

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



**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES CON LAGUNAS DE
OXIDACIÓN ARICAGUA, MUNICIPIO ANTOLÍN DEL CAMPO, ESTADO
NUEVA ESPARTA.**

Realizado por:

Gil García Cristina María

Tarache Pericana José Luis

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito
Parcial para optar por el título de:

INGENIERO CIVIL

Puerto La Cruz, Abril del 2010

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



**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES CON LAGUNAS DE
OXIDACIÓN ARICAGUA, MUNICIPIO ANTOLÍN DEL CAMPO, ESTADO
NUEVA ESPARTA.**

Prof. Oly Guerra, M. Sc

Asesor Académico

Puerto La Cruz, Abril del 2010

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



**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES CON LAGUNAS DE
OXIDACIÓN ARICAGUA, MUNICIPIO ANTOLÍN DEL CAMPO, ESTADO
NUEVA ESPARTA.**

JURADOS

El jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:

Prof. Oly Guerra

Prof. Ana Ghanem
Jurado Principal

Prof. Francelia Araujo
Jurado Principal

Puerto La Cruz, Abril del 2010

RESOLUCIÓN

ARTICULO 41:
LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE
EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD
Y SOLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS
FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL
CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, EL CUAL
LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO
UNIVERSITARIO

RESUMEN

En el año 1998 inicio su funcionamiento la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con Lagunas de Oxidación Aricagua, ubicada en el Municipio Antolín del Campo del Estado Nueva Esparta. Esta planta dispone de una capacidad máxima de 60 l/s., el tiempo de retención actual se estima en 32 días y sirve a una población de 20.325 habitantes, las aguas producidas por esta población son netamente residenciales y comerciales, debido a que este municipio esta dedicado al turismo, la pesca y la agricultura. En la actualidad, el agua residual tratada no ha emana la calidad esperada, lo que ha surgido la necesidad de realizar este trabajo; hacer una evaluación con la finalidad de determinar su funcionamiento. Para ello se realizó un muestreo que comprendió un lapso de un (1) año, desde 25-09-08 hasta 24-09-09 donde se analizaron los caudales de entrada y de salida, la calidad física-química y bacteriológica como lo es: pH, DBO, SST, ST, SDT, Coliformes Totales y Fecales, Conductividad, Salinidad, Cloruros; tomando como marco comparativo los parámetros de diseño y de la Normas para la Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Aguas y Vertidos o Efluentes líquidos, publicada en la Gaceta Oficial n° 5021. La información recabada muestra un efluente del sistema de tratamiento con un déficit en los valores de los parámetros fisico-químicos y bacteriológicos, un deterioro en la planta física y equipos (planta eléctrica, sistema de bombeo, sistema de aireación y de cloración), dando como resultado un agua no apta para su empleo, es decir, en el riego de cultivos y ornamentos. El valor de la DBO arrojado por el laboratorio en el efluente entre 68 y 21 mg/l, el valor del pH esta entre 7.74 y 8.40 mg/l, el valor de SST esta entre 97 y 122 mg/l, el valor de los coliformes totales y fecales fueron de $2,36 \times 10^8$ y $6,23 \times 10^7$ respectivamente lo que significa que el agua tratada contiene los valores muy por encima de lo establecido para su uso, según lo establecido por la normativa legal ambiental vigente. Todos los estudios de

laboratorio e in situ, fueron facilitados por el CRIA (Centro Regional de Investigación ambiental), ubicado en la Universidad de Oriente, Núcleo Nueva Esparta; este centro es el ente encargado de realizar los estudios de esta planta, pero dentro de sus análisis, no se encuentran las pruebas de nitrógeno, fósforos y metales pesados, que son parámetros muy importantes para las aguas tipo II, sub-tipo 2B. Esto nos hace establecer propuestas para atender las condiciones actuales (2009) y futuras (2025) del sistema de tratamiento, como: cambiar los equipos de suministro de aires, realizar una remoción de lodos y buscar una solución adecuada al sistema, para un mejor funcionamiento y obtener un agua tratada reutilizable.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso y a la Virgen nuestro agradecimiento por concedernos toda la sabiduría, paciencia y fortaleza necesaria para no desmayar en el intento, vencer las vicisitudes y poder alcanzar esta meta.

A nuestros padres, por su preocupación, apoyo, aliento y consecución.

A la profesora Oly Guerra por toda la información facilitada, su ayuda, orientación, cariño y amistad.

