles<br>(21/10/09) | 7,0        | 19         | 76         | 7,0        | 54          | 76          | 19          | 7,0        | 100        | 76         | 54         | 35         | 54         | 44,92       | 3.881.088   | 3881,09                   |
| Jueves<br>(26/11/09)    | 35         | 0,0        | 0,0        | 0,0        | 76          | 0,0         | 0,0         | 0,0        | 100        | 19         | 7,0        | 19         | 54         | 23,85       | 2.060.640   | 2060,64                   |
| Viernes<br>(04/11/09)   | 35         | 54         | 54         | 76         | 19          | 35          | 35          | 19         | 100        | 19         | 54         | 35         | 54         | 45,31       | 3.914.784   | 3914,78                   |
| Sábado<br>(06/02/10)    | 35         | 19         | 7,0        | 0,0        | 0,0         | 19          | 0,0         | 76         | 54         | 100        | 76         | 19         | 54         | 35,31       | 3.050.784   | 3050,78                   |
| Domingo<br>(14/02/10)   | 54         | 54         | 35         | 0,0        | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 100        | 76         | 54         | 19         | 0,0        | 0,0        | 30,15       | 2.604.960   | 2604,96                   |
| <b>Qo Semanal</b>       |            |            |            |            |             |             |             |            |            |            |            |            |            | 39,59       | 3.420.822   | 3420,82                   |

En la figura 4.10 se puede observar que durante los meses de enero hasta mayo del año 2010 reportado en la tabla B.14, se puede observar que el caudal se comporto de manera diferente al año anterior, en los primeros meses del año se registraron los valores de caudal más bajos siendo para el mes de enero un caudal promedio de 34,09 l/s y 28,30 l/s para el mes de febrero respectivamente, durante los meses siguientes se observa que el caudal va en aumento, debido a que las precipitaciones para este año comenzaron a principio del mes de marzo según la dirección regional de Protección Civil en el estado Anzoátegui ([www.noticiasde aqui.com.ve](http://www.noticiasde aqui.com.ve)).



**Figura 4.10 Variaciones de caudal promedio a la salida del tratamiento preliminar en los diferentes meses del año 2010**

#### **4.2 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN EL CANAL DE ENTRADA, A LA SALIDA DEL DESBASTE Y EN LA SALIDA DEL DESARENADOR-DESNATADOR**

El conocimiento de la calidad del agua residual es fundamental debido a que permite seleccionar él o los procesos de tratamiento que removerán los componentes no deseados y de esta manera garantizar un efluente de alta calidad que no contamine los cuerpos receptores, además de proyectar su posible reutilización.

En la determinación de la composición del agua residual en tres muestras de agua provenientes del canal de entrada, a la salida del desbaste y a la salida del desarenador-desnatador de la planta de tratamiento se estudió la variación de las características fisicoquímicas y microbiológicas las cuales fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, color, sólidos (sedimentables, totales), oxígeno disuelto, nitrógeno total, aceites y grasas, detergentes, demanda química de oxígeno, y coliformes (totales y fecales).

En las tablas 3.4 a 3.15 se muestran los valores obtenidos para estos parámetros, durante los meses de muestreo. Para realizar el análisis correspondiente se le calculó al conjunto de estos datos, valores promedios y desviación estándar. El resultado de estos análisis se muestra en la tabla 4.3.

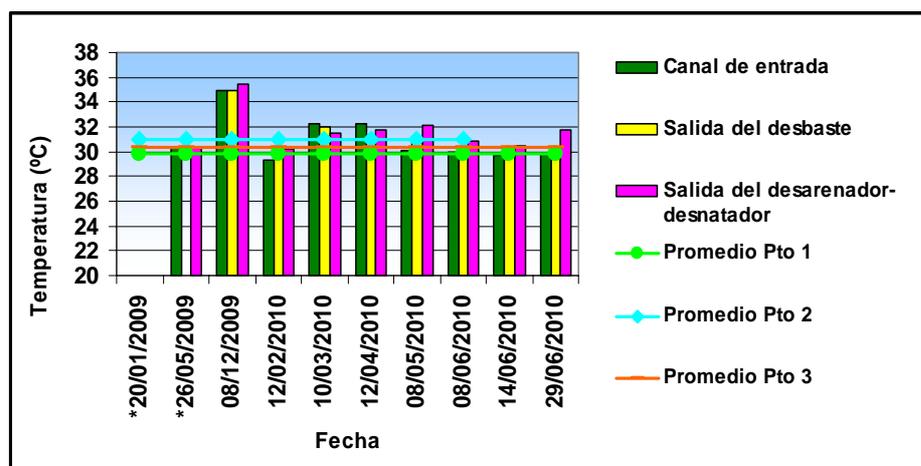
**Tabla 4. 3 Características del agua residual en el canal de entrada, salida del desbaste y a la salida del desarenador-desnatador, promedio desviación**

| Parámetro                | Canal de entrada |                  | Salida del desbaste |                  | Salida del desarenador-desnatador |                  |
|--------------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
|                          | $\bar{X}$        | S                | $\bar{X}$           | S                | $\bar{X}$                         | S                |
| Temperatura (°C)         | 29,88            | 3,89             | 31,03               | 1,80             | 30,33                             | 4,25             |
| pH                       | 7,34             | 0,27             | 7,47                | 0,01             | 7,33                              | 0,39             |
| CE( $\mu$ s/cm)          | 1510,22          | 277,45           | 1505,43             | 242,41           | 1485                              | 147,21           |
| Turbidez (UNT)           | 49,62            | 18,72            | 51,65               | 15,18            | 52,79                             | 28,77            |
| Color( Pt-Co)            | 181,00           | 62,50            | 163,14              | 48,72            | 157,71                            | 42,83            |
| SS (ml /l)               | 0,74             | 0,72             | 0,20                | 0,10             | 0,72                              | 1,98             |
| SDT (mg /l)              | 864,56           | 305,74           | 871,86              | 231,67           | 909,54                            | 235,68           |
| OD (mg /l)               | 0,29             | 0,83             | 0,44                | 1,13             | 0,27                              | 0,69             |
| Nitrógeno total (mg /l)  | 21,00            | 3,28             | 19,38               | 2,84             | 19,32                             | 2,15             |
| Aceites y grasas (mg /l) | 8,19             | 0,60             | 7,80                | 0,33             | 5,87                              | 0,29             |
| Detergentes (mg /l)      | 5,16             | 0,86             | 4,84                | 0,56             | 4,19                              | 0,42             |
| DQO (mg /l)              | 277,69           | 181,60           | 179,45              | 68,26            | 183,45                            | 99,382           |
| CF (NMP/100ml)           | $300 \cdot 10^6$ | $848 \cdot 10^6$ | $300 \cdot 10^6$    | $848 \cdot 10^6$ | $300 \cdot 10^6$                  | $848 \cdot 10^6$ |
| CT (NMP/100ml)           | $300 \cdot 10^6$ | $848 \cdot 10^6$ | $300 \cdot 10^6$    | $848 \cdot 10^6$ | $300 \cdot 10^6$                  | $848 \cdot 10^6$ |

La diversificación de la temperatura se observa en la figura 4.11 la cual fue realizada con datos de la tabla 3.4, para los diferentes puntos y meses de muestreo, además de un comportamiento constantes en ellos, cabe destacar que la desviación fue de 3,89 con respecto al promedio de este parámetro en el canal de entrada el cual fue de 29,88 °C, para la salida del desbaste una desviación de 1,80 con respecto a un promedio de 31,03 °C y para la

salida desarenador-desnatador una desviación de 4,25 con respecto a su promedio de 30,33 °C cuyos valores se encuentran reportados en la tabla 4.3 .

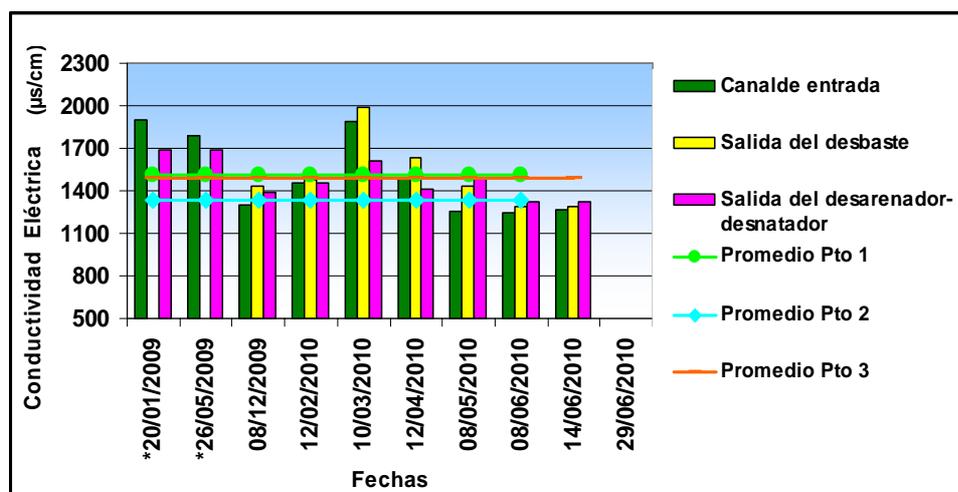
Durante los meses de muestreo la temperatura en algunas fechas alcanzó los 35 °C y esto se supone que es por las altas temperaturas de la época, sin embargo se puede decir que el valor de la temperatura se encuentra dentro del rango apropiado para el desarrollo de la actividad bacteriana, por lo general las temperaturas de las aguas residuales suelen ser bastante altas, debido al origen de su procedencia. El aumento de las temperaturas acelera la descomposición de la materia orgánica, aumenta el consumo de oxígeno para la oxidación y disminuye la solubilidad del oxígeno y otros gases (Metcalf y Eddy, 1996).