A la ingeniero Lourdes Ávila que labora en Hidrocaríbe por darnos primeramente el tema de nuestra tesis, por toda su confianza, apoyo y paciencia en la realización del trabajo de grado

Al personal del CRIA por darnos su apoyo y colaboración para los estudios en el laboratorio.

Al personal que labora en UESA por toda su colaboración en facilitarnos información de la planta de tratamiento.

A todos aquellos que aunque no estén aquí presentes, siempre le estaremos agradecidos porque nos dieron su apoyo, amistad y cariño.

Gil G., Cristina M
Tarache P., José Luis

DEDICATORIA

Ante todo a Dios Padre y a nuestra Dulce Madre La Virgen Del Valle, fuentes infinitas de bendición, sosiego, alimento espiritual y fortaleza, para alcanzar los logros del día a día.

A mi padre y mi madre los seres más maravillosos de este mundo, a él por todas sus enseñanzas sus regaños, comprensión y sabiduría y a ella por estar siempre conmigo en las horas mas duras y en los momentos mas difíciles, consejera y gran amiga consentidora, ella manantial de amor inmenso..... Los amo con todo mi corazón.

A mis viejitos quienes partieron para siempre quedarse, sus ejemplos de respeto y constancia estarán siempre presentes.....Los extraño.

Al regalito más grande y bello que la vida me ha dado mi hijo adorado Ángel Adolfo Del Jesús que con su sonrisa linda me dice que hay que luchar y seguir adelante..... Eres mi ANGEL de luz.

A mi fiel compañero de la vida y gran amor Vidal Díaz "mi pachonchito", por todo su amor paciencia y comprensión..... Te amo mucho.

A mi niña linda Mishelle y mi princesita Dalíangel, mis hijas bellas que son fuentes de alegría y energía.....Las quiero muchísimo.

A mis tíos por su preocupación, cariño, amistad, comprensión y compañía.

A mis hermanas, Daceyry, Mary y Criselys con quienes siempre comparto vivencias, consejos y aventuras..... Las quiero hermanas.

A mi compañero de tesis José Luis por su amistad y por todos los conocimientos compartidos.

A todos mis amigos que forman parte de mi vida, por su amistad y cariño en todos los momentos compartidos.

A mí misma, porque este logro me convence aún más de que puedo lograr todas las cosas que me propongo.

A todos muchas gracias, un beso y un gran abrazo. Este logro también es suyo

Gil G., Cristina M.

DEDICATORIA

Primero que todo dedico este proyecto a Dios todopoderoso por impartir en mi vida la fuerza, el alimento espiritual y fortaleza, para seguir adelante y no desmayar en los momentos difíciles para así alcanzar las metas trazadas .

A mi padre miguel y mi madre migdalia, por ser las personas que en todo momento me prestaron su apoyo en todo los sentidos, en las horas más duras y en los momentos mas difíciles, que si no los tuviera a mi lado, no hubiera logrado muchas de las metas que he alcanzado en mi vida.

A mis hermanos José Miguel, José Vicente y migvida, por impregnarme siempre de buenos consejos y de palabras de motivación para seguir adelante.

Al regalo más grande y más bello que me ha dado la vida, mi princesita Joscar Gabriela, que ha sido la personita que me ha llenado mi vida de alegría y entusiasmo para no decaer y siempre seguir adelante, para así brindarle siempre lo mejor. Hija eres la luz de mis ojos, te amo muchísimo

A mi fiel compañera de la vida y gran amor mi esposa bella Yaneris, por todo tu apoyo en los momentos en que te he necesitado, y por todo tu amor, paciencia y comprensión..... Te amo mucho.

A mi niña linda Astrid Victoria, por llenarme de alegría en el poco momento que has estado a mi lado.

A mi compañera de tesis cristina por su amistad y por darme la oportunidad de realizar este trabajo con ella.

A todos mis tías, primos y primas, por haberse preocupado y apoyado en los momentos duros de la vida.

A todos mis amigos que aunque que forman parte de mi vida por su amistad y cariño y todos los momentos compartidos.

A mi mismo, porque este logro me hace comprender que si se puede.

Tarache P., José L.