**Figura 4.11 Comportamiento de la temperatura para los diferentes puntos de muestreo**

El promedio de la conductividad eléctrica en el canal de entrada fue de 1510,22  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , a la salida del desbaste fue de 1505,43  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y el de salida desarenador-desnatador de 1485  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , observándose en la figura 4.12 construida de la tabla 3.5, el comportamiento de la conductividad eléctrica para las diferentes fechas y puntos de muestreo demuestra que para el día 10 de marzo del 2010 se presentaron los valores más altos de este

parámetro para los tres puntos de muestreo los cuales fueron para el canal de entrada 1890  $\mu\text{s/cm}$ , para la salida del desbaste 1987  $\mu\text{s/cm}$  y para salida del desarenador-desnatador 1611  $\mu\text{s/cm}$  en comparación con los demás meses de muestreo, para este parámetro no existe limite en las normas de clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos

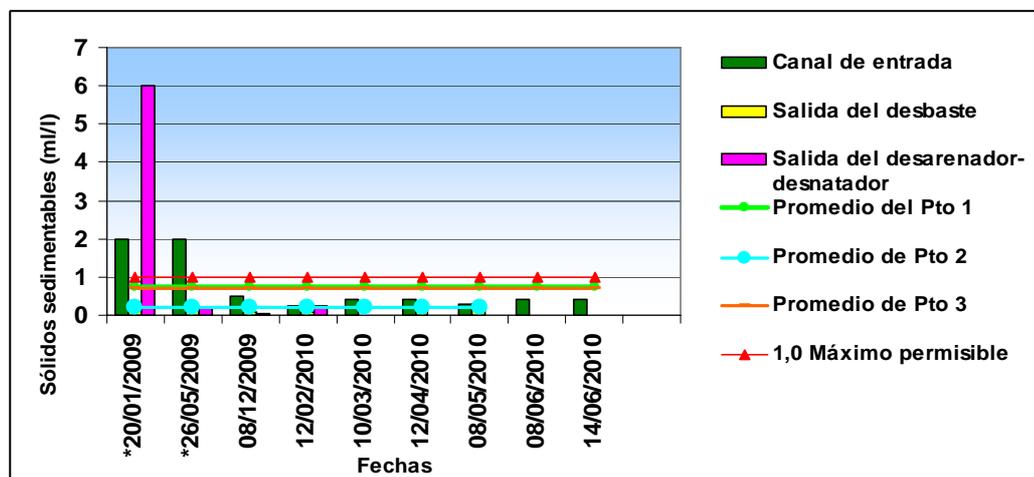


**Figura 4.12 Comportamiento de la conductividad eléctrica para los diferentes puntos de muestreo**

La desviación de la concentración de los sólidos sedimentables en el canal de entrada fue de 0,72 con respecto al promedio que fue de 0,74  $\text{ml/l}$ , para la salida del desbaste una desviación de 0,10 con respecto a un promedio de 0.20  $\text{mg/l}$  y para la salida desarenador-desnatador una desviación de 0,98 con respecto a su promedio de 0,72  $\text{mg/l}$  respectivamente lo cual se puede apreciar en la tabla 4.3.

En la figura 4.13 construida con los datos de la tabla 3.6 se observa el comportamiento de este parámetro para los diferentes meses de muestreo y las variaciones del mismo las cuales se encuentran por debajo del límite establecido por el (decreto 883, 1995) de 1,0  $\text{mg/l}$  a excepción de los meses enero y mayo de 2009 que presentan una concentración alta de 2  $\text{mg/l}$ , esto puede atribuirse a que al momento de captar la muestra las cámara

desarenadora no se encontraba en funcionamiento, afectando de manera directa el proceso de remoción de sólidos adecuadamente.

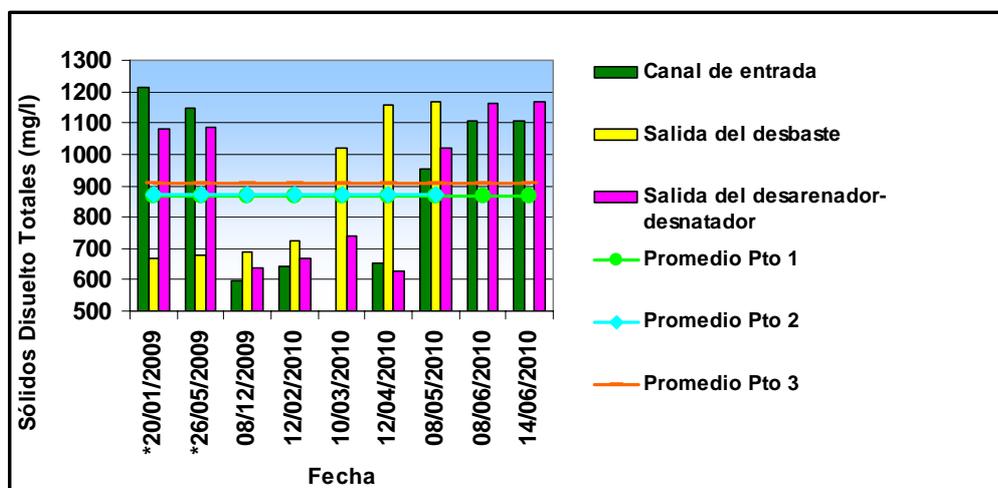


**Figura 4.13 Comportamiento de los sólidos sedimentables para los diferentes puntos de muestreo**

El comportamiento de la concentración de los sólidos disueltos totales se muestra en figura 4.14 construida de los datos de la tabla 3.6 para los puntos de muestreo seleccionados, donde se obtiene una desviación para el canal de entrada de 305,74 con respecto a un promedio de 864,56 mg/l, para la salida del desbaste una desviación de 231,67 con respecto a un promedio de 871,86 mg/l y para la salida desarenador-desnatador una desviación de 235,68 con respecto a su promedio de 909,54 mg/l dichos valores se encuentran reportados en la tabla 4.3.

Se puede observar variaciones muy dispersas para los tres puntos antes mencionados, sobre todo en los meses mayo y junio en lo cual se aprecia niveles altos, los sólidos disueltos totales es una combinación de la diferencia de los sólidos totales y suspendidos totales, a pesar de que no tiene un límite establecido por (decreto 883,1995) sus altos valores evidencian la elevada concentración de materia orgánica dentro de estas

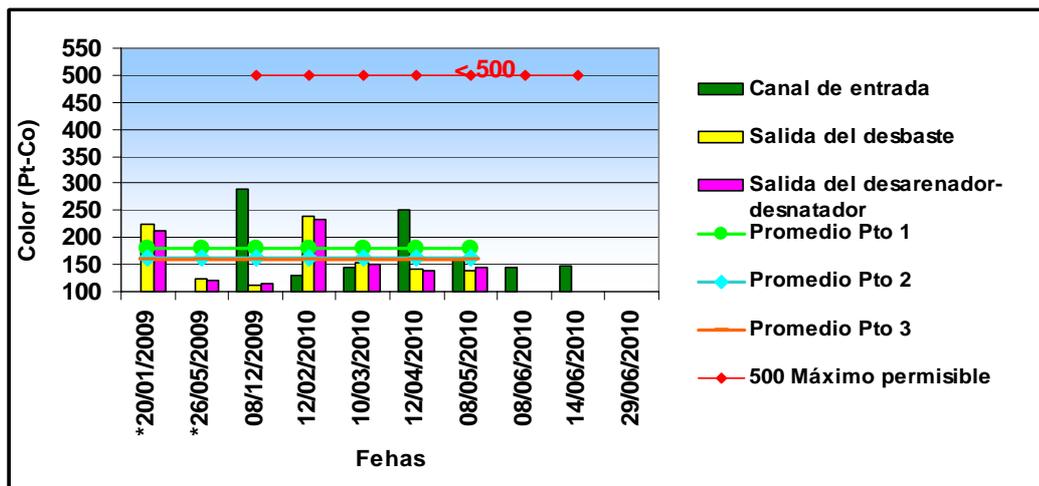
aguas lo cual no es favorable para la vida acuática del cuerpo receptor que es la playa de Caño Salado



**Figura 4.14 Comportamiento de los sólidos disueltos totales para los diferentes puntos de muestreo**

El comportamiento del color para los diferentes meses de muestreo se muestra en la figura 4.15 construida de la tabla de datos 3.7, presentando una desviación para el canal de entrada de 62,50 con respecto a un promedio de 181,00 Pt- Co, para la salida del desbaste una desviación de 48,62 con respecto a un promedio de 163,14 Pt-Co y para la salida desarenador-desnatador una desviación de 42,83 con respecto a su promedio de 157,71 Pt-Co datos que se encuentran reportados en la tabla 4.3.

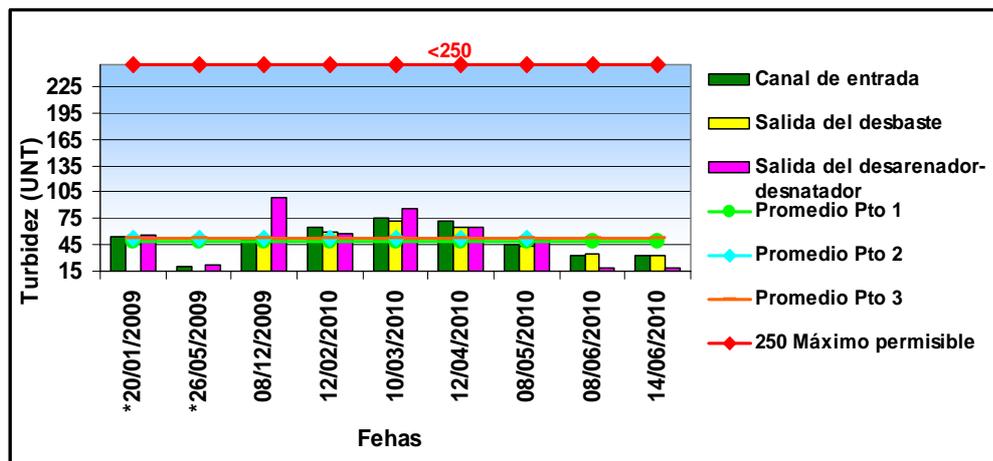
Durante el periodo de muestreo para la planta de tratamiento el color predominante para estas aguas fue negro, lo que se debe a que la planta se encuentra operando con pocos equipos para el suministro aire, no obstante como se visualiza en la grafica para los meses de diciembre y abril se presentaron valores altos de coloración, pero a pesar de que el color de estas aguas es bastante oscura no exceden el limite establecido en el (decreto 883,1995), lo cual indica que la materia disuelta que es la que ocasiona color al agua se mantuvo constante en este periodo.



**Figura 4.15 Comportamiento del color para los diferentes puntos de muestreo**

Los valores de turbidez durante el período de muestreo se mantuvieron con bastante diferencia, lo cual se puede ver en la figura 4.16 construida de la tabla con los datos de la tabla 3.8, presentando un aumento considerable entre los meses de diciembre de 2009 y marzo de 2010 donde se observaron los valores más altos.

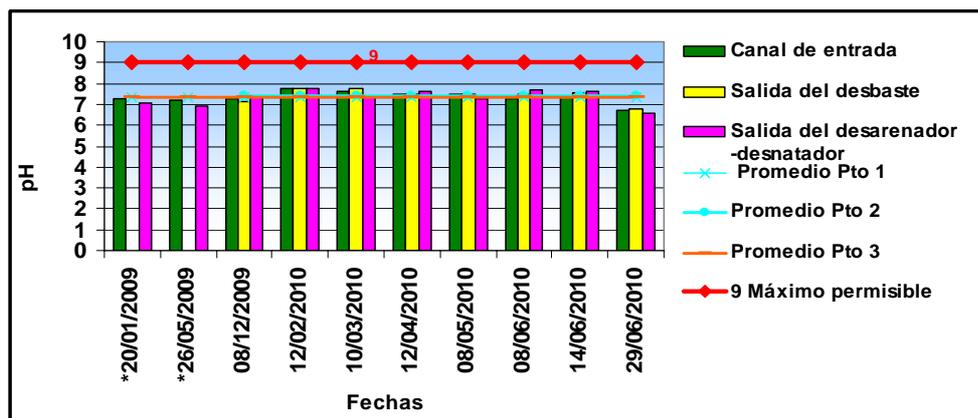
Para el canal de entrada se presentó una desviación de 18,72 con respecto a un promedio de 49,62 UNT, para la salida del desbaste una desviación de 15,18 con respecto a un promedio de 51,65 UNT y para la salida desarenador-desnatador una desviación de 28,77 con respecto a su promedio de 52,79 UNT respectivamente datos que se encuentran reportados en la tabla 4.3, sin embargo este parámetro no se excede del límite establecido según el (decreto 883,1995) el cual debe ser menor de 250 UNT, lo cual indica que al encontrar bajas concentraciones de este parámetro la planta está procesando de manera adecuada la materia coloidal y el residual en suspensión.



**Figura 4.16 Comportamiento de la turbidez para los diferentes puntos de muestreo**

Con datos de la tabla 3.9 se construyó la figura 4.17 en el cual se muestra el comportamiento del pH para las diferentes fechas y puntos de muestreo, se puede apreciar el comportamiento de este parámetro en el canal de entrada a la planta variando dentro de un rango de 6,74 a 7,73 unidades de pH; 6,78 a 7,75 unidades de pH a la salida del desbaste y 6,55 a 7,73 unidades de pH a la salida del desarenador-desnatador.

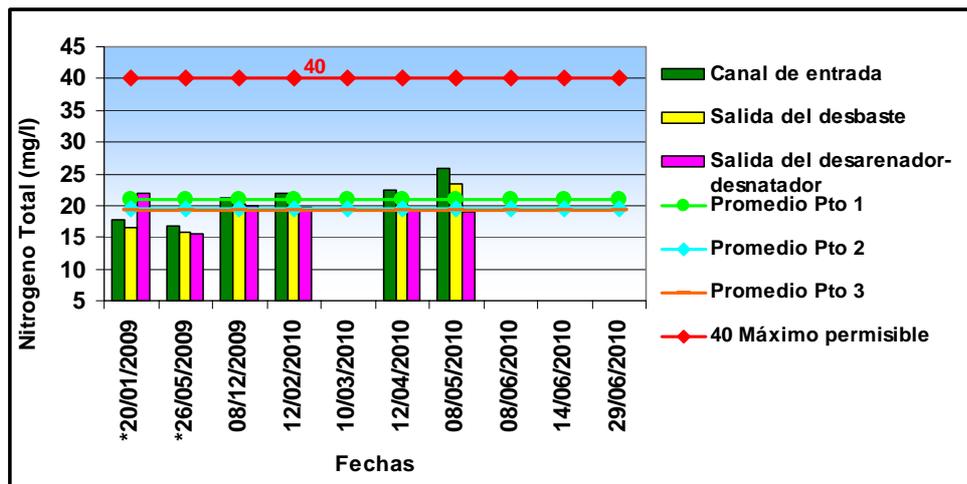
Para el canal de entrada se presentó una desviación 0,27 de con respecto a un promedio de 7,34 unidades de pH, para la salida del desbaste una desviación de 0,001 con respecto a un promedio de 7,47 unidades de pH y para la salida desarenador-desnatador una desviación de 0,39 con respecto a su promedio de 0,39 unidades de pH respectivamente, estos resultados se muestran en la tabla 4.3 e indican que los valores de pH que presenta la planta son bastante aceptables para el proceso de tratamiento, en la remoción de materia orgánica puesto que se mantienen por debajo de los límites establecidos según el (decreto 883,1995) cual establece un límite de 9 unidades de pH.



**Figura 4.17 Comportamiento del pH para los diferentes puntos de muestreo**

La concentración del nitrógeno total presentó para el canal de entrada una desviación 3,28 de con respecto a un promedio de 21,00 mg/l , para la salida del desbaste una desviación de 2,84 con respecto a un promedio de 19,38 mg/l y para la salida desarenador-desnatador una desviación de 2,15 con respecto a su promedio de 19,32 mg/ respectivamente que se encuentran reportados en la tabla 4.3, tal y como se ilustra en la figura 4.18 construida de la tabla de datos 3.11, se puede apreciar que todos los valores para los diferentes meses de muestreo presentan una variación dispersa dentro de un rango que oscila de 20 a 25 mg/l, su control es de gran importancia porque a grandes concentraciones puede afectar la vida de diversas especies acuáticas.

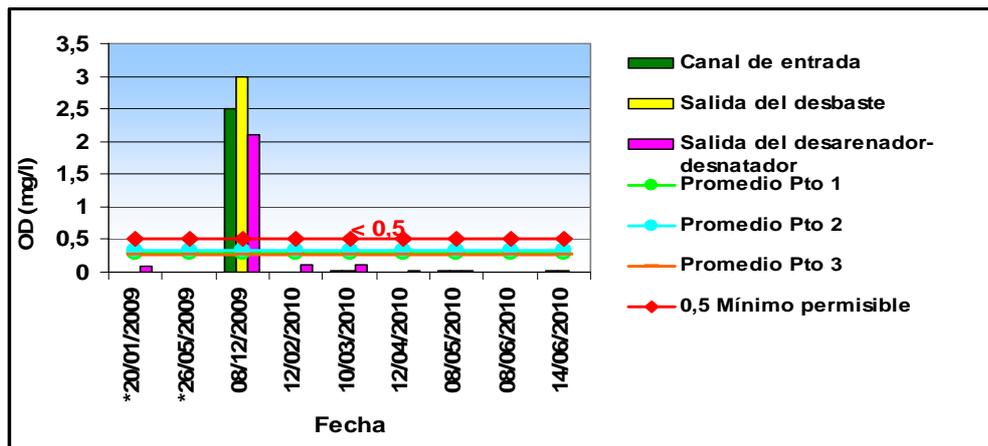
La concentración de nitrógeno para estas aguas residuales se mantiene por debajo del límite establecido el cual es de 40 mg/l según (decreto 883,1995) para descargas al medio marino costero.



**Figura 4.18 Comportamiento del nitrógeno total para los diferentes puntos de muestreo**

Para las concentraciones de oxígeno disuelto durante los diferentes días de muestreo se encuentra entre un valor mínimo de 0,01 mg/l registrado el 12 de febrero de 2010 y abril para el canal de entrada y un máximo valor de 3 mg/l el día 8 de diciembre para la salida del desbaste, lo cual se puede apreciar en la figura 4.19 realizada por los datos de la tablas 3.12.

La desviación en el canal de entrada fue de 0,83 con respecto a un promedio de 0,29 mg/l, para la salida del desbaste una desviación de 1,13 con respecto a un promedio de 0,44 mg/l mientras que para la salida desarenador-desnatador una desviación de 0,69 con respecto a su promedio de 0,27 mg/ respectivamente que se encuentran reportados en la tabla 4.3, además de ver que el promedio de la concentración del oxígeno disuelto esta muy por debajo del limite establecido según (decreto 883,1995) el cual establece como mínimo una concentración de oxígeno disuelto de 0,5 mg/l, lo cual evidencia que no se está realizando una adecuada oxigenación dentro del tratamiento preliminar.



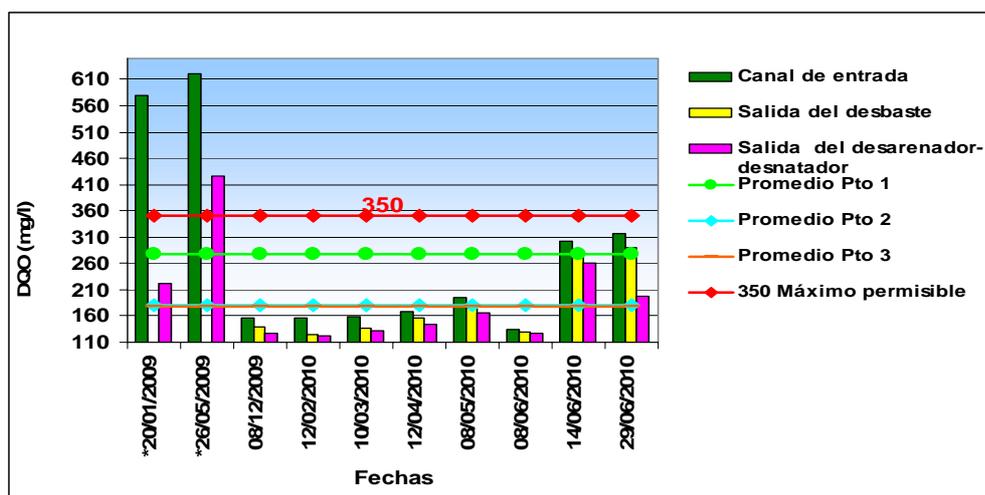
**Figura 4.19 Comportamiento del oxígeno disuelto para los diferentes puntos de muestreo.**

En la figura 4.20 construida por la tabla de datos 3.13 se visualiza el comportamiento de la demanda química de oxígeno donde tuvo una desviación para el canal de entrada de 181,60 con respecto a un promedio 277,69 mg/l, para la salida del desbaste una desviación de 68,26 con respecto a un promedio de 179,45 mg/l mientras que para la salida desarenador-desnatador una desviación de 99,38 con respecto a su promedio de 183,45 mg/ respectivamente.

En los diferentes meses de muestreo, se observó observándose que los meses enero y mayo del 2009 se registraron altas concentraciones de este parámetro, sobrepasando el límite de 350 mg/l establecido por (decreto 883, 1995) esto es debido a la presencia de sustancias inorgánicas con los cuales el dicromato puede reaccionar.

Sin embargo se puede también distinguir que para los otros meses restantes la DQO mantuvo variaciones por debajo del establecido (decreto 883, 1995), cuando se encontró esto que no es habitual en este tipo de agua residual, se repitió varias veces por los diferentes métodos existentes para su determinación y además se hizo un cambio en la hora de captar la muestra la cual fue a las dos de la tarde puesto que las tomas de muestras para los análisis anteriores siempre se realizaba en la horas de la mañana con este cambio de horario se observó un aumento en la concentración de la DQO,

dicho aumento fue significativo aunque no era el esperado para este tipo de agua, lo cual hace pensar que existe una dilución suministrada por alguna infiltración de aguas blancas en una de las tuberías conectadas a la planta de tratamiento.



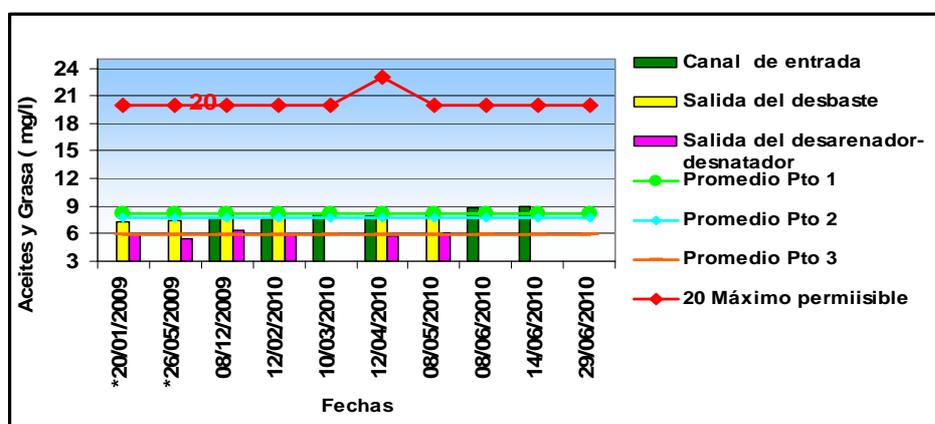
**Figura 4.20 Comportamiento de la demanda química de oxígeno para los diferentes puntos de muestreo**

La planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica cuenta con un sistema para el desnatado de grasas y aceites el cual elimina gran parte de las grasas y aceites que ingresan al sistema de tratamiento. En la figura 4.21 construida con los datos de la tabla 3.11, se puede observar el comportamiento que presenta las concentraciones de este parámetro variando dentro de un rango de 7,56 a 9,00 mg/l en el canal de entrada, 7,33 a 8,13 mg/l a la salida del desbaste y 5,46 a 6,35 mg/l a la salida del desarenador-desnatador, encontrándose dentro del límite establecido por el (decreto 883, 1995) el cual es 20 mg/l.