INDICE GENERAL

RESOLUCIÓN.....	IV
RESUMEN.....	V
INDICE GENERAL	X
INDICE DE TABLAS.....	XV
INDICE DE FIGURAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN	18
1.1 Estado Nueva Esparta	18
1.1.1 Municipio Antolín del Campo	19
1.1.1.1 Ubicación relativa del municipio Antolin del Campo	19
1.1.2 Planta de tratamiento de aguas residuales “Aricagua”.....	19
1.2 Beneficios.....	22
1.3 Planteamiento del problema.....	23
1.4 Objetivos... ..	25
1.4.1 Objetivo General	25
1.4.2 Objetivos Específicos.....	25
MARCO TEORICO	27
2.1 Antecedentes	27
2.2 Fundamentos Teóricos	29
2.2.1 Aguas Negras.....	29
2.2.2 Características de las aguas residuales.....	31
2.2.2.1 Características Físicas.....	31
2.2.2.1.1 Color.....	31
2.2.2.1.2 Turbiedad.....	32
2.2.2.1.3 Sólidos Totales.....	32
2.2.2.2 Características Químicas.....	36
2.2.2.2.1 Nitrógeno.....	36

2.2.2.2.2 Fósforo.....	37
2.2.2.2.3 Alcalinidad.....	38
2.2.2.2.4 Cloruros.....	38
2.2.2.2.5 Sulfatos.....	39
2.2.2.3 Características Bacteriológicas.....	40
2.2.2.3.1 Coliformes Totales.....	40
2.2.2.3.2 Salmonellas.....	40
2.2.3 Principales parámetros de las aguas residuales.....	42
2.2.3.1 Temperatura.....	43
2.2.3.2 pH.....	44
2.2.3.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	45
2.2.3.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	45
2.2.3.5 Nitrógeno total Kjeldahl (NTK).....	46
2.2.4 Análisis más frecuentes para aguas residuales.....	47
2.2.4.1 Determinación de Sólidos Totales. Método No. 2540 - D.....	47
2.2.4.2 Determinación de la DQO. (Método del dicromato potásico).....	48
2.2.4.3 Determinación de la DBO. (método por dilución).....	51
2.2.5 Análisis periódicos de muestras.....	55
2.2.5.1 Muestreo.....	55
2.2.5.2 Muestras Simples.....	57
2.2.5.3 Muestras Compuestas.....	57
2.2.6 Análisis Estadístico.....	57
2.2.6.1 Media Aritmética.....	58
2.2.6.2 Media Geométrica.....	59
2.2.6.3 Varianza.....	59
2.2.6.4 Desviación Estándar.....	60
2.2.6.5 Distribución Normal.....	60
2.2.6.6 Intervalos de Confianza para las medias.....	61
2.2.7 Caudales de las aguas residuales.....	62

2.2.7.1 Origen y caudales de las aguas residuales domésticas.....	62
2.2.7.2 Aguas residuales de origen industrial.....	63
2.2.7.3 Infiltración y aportaciones incontroladas.....	63
2.2.8 Medidores de caudal.....	64
2.2.9 Análisis de los datos de caudales de aguas residuales.....	66
2.2.9.1 Caudal medio diario.....	66
2.2.9.2 Caudal máximo diario.....	67
2.2.9.3 Caudal mínimo diario.....	67
2.2.9.4 Caudal máximo promedio semanal.....	68
2.2.9.5 Caudal mínimo promedio semanal.....	68
2.2.10 Tratamiento de aguas residuales.....	68
2.2.10.1 Clasificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales.....	69
2.2.10.1.1 Procesos Físicos.....	69
2.2.10.1.2 Procesos Químicos.....	69
2.2.10.1.3 Procesos Biológicos.....	69
2.2.10.2 Aplicación de los procesos de tratamiento de aguas residuales.....	70
2.2.10.2.1 Pre-tratamiento.....	70
2.2.10.2.1.1 Desbaste.....	70
2.2.10.2.1.2 Desarenado.....	70
2.2.10.2.1.3 Desengrasado.....	71
2.2.10.2.2 Tratamiento primario.....	71
2.2.10.2.3 Tratamiento secundario.....	72
2.2.10.2.4 Tratamiento Avanzado.....	73
2.2.10.3 Procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales.....	73
2.2.10.3.1 Lagunas de Oxidación.....	73
2.2.10.3.1.1 Ventajas y desventajas de Lagunas de Oxidación.....	75
2.2.10.3.1.2 Clases de lagunas.....	76
2.2.10.3.1.2.1 Lagunas aeróbicas.....	76
2.2.10.3.1.2.2 Lagunas anaeróbicas.....	76