La desviación en el canal de entrada fue de 0,60 con respecto a un promedio de 8,19 mg/l, para la salida del desbaste una desviación de 0,33 con respecto a un promedio de 7,80 mg/l mientras que para la salida desarenador-desnatador una desviación de 0,29 con respecto a su promedio

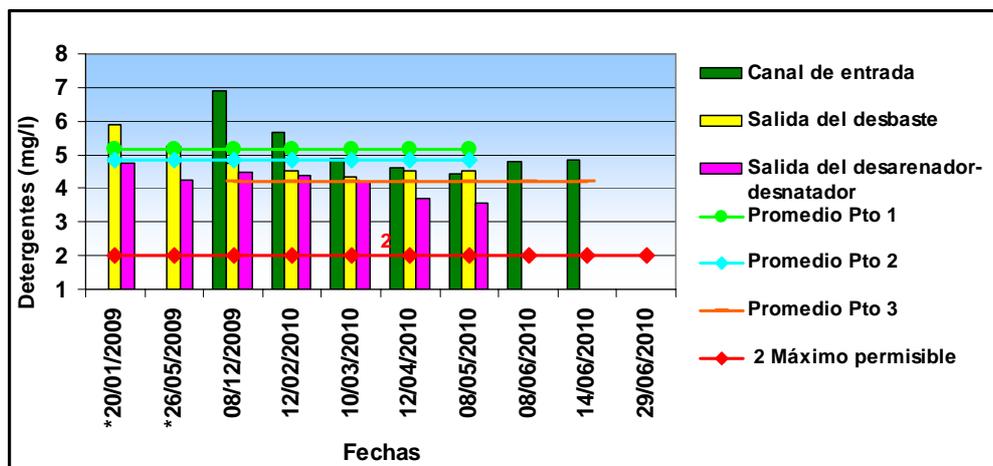
de 5,87 mg/ respectivamente valores que se encuentran reportados en la tabla 4.3.

El efecto de la presencia de aceites y grasas en los sistemas de tratamiento de agua residual se debe a que interfieren entre el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, no permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO<sub>2</sub> del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir acidificación del agua junto con los bajos niveles de oxígeno disuelto, además de interferir en la penetración de la luz solar.



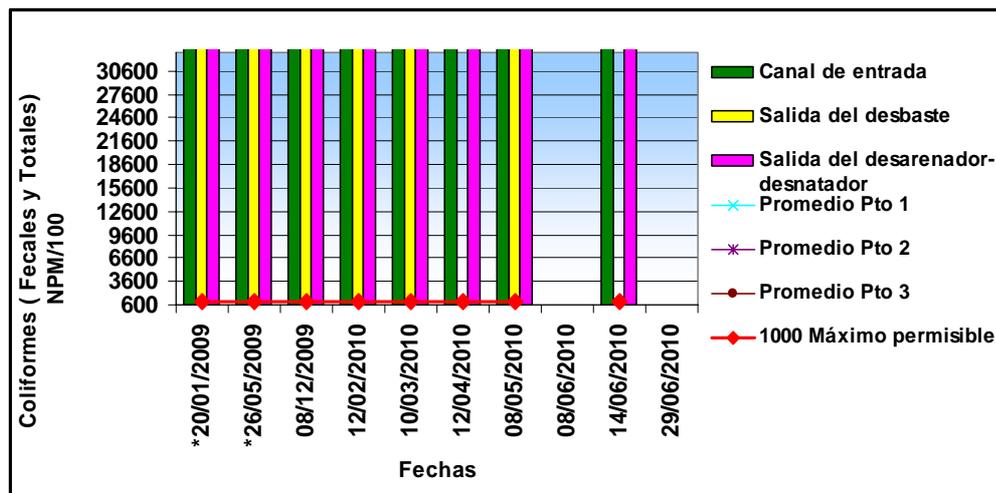
**Figura 4.21 Comportamiento de aceites y grasas para los diferentes puntos de muestreo**

La concentración de detergentes se mantuvo por encima de 2 mg/l que es el límite exigido por el (decreto 883, 1995) como se ilustra en la figura 4.22 realizada con los datos de la tabla 3.7. Durante los meses de muestreo la desviación registrada para el canal de entrada fue de 0,86 con respecto a un promedio de 5,16 mg/l, para la salida del desbaste una desviación de 0,56 con respecto a un promedio de 4,84 mg/l mientras que para la salida desarenador-desnatador una desviación de 0,42 con respecto a su promedio de 4,19 mg/ respectivamente valores que se encuentran reportados en la tabla 4.3.



**Figura 4.22 Comportamiento del detergente para los diferentes puntos de muestreo**

Las variaciones de los coliformes totales y fecales para los diferentes puntos de muestreo seleccionados, se muestran en la figura 4.23 construidas con los datos de las tablas 3.14, se puede apreciar para los diferentes puntos de muestreo un alto valor en el promedio en las concentraciones del número más probable de organismos coliformes:  $300 \cdot 10^6$  NMP/100ml, tanto para los totales como los fecales, valor que se encuentra por el doble de los límite establecido en el (decreto 883, 1995) el cual debe ser menor de 1000 NMP/100ml.



**Figura 4.23 Comportamiento de los coliformes totales y fecales para los diferentes puntos de muestreo**

### 4.3 CONOCIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PLAYA DE CAÑO SALADO

Teniendo en cuenta la importancia ambiental de este cuerpo de agua y con el objeto de conocer su calidad sanitaria se realizaron cuatro muestreos los días (8/12/09, 12/02/10, 10/03/10 y 12/04/10) se determinaron las concentraciones de coliformes (fecales y totales), y además se realizaron mediciones de pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, color, nitrógeno total, sólidos (sedimentables y totales), turbidez y aceites y grasas en la figura 4.24 se observa la toma de muestra a la playa de Caño Salado.

En las tablas 3.16 a 3.19 se muestran los valores obtenidos para estos parámetros, durante el periodo de muestreo. Para realizar el análisis correspondiente se le calculó al conjunto de estos datos, valores promedios y desviación estándar. El resultado de estos análisis se muestra en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4 Valores estadísticos (promedio, desviación estándar) para los parámetros analizados en el muestreo a la playa de Caño Salado**

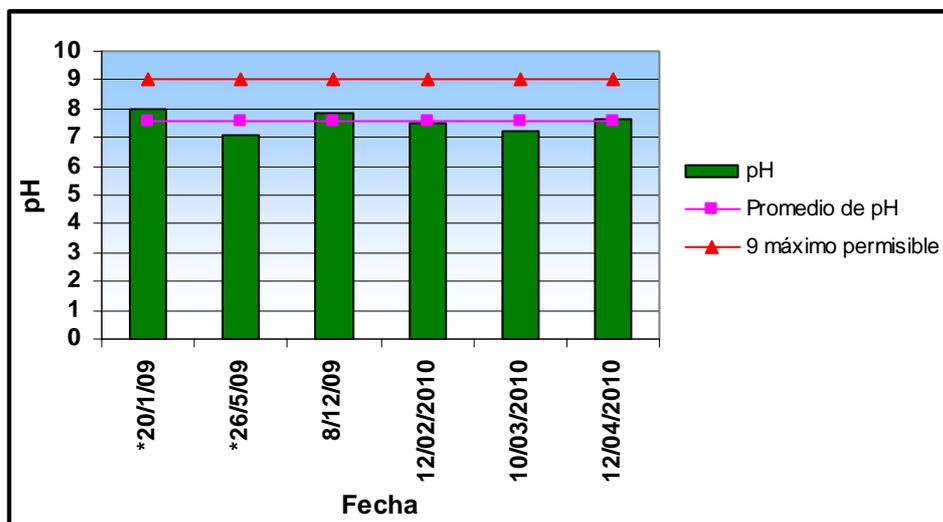
| Parámetros                      | $\bar{X}$ | S        |
|---------------------------------|-----------|----------|
| pH                              | 7,56      | 0,37     |
| CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}.$ ) | 47887,5   | 17914,67 |
| T( $^{\circ}\text{C}$ )         | 29,16     | 5,18     |
| OD(mg/l)                        | 4,02      | 20,12    |
| Turbidez (UNT)                  | 30,1      | 16,70    |
| SSD(mg/l)                       | 0,02      | 0,01     |
| SDT(mg/l)                       | 24244,86  | 17338,07 |
| Coliformes fecales(NPM/100ml)   | 44000     | 51123,38 |
| Coliformes totales (NPM/100ml)  | 44000     | 51123,38 |
| Color (Pt-Co)                   | 21,28     | 1,704    |
| Nitrógeno total (mg/l)          | 5,66      | 1,38     |
| Grasa y aceites (mg/l)          | 14,68     | 8,06     |



**Figura 4.24 Toma de muestras en la playa de Caño Salado**

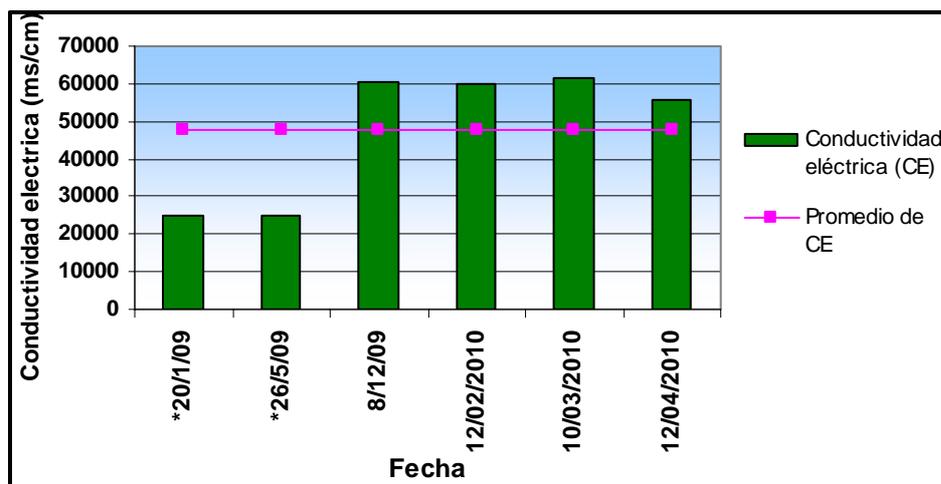
En la figura 4.25 construida con los datos de la tabla 3.17 se muestra el comportamiento del pH en la playa de Caño Salado, su rango oscila entre 7,08 – 8,02 unidades de pH, con una desviación de 0,37 con respecto a su promedio de 7,56 para los diferentes meses de muestreo, se puede decir que el comportamiento de esta variable es aceptable puesto que se encuentra dentro de los valores establecidos por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA) y asentado en el (decreto 883, 1995) para este tipo de

agua salada el pH oceánico es ligeramente alcalino , los cuales deben estar dentro de un rango de 6 a 9 unidades de pH.



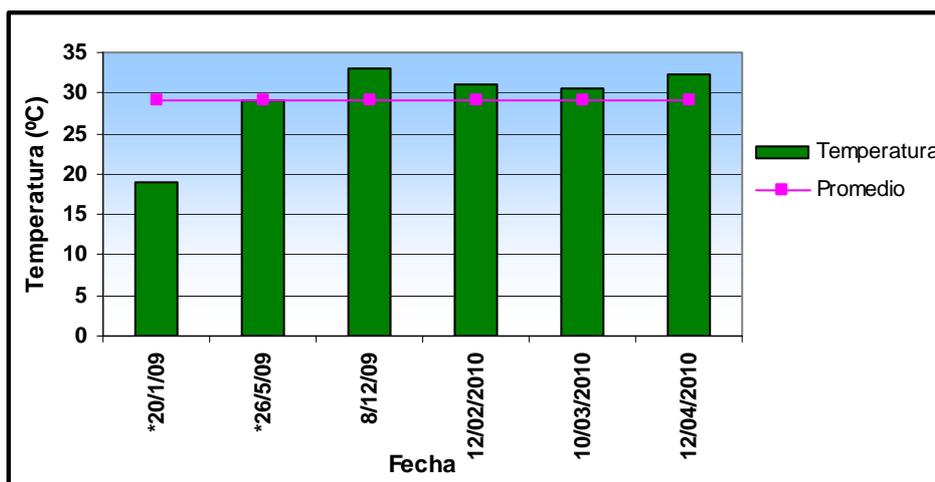
**Figura 4.25 Comportamiento del pH para la playa de Caño Salado**

En la figura 4.26 construida con los datos de la tabla 3.17, se aprecian los valores de conductividad eléctrica registrados en la playa durante los meses de muestreo, observándose un intervalo de variación de 24880 a 61500  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , durante los meses de diciembre, febrero, marzo y abril se registraron los valores más altos de conductividad esto se atribuye a la alta polaridad del agua salada y la abundancia de iones disueltos, este parámetro va en función de la salinidad. La desviación fue de 17914,6 con respecto a al promedio de 47887,5  $\mu\text{s}/\text{cm}$  según el análisis estadístico reportado en la tabla 4.4.



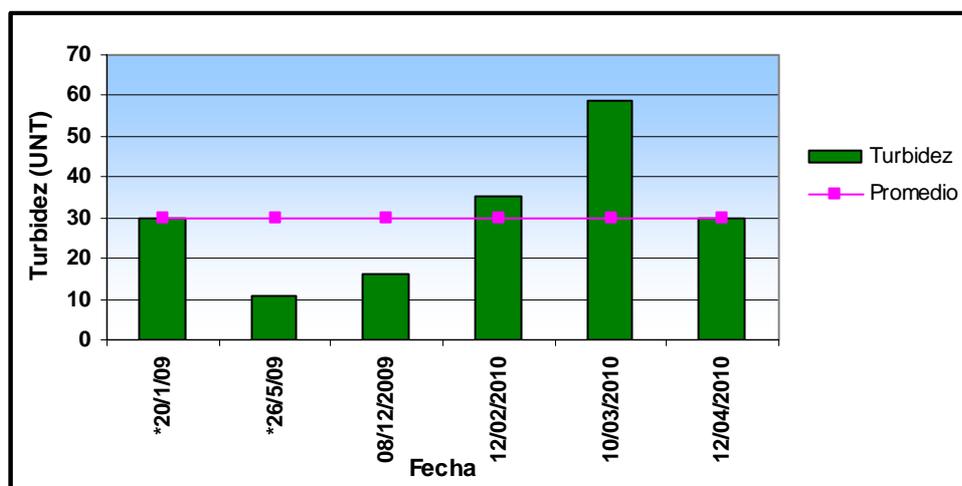
**Figura 4.26 Comportamiento de la conductividad eléctrica para la playa de Caño Salado**

En la figura 4.27 construida con los datos de la tabla 3.17 se aprecia el comportamiento de la temperatura para los diferentes meses de muestreo en la playa de Caño Salado, se observa una fluctuación de la temperatura entre los 19 °C y los 32,33 °C, por otro lado se puede apreciar que la más alta temperatura se registró el día 10/03/2010, lo cual probablemente se deba a la ola de calor que hubo durante ese mes. El análisis estadístico realizado según la tabla 4.4 muestra una desviación de 5,18 con respecto a su promedio de temperatura de 29,16 °C.



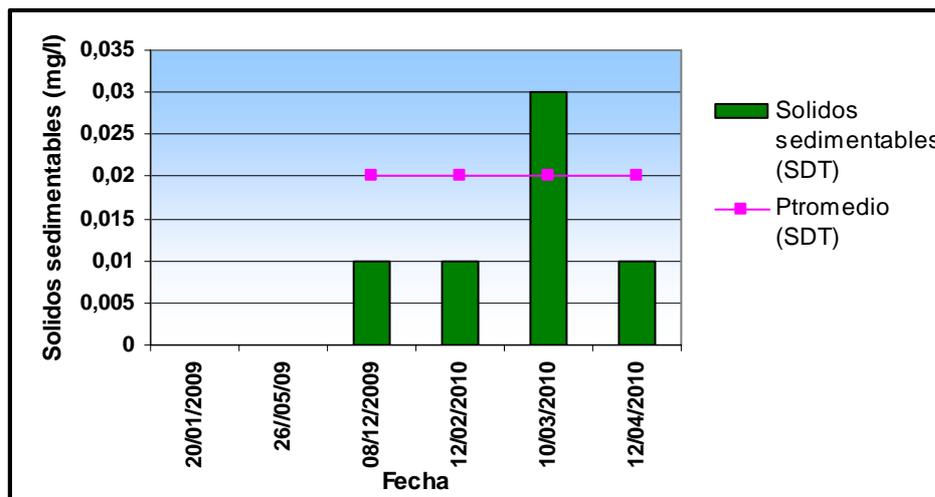
**Figura 4.27 Comportamiento de la temperatura para la playa de Caño Salado**

En la figura 4.28 realizada con los datos de la tabla 3.18 se muestra el comportamiento de turbidez donde se observan variaciones amplias durante los meses de muestreo, para el mes de marzo se observa el valor de concentración más elevado siendo de 58,5 UNT. Según el correspondiente análisis estadístico reportado en la tabla 4.4 se obtuvo una desviación de 16,70 con respecto a su promedio de concentración de turbidez de 30,1 UNT.



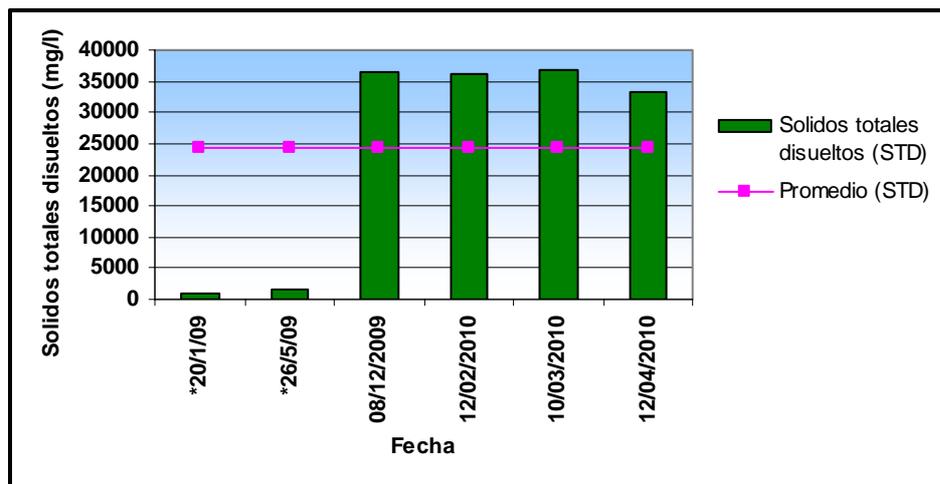
**Figura 4.28 Comportamiento de la turbidez para la playa de Caño Salado**

El comportamiento de los sólidos sedimentables para los diferentes meses de muestreo se muestra en la figura 4.29 construida con los datos de la tabla 3.18, se obtuvo una desviación de 0,01 con respecto al promedio de 0,02 mg/l respectivamente valores que se encuentran reportados en la tabla 4.4. El mayor valor se presentó para el día 10 de marzo del 2010, el cual fue de 0,03 mg/l y para los demás días se observa una variación constante.



**Figura 4.29 Comportamiento de los sólidos sedimentables para la playa de Caño Salado**

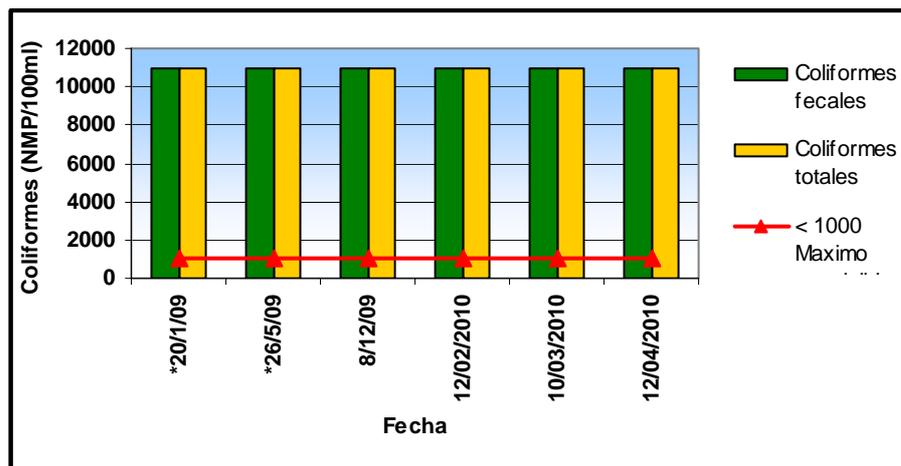
En la figura 4.30 construida con los valores de la tabla 3.18, se muestra el comportamiento de la concentración de sólidos totales disueltos presentes en la playa, se puede apreciar una variación que oscila entre 181,98 a 39800 mg/l, además los mínimos valores de concentración se registraron el día 20/01/09 y 26/05/09 y para la demás fechas se observa un comportamiento similar, esta variación pudo haber sido probablemente a errores al momento de realizar la medición o al captar la muestra el decreto 883 1995 limita este parámetro <33% y también se atribuye a que este parámetro con el grado de mineralización, ya que son iones de sales minerales en condición natural. El análisis estadístico realizado según la tabla 4.4 muestra una desviación de 17338,07 con respecto a al promedio de concentración de sólidos totales disueltos de 24244,86 mg/l.



**Figura 4.30 Comportamiento de los sólidos disueltos totales para la playa de Caño Salado**

En la figura 4.31 construida con los datos de la tabla 3.19 se muestra el comportamiento de la concentración de coliformes fecales y totales en la playa de Caño Salado, observándose que no hubo variación en dichas concentraciones, se mantuvieron en un valor constante de 11000 NMP/100 ml de coliformes tanto fecales como totales respectivamente, valor que como se observa en la figura se encuentra muy por encima del límite establecido por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPAMB) el cual es 1000 NMP/100 ml y asentado en (decreto 883, 1995) cuyo valor lleva a calificar a la playa de Caño Salado como no apta para el contacto humano total (aguas tipo 4<sup>a</sup>). Cabe destacar que a esta playa descargan otros drenajes procedentes de los alrededores del sector de Caño Salado.

Estos resultados obtenidos son atribuibles a que estas aguas residuales no posee ningún tipo de tratamiento de desinfección para la remoción de los coliformes, antes de ser vertidas al mar afectando de manera directa y rápida todo tipo de vida biológica y acuática que se encuentre dentro de este cuerpo receptor.



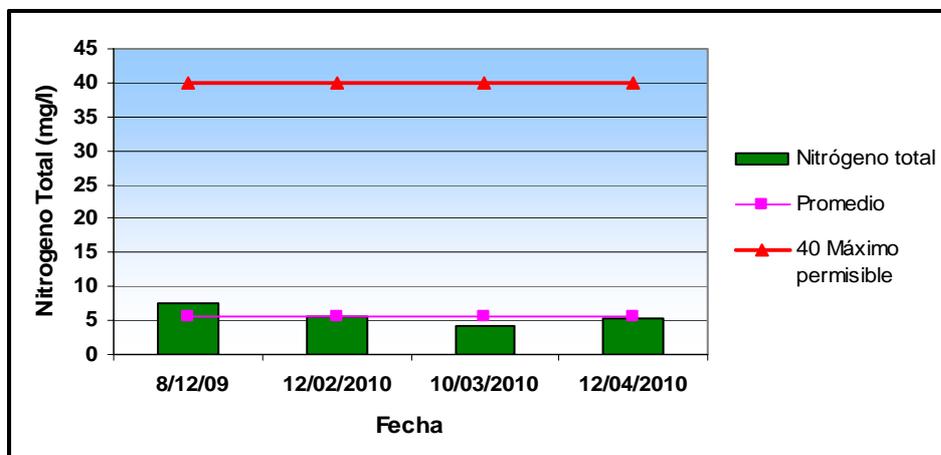
**Figura 4.31 Comportamiento de los coliformes totales y fecales para la playa de Caño Salado**



**Figura 4.32 Prueba de coliformes totales y fecales realizadas a la playa de Caño Salado**

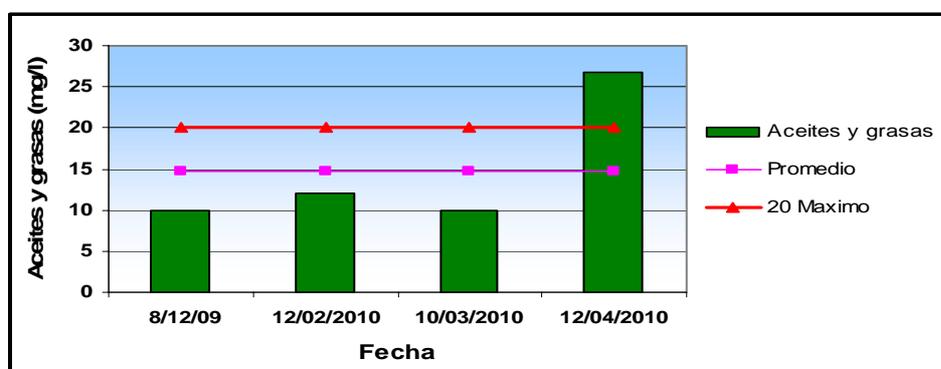
En la figura 4.33 construida de los datos de la tabla 3.20 se muestra el comportamiento de la concentración de nitrógeno total en la playa de caño salado, observándose que hubo variación dentro de un rango de (4,23 a 7,53) el promedio una desviación 1,38 con respecto al promedio de su concentración el cual fue de 5,66 mg/l, datos que se encuentran reportados en la tabla 4.3 respectivamente valor como se aprecia en la figura se encuentra por debajo de 40mg/l que es el limite establecido dentro del

(decreto 883, 1995), lo cual es favorable ya que no se incrementa la eutrofización dentro de este cuerpo de agua.



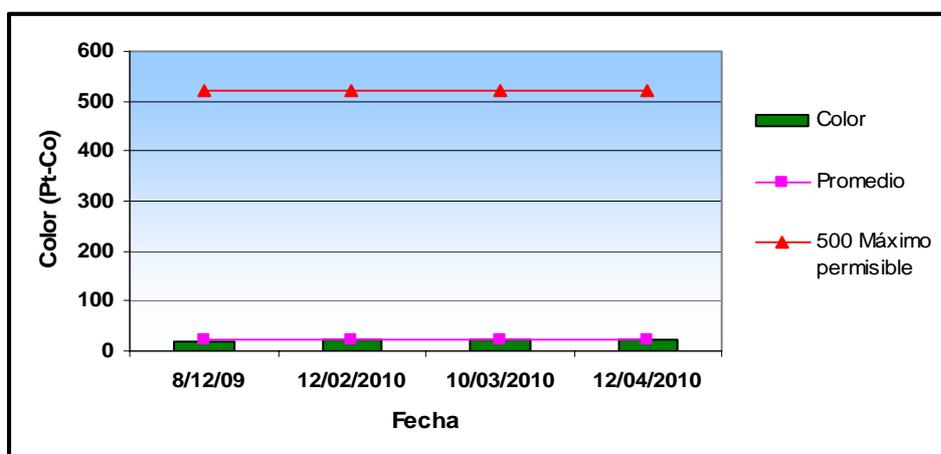
**Figura 4.33 Comportamiento del nitrógeno total en la playa de Caño Salado**

En la figura 4.34 construida con los valores reportados en la tabla 3.20 se muestran los valores de la concentración de aceites y grasas para los diferentes días de muestreo en la playa de Caño Salado. Se obtuvo una desviación de 8,06 con respecto al promedio de la concentración de grasas y aceites el cual fue de 14,68 mg/l, datos que se encuentran reportados en la tabla 4.4. Para el día 12/04/2010 se observa el mayor nivel para este parámetro y para los demás días de muestreo estuvo dentro de un rango (10 a 26,65) mg/l mostrando valores menores que 20 mg/l, que es la norma exigida en el (decreto 883, 1995) para aguas recreacionales (tipo 4<sup>a</sup>).



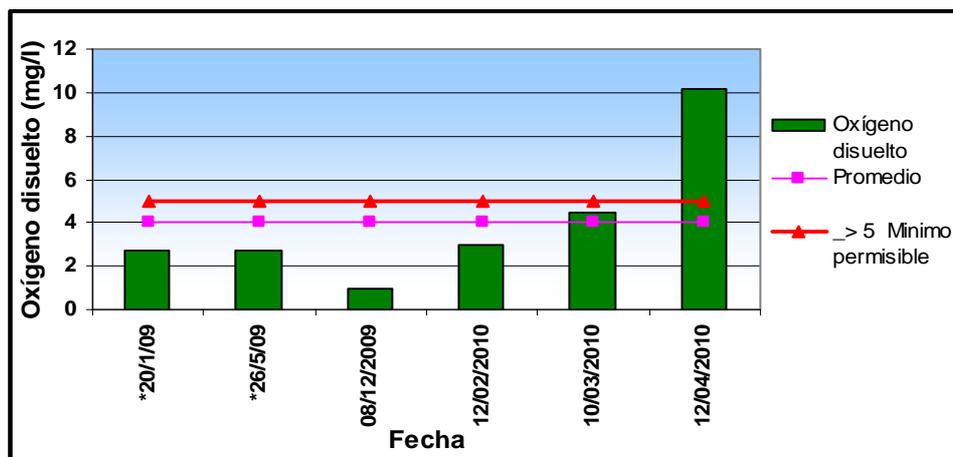
**Figura 4.34 Comportamiento de la concentración de aceites y grasas en la playa de Caño Salado**

En la figura 4.35 construida de los datos de tabla 3.19 se muestra el comportamiento de la concentración de color en la playa de Caño Salado, observándose que hubo variación en dichas concentraciones, la desviación obtenida fue de 1,704 con respecto al promedio de la contracción de color de 21,28 (Pt-Co), datos que se encuentran tabulados en la tabla 4.4 respectivamente, al momento de tomar las muestras estas aguas presentaban un color gris, lo cual indica que su nivel de contaminación de la vida acuática es elevada.



**Figura 4.35 Comportamiento de la concentración de color en la playa de Caño Salado**

En la figura 4.36 construida con los valores reportados en la tabla 3.20 se muestran los valores de la concentración de oxígeno disuelto para los diferentes días de muestreo en la playa de Caño Salado, donde se obtuvo una desviación de 20,12 con respecto al promedio que fue de 4,02 mg/l, datos que se encuentran reportados en la tabla 4.4. El 90% de las muestras mostraron valores menores que 5 mg/l, que es el límite establecido en el (decreto 883, 1995) para aguas recreacionales (tipo 4<sup>a</sup>), lo cual se debe posiblemente a la descomposición de la materia orgánica y/o al aporte de materia orgánica por escorrentías o excretas.



**Figura 4.36 Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en la playa de Caño Salado**

#### **4.4 PROPUESTA DE MEJORAS AL EFLUENTE DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR**

En la sección 3.5 expuesta anteriormente de este trabajo de investigación se han detallado las técnicas que se utilizan para la desinfección del agua residual doméstica en casi todo el mundo. En la tabla 4.5 de esta sección se sintetizan las características, ventajas y desventajas de cada una de ellas, así como también los costos de capital. La información así organizada facilitará el proceso de selección de la tecnología más adecuada de acuerdo con la realidad local; proceso que deben enfrentar los ingenieros, los funcionarios del gobierno, y las empresas de agua, a la necesidad de seleccionar una de ellas para desinfectar el agua residual doméstica que descarga en la planta de tratamiento (EPA, 1999).

**Tabla 4.5 Síntesis de las características de los diferentes tratamiento de desinfección (EPA, 1999)**

| <b>OZONO</b>        |  |
|---------------------|--|
| Método              | A aire seco u oxígeno  |
| Aplicabilidad       | Una gama amplia aunque por sus características intrínsecas (especialidad, costo, requerimientos de operación, etc) es más popular en los medianos y grandes sistemas   |
| Forma de acción     | Oxidación de la materia orgánica   |
| Equipos             | Básicamente de dos clases: alimentados a aire seco o a oxígeno. Los de menor porte se venden en paquete (armados dentro de un esqueleto fijo o container, que se traslada en camiones, barcos o trenes)  |
| Complejidad         | Alta   |
| Ventajas            | Excelente desinfectante. En ocasiones mejora la calidad organoléptica del agua tratada   |
| Desventajas         | Sistema complejo para muchas comunidades de países en desarrollo, aún para aquellas de gran porte. Requiere personal capacitado para operación y control. Hay formación de SPD, aunque no tan importantes como los del cloro. No hay residual. Requiere segura provisión de electricidad |
| Disponibilidad      | Muy baja. Los equipos se deben adquirir en países desarrollados  |
| Mantenimiento       | Alto y cuidado   |
| Controles           | La mayoría de los equipos se venden con sus sistemas de control. Pero hay que estar atentos a los avisos de alarma de los mismos   |
| Costos de capital   | Altos  |
| <b>RADIACIÓN UV</b> |  |
| Método              | Lámpara dentro o fuera del agua  |
| Aplicabilidad       | Toda la gama de poblaciones desde muy pequeñas a muy grandes   |
| Forma de acción     | Destrucción del ADN de los microorganismos   |
| Equipos             | Variada gama con tubos dentro del agua o fuera de ella   |
| Complejidad         | El equipo básico en sí (la lámpara UV) es de escasa o nula complejidad. Sin embargo los equipos auxiliares que deben acompañar a aquella le confieren un variado rango de  |

|                |   |
|----------------|---|
|                | complejidad dependiendo del grado de seguridad buscado  |
| Ventajas       | Simple. No requiere del uso de ninguna sustancia química. Corto tiempo de exposición. No hay cambios organolépticos en el agua.   |
| Desventajas    | Para asegurar la dosis adecuada hay que contar con varios equipos de control. No hay forma de medir la eficacia de la desinfección en forma simple y rápida. Requiere electricidad. No hay residual |
| Disponibilidad | Hay que depender de proveedores externos en las zonas alejadas.   |
| Mantenimiento  | Simple pero cuidado. Hay que asegurar la limpieza de los encamisados cuando los tubos están sumergidos  |
| Controles      | Solo se deben "controlar los controles" del proceso (los equipos que monitorean la emisión de la radiación, la vida de las lámparas, etc)   |
| Costos         | Bajo en sistemas simples y sin demasiada protección. Elevado en los muy protegidos. Intermedio en aquellos con solo lo imprescindible para una buena operación                                      |

| CLORO           |   |
|-----------------|---|
| Método          | Gas   |
| Aplicabilidad   | Muy amplia. Medianas y grandes poblaciones (5.000 a 10.000 habitantes en más)   |
| Forma de acción | Oxidación de la materia orgánica  |
| Equipos         | Dosificadores montados en cilindros y tanques, trabajando bajo presión o al vacío.<br>Requieren bombas para recircular agua y otros equipos auxiliares. Deben existir recintos especialmente adecuados y equipos de protección personal |
| Complejidad     | Intermedia  |
| Ventajas        | Simpleza. Es el método más popular en el mundo. En casi todos los países se produce cloro gas. Económico. Hay residual en el agua tratada y es fácilmente medible   |
| Desventajas     | En algunas comunidades alejadas hay que asegurarse la provisión del gas. Requiere personal con cierto grado de capacitación. Puede producir cambios en gusto y sabor.<br>Produce SPD  |

|                   |   |
|-------------------|---|
| Disponibilidad    | Intermedio. Hay que recurrir a las grandes ciudades para equipos y repuestos            |
| Mantenimiento     | Intermedio. El personal debe estar capacitado   |
| Controles         | Muy frecuentes o casi constantes. Idealmente deben haber sistemas de alarma automáticos |
| Costos de capital | Intermedio  |

| <b>COLORO</b>     |  |
|-------------------|--|
| Método            | Líquido  |
| Aplicabilidad     | Pequeñas comunidades y hasta algunas intermedias   |
| Forma de acción   | Oxidación de la materia orgánica   |
| Equipos           | Una gran variedad de artilugios muy simples. Algunos de ellos, provenientes de la tecnología apropiada son excelentes y muy populares. Es la tecnología más difundida en zonas rurales de los países en desarrollo   |
| Complejidad       | Muy baja   |
| Ventajas          | Simpleza. Junto con el uso del gas, es el método más popular de desinfección por cloración. En casi todos los países se producen hipocloritos. Los dosificadores pueden producirse localmente.<br>Económico. Hay residual en el agua tratada y es fácilmente medible |
| Desventajas       | Aunque es más popular que el cloro gas, en algunas comunidades alejadas hay que asegurarse la provisión del hipoclorito.   |
| Disponibilidad    | Alta a intermedia  |
| Mantenimiento     | Aunque muy simple, requiere mantenimiento y supervisión  |
| Controles         | Aunque rápidos y simples deben ser frecuentes  |
| Costos de capital | Mínimo. Algunos dosificadores son de costo prácticamente nulo  |

#### **4.5 REALIZACIÓN DE UN ESTIMADO DE COSTO DE LAS PROPUESTAS SELECCIONADAS**

En base a la capacidad de la planta, a los costos de los sistemas de desinfección propuestos y a las características del agua residual tratada,

dentro de la que destaca, las altas concentraciones de coliformes fecales y totales lo cual se puede apreciar en la tabla 4.6 donde se presenta comparaciones de los diferentes sistemas de desinfección y aplicabilidad.

**Tabla 4.6 Cuadro comparativo de los distintos desinfectantes y su aplicabilidad**

|   | Ozono (O <sub>3</sub> ) | Radiación UV | Cloro     |
|---|-------------------------|--------------|-----------|
| <u>Efectividad</u>                              |                         |              |           |
| • Bacterias                                     | A                       | A            | A         |
| • Virus   | A                       | A            | A         |
| • Protozoos                                     | I                       | B            | B         |
| • Helmintos                                     | A                       | B            | B         |
| <u>Influencia del agua cruda en relación a:</u> |                         |              |           |
| • pH  | A                       | B            | B         |
| • Turbiedad                                     | I                       | A            | A         |
| • Materia orgánica                              | B                       | B            | B         |
| Rango de uso de caudales                        | B-I-A                   | B-I          | B - I - A |
| Costo de capital de equipos                     | I-A                     | B-I          | B         |
| Costo de operación                              | A                       | B-I          | B         |
| Mantiene residual de protección                 | NO                      | SI           | NO        |
| Capacidad del operador                          | A                       | B-I          | B-I       |
| Requerimientos de productos químicos            | NO                      | NO           | SI        |
| Requerimientos de energía                       | A                       | I            | B         |

A= alto

I= intermedio

B=bajo

Del análisis de la tabla 4.6 se puede decir que la alternativa más adecuada para la desinfección del agua de la planta de tratamiento de Maurica, es el la opción 3 desinfección con cloro porque tiene una alta efectividad en la eliminación de bacterias, virus, protozoos y helmintos,

además se puede usar a todos los rangos de caudales, bajo requerimiento de energía y bajos costos lo cual se puede ratificar con el análisis realizados en la sección 3.6 que en comparación con las demás tecnologías como lo son la radiación UV y el ozono es la que esta más establecida en el mercado, entre otras de las consideraciones La inversión general para la instalación del tratamiento de desinfección con gas cloro resultó **21546.56 Bs.** la cual se puede apreciar en la tabla 4.7 de costo total para cada una de las opciones.

**Tabla 4.7 Costo total para cada una de las opciones**

| Opciones                      | Costo total    |
|-------------------------------|----------------|
| Desinfección con ozono        | 539.769.628,00 |
| Desinfección con radiación UV | 95782,95       |
| Desinfección con :            |                |
| Cloro gas                     | 21.546,56      |
| Cloro líquido                 | 96756,8        |

#### 4.6 CONCLUSIONES

- 1) La planta se encuentra operando a un 12% de su caudal de diseño (1050 l/s) con un caudal promedio anual para el año 2009 hasta mayo 2010 de 45,79 l/s y un caudal promedio diario 51,46 l/s (4446,29 m<sup>3</sup>/d).
- 2) El estudio realizado a las muestras de agua proveniente del canal de entrada, salida del desbaste y salida del desarenador- desnatador indican que los parámetros de detergentes y organismos coliformes se encuentran fuera de los rangos y límites máximos permisibles de calidad de vertidos líquidos señalados en la normativa ambiental vigente.
- 3) Se observa una reducción en la demanda química de oxígeno en el canal de entrada, a la salida del desbaste y a la salida del desarenador-desnatador

durante el período de muestreo (diciembre 2009 a junio 2010) encontrándose los valores para estos días dentro del límite establecido en el decreto 883 artículo 12 para la descarga del medio marino costero.

4) El estudio realizado a las muestras de agua proveniente del canal de entrada, salida del desbaste y salida del desarenador- desnatador indica que el oxígeno disuelto se encuentra muy por debajo del límite mínimo el cual debe ser menor a 5 mg/l establecido en el decreto 883.

5) Los valores de aceites y grasas, nitrógeno total, turbidez, pH y color encontrados en la salida del tratamiento preliminar se encuentran dentro de los límites permisibles en el decreto 883.

6) La demanda de cloro realizada a las aguas residuales de la planta de tratamiento de Maurica fue de 37,9 mg/l.

7) Los parámetros pH, SDT, nitrógeno total, aceites y grasas y color en los análisis de las muestras captadas en la playa de Caño Salado se encuentran dentro del decreto 883.

8) En la playa de Caño Salado se observa un valor promedio de oxígeno disuelto de 4,02mg/l en cual es bajo, encontrándose por debajo del límite establecido en el decreto 883, esto quizás sea por influencia de la descarga de la planta.

9) En los muestreos realizados en la playa de Caño Salado se tiene un alto valor del número mas probable de organismos coliformes: 11,000 NMP/100 ml, tanto para totales como para los fecales, valor que supera los límites establecidos de <100 y <200 NMP/100ml para coliformes totales y fecales respectivamente en el decreto 883. lo cual convierte a la playa en no apta para el contacto humano total.

10) Las opciones propuestas para mejorar la calidad del efluente del tratamiento preliminar son: desinfección con ozono, desinfección con radiación uv y desinfección con cloro.

11) En base a la capacidad de la planta, a los costos de los sistemas de desinfección propuestos y a las características del agua residual tratada para la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica se sugiere la implementación de la propuesta de desinfección con cloro gas que contribuirá con el saneamiento de la playa de Caño Salado .

12) La cantidad de cloro requerido para lograr una desinfección adecuada para el efluente de la planta de tratamiento es de 395,60 g/d requerido en el caudal promedio de operación de la planta el cual es de 3.956.004 l/d (45,79 l/s).

13) La estimación general de costo para el tratamiento de desinfección con gas cloro fue **21546.56 Bs.**, resultando ser la más económica en comparación con las otras propuestas.

#### 4.7 RECOMENDACIONES

- 1) Realizar un estudio urgente de las diferentes estaciones y subestaciones de bombeo que descargan en esta planta de tratamiento, debido a que esta se encuentra operando a un caudal muy por debajo del caudal de diseño.
- 2) Se recomienda instalar un dispositivo para la medición de caudal a la entrada de la planta e inspeccionar el que actualmente se encuentra situado a la salida del tratamiento preeliminar.
- 3) Se recomienda a la mayor brevedad posible culminar con la segunda etapa de la planta de tratamiento, para así lograr disminuir los parámetros que se encuentran excediendo los límites establecidos en el decreto 883.
- 4) Se recomienda poner en operación los dos sopladores con la finalidad de incrementar la oxigenación de estas aguas.
- 5) Estudiar la posibilidad de colocar un laboratorio dentro de la planta, para la realización periódica de las pruebas fisicoquímicas y bacteriológicas.
- 6) Realizar campañas de concientización a la comunidad aledaña de la playa de Caño Saldo para contribuir a un saneamiento constante para este cuerpo de agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- Advance Laboratorios, 2010 C.A *Cotización de equipos*.  
<http://www.grupoAdvance.com>
- Aguirre, A. (2003). *Mejoras en el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales domestica compacta*. Tesis de grado no publicada, Universidad de Oriente. Barcelona
- AWWA-WEF-APHA, (1998) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 2540-F. 20th, USA.
- Castillo, D.(2002). *Evaluación de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas servidas del Sector este Punta Baja (Cumaná), con miras a su reutilización*. Tesis de grado no publicada Universidad de Oriente, Barcelona.
- Crites, R y Tchobanoglous, (2000). G. *Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Colombia: Editorial McGraw-Hill
- Ciencias de la tierra y del medio ambiente, (2000) *Contaminación del agua y depuración de los vertidos líquidos, España (2000)*, Tema11: Disponible <http://www.ceit.es/signaturas/ecologia/hipertexto/oogeneral>
- Cermeño, J. (2000). *Diseños de experimentos estadísticos*. Fondo editorial UDO Anzoátegui, Barcelona, Venezuela.
- Desinfección con luz ultravioleta (2008, octubre) Disponible: [http://www.gaisa-mspas.gob.sv/vagua/luz\\_ULTRVIOLETA.pdf](http://www.gaisa-mspas.gob.sv/vagua/luz_ULTRVIOLETA.pdf)

Dirección General de Equipamiento Ambiental. (2004). *Actualización de las obras estratégicas de agua servidas para las ciudades de Barcelona y Lechería*.

Dirección de Protección Civil del estado Anzoátegui. (2010). Disponible:  
<http://www.noticiasdeaquí.com.ve>

Desinfección del efluente. (2009, enero) Disponible:  
<http://www.ceit.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/pdf>

Decreto 883. Norma: *Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. Gaceta Oficial de la república de Venezuela N° 5021. Caracas (1995).

Desinfección con luz ultravioleta (2009, octubre) Disponible:  
[http://www.gaisa-mspas.gob.sv/vagua/luz\\_ULTRVIOLETA.pdf](http://www.gaisa-mspas.gob.sv/vagua/luz_ULTRVIOLETA.pdf)

Environmental Protección Agency (EPA) (1999, Septiembre). *Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales*. Disponible:  
<http://www.epa.gov/owm/mtd/cs-99-63pdf>.

Environmental Protección Agency (EPA). (1999, Septiembre) Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales. Disponible:  
<http://www.epa.gov/owm/mtd/cs-99-064pdf>.

Environmental Protección Agency (EPA). (1999, Septiembre) Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales. Disponible:  
<http://www.epa.gov/owm/mtd/cs-99-62pdf>.

Fotos de tratamientos para aguas residuales. (2009, enero.) Disponible:  
<http://aguasresiduales-b-417.blogspot.com/>.

Google. (2010, febrero.) *Ubicación de la planta de tratamiento*. Disponible:  
<http://maps.google.es/>.

González, R y Mitchell G. (2003). *Evaluación técnica del proceso de tratamiento en las lagunas de pulimentos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guanta*. Tesis de grado no publicada. Universidad de Oriente. Barcelona

González, A- (2002). *Evaluación diagnóstica de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Olivos Puerto Ordaz, estado Bolívar*. Tesis de grado no publicada Universidad de Oriente. Barcelona

Glynn, J. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Editorial Pearson,

Hidrocaribe. (2010, febrero). *Reseña histórica*. Disponible: <http://www.hidrocaribe.gob.ve>.

HALCROW. (1995). *Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de aguas servidas de Maurica, Barcelona*. Inglaterra

Inojosa, J. (2004). *Determinación de la calidad fisicoquímica de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales Dos Cerritos, Estado Nueva Esparta*. Tesis de grado no publicada .Universidad de Oriente. Barcelona

Marschall y Swift. (2010). *Indicadores Economicos. Revista Americana Chemical Engineering*. Disponible: [http://www.che.com/business\\_and\\_economics/economic\\_indicators.html](http://www.che.com/business_and_economics/economic_indicators.html)

Manual de procesos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA).2007

Miranda, J. (1999). *Tratamiento analítico de las aguas servidas*. Chile:disponible en: <http://www.cec.uchile.cl>

McGhee, J (1999). *Abastecimiento de agua y alcantarillado Ingeniería ambiental*. Sexta edición. Editorial Mc Graw-Hil

Montgomery, D y Ronger, G. (1996). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. México: Editorial McGraw-Hill

Metcalf, L y Eddy, H. (1996). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Volumen I. México: Editorial McGraw-Hill.

Proceso de lodos activados. (2010, enero) Disponible:  
<http://www.reocities.com/jdelosri/lodoact.JPG&imgrefur>

Proceso de sedimentación para aguas residuales. (2008, marzo) Disponible:  
<http://www.pantarewater.com>

Proceso de filtración para aguas residuales. (2008, marzo) Disponible:  
[http://www.nyfdecolombia.com/inicio\\_files/lecho-secado](http://www.nyfdecolombia.com/inicio_files/lecho-secado)

Peters, M. y Timmerhaus, K. (1981). *Diseño de plantas y economía para ingenieros químicos*. España: Editorial McGraw – Hill. Primera edición en español

Rodríguez, A, León, P, Rosal, R, Dorado, M, Villar, S y Sanz, J. (2009, diciembre) *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Disponible: [www.madrimasd.org/.../VT2.pdf](http://www.madrimasd.org/.../VT2.pdf)

Rodríguez, H. (2006). *Evaluación del desarenador N 2, en la planta de tratamiento de aguas servidas el Maguey, Puerto la Cruz, Estado Anzoátegui*. Tesis de grado no publicada. Universidad de Oriente, Barcelona

Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. España: Editorial Reverte, E.

Rivas, G. (1978) *.Tratamiento de aguas residuales*. España. Ediciones Vega.

Silis,E,Momforte,J, Coda, F, Pujol, R y Carreras, S .(2008, enero).  
*Eliminación del nitrógeno amoniacal en aguas residuales sanitarias.*  
Disponibile: [http://www. tecnicaindustrial.es](http://www.tecnicaindustrial.es)

Salazar, Z y Somoza D. (2007). *Evaluación del sistema de bombeo de aguas servidas de las principales estaciones de bombeo, en la conurbación de Barcelona, Puerto la Cruz y Lechería.* Tesis de grado no publicado. Universidad de Oriente, Barcelona

Sánchez, J y Sánchez G. (2003). *Evaluación técnica del proceso de tratamiento anaerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guanta.* Tesis de grado no publicada. Universidad de Oriente, Barcelona.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>TÍTULO</b>    | <b>EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE BARCELONA, UBICADO EN EL SECTOR MAURICA</b> |
| <b>SUBTÍTULO</b> |  |

**AUTOR (ES):**

| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>            | <b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>                        |
|---------------------------------------|---|
| <b>Nathaly Alejandra Rivas Mongua</b> | <b>CVLAC:<br/>EMAIL: nathalyrivas19@hotmail.com</b> |
| <b>María Teresa Tome Rodríguez</b>    | <b>CVLAC:<br/>E MAIL:</b>                           |
|                                       | <b>CVLAC:<br/>E MAIL:</b>                           |
|                                       | <b>CVLAC:<br/>E MAIL:</b>                           |

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Evaluación, Tratamiento, Aguas Residuales

---



---

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

| ÁREA                            | SUBÁREA            |
|---------------------------------|--------------------|
| Ingeniería y Ciencias Aplicadas | Ingeniería Química |
|                                 |                    |
|                                 |                    |
|                                 |                    |
|                                 |                    |
|                                 |                    |
|                                 |                    |
|                                 |                    |
|                                 |                    |

**RESUMEN (ABSTRACT):**

La evaluación del tratamiento preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales de Maurica contempló la medición del caudal del efluente a la salida del tratamiento, la determinación de la calidad del agua en el canal de entrada, salida del desbaste, salida del desarenador- desnatador y en la playa de Caño Salado mediante los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, efectuándose propuestas que contribuyan al mejoramiento del funcionamiento de la planta y al saneamiento de la playa de Caño Salado; así como también se realizó una estimación de costos de las propuestas seleccionadas. La medición del caudal a la salida del tratamiento se realizó mediante un dispositivo dispuesto en la planta, obteniendo durante todo el período de medición un caudal máximo medido de 125 l/s, lo cual indicó que la planta se encuentra operando a un 12% de su caudal máximo de diseño de 1050 l/s y un caudal promedio anual correspondiente a los años 2009 hasta el mes de mayo 2010 de 45,79 l/s. Los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados en los diferentes puntos de muestreos generaron los siguientes parámetros fuera de los límites establecidos en el decreto 883: coliformes (fecales y totales) > 16.000 NMP/100ml, detergentes 4,19 mg/l y oxígeno disuelto 0,27 mg/l a la salida del tratamiento preliminar. Para la playa de Caño Salado los parámetros que no cumplieron con los límites establecidos en el decreto 883 fueron: oxígeno disuelto 4,02 mg/l y los coliformes > 11.000 NMP/100ml tanto fecales como totales. En base a los estudios realizados se sugiere la implementación del tratamiento de desinfección con cloro gas, el cual resultó ser el más económico y viable para este tipo de agua con un costo total de 21.546,56 Bs, aplicando una dosis de cloro requerida de 395,60 g/d que es lo requerido por el caudal promedio de la planta.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

| APELLIDOS Y NOMBRES          | ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL |                   |      |    |      |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------|------|----|------|
| <b>Millán Silva, Maritza</b> | ROL                         | CA                | AS-X | TU | JU   |
|                              | CVLAC:                      | <b>12.288.427</b> |      |    |      |
|                              | E_MAIL                      |                   |      |    |      |
|                              | E_MAIL                      |                   |      |    |      |
| <b>Amundaraín, Milena</b>    | ROL                         | CA                | AS   | TU | JU-X |
|                              | CVLAC:                      | <b>3.413.775</b>  |      |    |      |
|                              | E_MAIL                      |                   |      |    |      |
|                              | E_MAIL                      |                   |      |    |      |
| <b>Salas, Yraima</b>         | ROL                         | CA                | AS   | TU | JU-X |
|                              | CVLAC:                      | <b>14.409.676</b> |      |    |      |
|                              | E_MAIL                      |                   |      |    |      |
|                              | E_MAIL                      |                   |      |    |      |
|                              | ROL                         | CA                | AS   | TU | JU   |
|                              | CVLAC:                      |                   |      |    |      |
|                              | E_MAIL                      |                   |      |    |      |
|                              | E_MAIL                      |                   |      |    |      |

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

|      |     |     |
|------|-----|-----|
| 2010 | 11  | 08  |
| AÑO  | MES | DÍA |

**LENGUAJE: SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****ARCHIVO (S):**

| <b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>  | <b>TIPO MIME</b>   |
|---------------------------|--------------------|
| Tesis.AguasResiduales.doc | Application/msword |
|                           |                    |
|                           |                    |

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H I J  
 K L M N O P Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y  
 z . 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .

ALCANCE

ESPACIAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

TEMPORAL: 3 meses ( OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

**Ingeniero Químico**

---

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

**Pre-Grado**

---

ÁREA DE ESTUDIO:

**Departamento de Química**

---

INSTITUCIÓN:

**Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui.**

---

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado:

---

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la

---

Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines

---

con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá

---

participarlo previamente al Consejo Universitario, para su Autorización”.

---

---

**AUTOR 1****Nathaly A. Rivas M.**

---

**AUTOR 2****María T. Tome R.**

---

**AUTOR**

---

**TUTOR****Maritza Millán Silva**

---

**JURADO 1****Milena Amundaraín**

---

**JURADO 2****Yraima Salas**

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**

---