2.2.10.3.1.2.3	Lagunas facultativas.....	77
2.2.10.3.1.2.4	Lagunas aireadas con mezcla parcial.....	77
2.2.10.3.1.2.5	Lagunas de maduración.....	77
2.2.10.3.2	Procesos de estabilización.....	78
2.2.10.3.2.1	Factores que influyen en las reacciones biológicas de las lagunas de estabilización.....	80
2.2.10.3.2.2	Criterios de diseño de las lagunas de estabilización.....	83
2.2.10.3.3	Transformación de los constituyentes de las aguas residuales.....	84
2.2.10.3.3.1	Remoción de la DBO.....	84
2.2.10.3.3.2	Remoción de sólidos suspendidos totales.....	84
2.2.10.3.3.3	Remoción de nitrógeno.....	84
2.2.10.3.3.4	Remoción de fósforo.....	84
2.2.10.3.3.5	Remoción de organismos patógenos.....	84
2.2.11	Periodo de diseño.....	85
2.2.12	Predicción de la población.....	86
2.2.12.1	Crecimiento Lineal:.....	86
2.2.12.2	Crecimiento geométrico.....	88
2.2.12.3	Crecimiento logarítmico.....	89
2.2.13	Eficiencia del sistema.....	90
MATERIALES Y METODOS	91
3.1	Descripción general de la planta.....	91
3.1.1	Parámetros de diseño de la planta.....	94
3.2	Situación actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Aricagua.....	96
3.3	Desarrollo del trabajo.....	103
3.3.1	Revisión bibliográfica y recopilación de información del funcionamiento de la planta.....	103
3.3.2	Caracterización de las corrientes de entrada y de salida del sistema de tratamiento.....	104
3.3.3	Estimación de la población futura.....	105

3.3.3.1 Cálculo de la población actual por medio de censos.....	106
3.3.3.1.1 Método lineal.	106
3.3.3.1.2 Método geométrico.	107
3.3.3.1.3 Método logarítmico.	107
3.3.3.2 Cálculo de la población actual por medio de aforos.	109
3.3.3.3 Cálculo de la población futura.	111
3.3.3.3.1 Método lineal.	112
3.3.3.3.2 Método geométrico.	112
3.3.3.3.3 Método logarítmico.	113
3.3.4 Determinación de la eficiencia de tratamiento de la planta.	114
3.3.5 Revisión del proyecto original de construcción de la planta de tratamiento.	115
3.3.6 Investigación las tecnologías existentes en el mercado, para mejorar la eficiencia de la Planta de Tratamiento Aricagua.....	116
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	117
4.1 Resultados.	117
4.1.1 Caracterización de las corrientes de entrada y de salida del sistema de tratamiento.	117
4.1.2 Estimación de los caudales de aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento.	124
4.1.3 Eficiencia del sistema.....	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	130
5.1 Conclusiones.	130
5.2 Recomendaciones.....	133
BIBLIOGRAFIA CITADA.....	135
ANEXOS	138
GLOSARIO.....	197
METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO	201

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición típica de un agua residual domestica sin tratar	30
Tabla 2.2 Definiciones para sólidos encontrados en agua residual.	35
Tabla 2.3 Composición usual de agua residual domestica cruda.	54
Tabla 2.4 Valores de confianza.	61
Tabla 2.5 formulas para la curva de calibración para la determinación de caudales	65
Tabla 2.6 Características de las lagunas de estabilización.	83
Tabla 3.1 Parámetros de diseño.	94
Tabla 3.2 Estado actual de la planta de aricagua.....	102
Tabla 3.3 Datos de Censos Poblacionales.....	105
Tabla 3.4. Volumen de agua diario de entrada y salida de la planta.	109

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1	Mapa de municipio del estado Nueva esparta	19
Fig. 1.2	Mapa del municipio del Campo Antolin	19
Figura 1.3	Proceso de la Planta de Tratamiento Aricagua	20
Figura1.4	Vista aerea de la Planta de Tratamiento Aricagua	21
Figura1.5	Vista aerea de la Planta de Tratamiento Aricagua	22
Figura 2.1	Interrelación de los valores de las fracciones de sólidos encontrados en aguas residuales.....	34
Figura 2.2	Vista de un medidor Parshall	65
Figura 2.3	componentes de un ecosistema en una laguna de estabilización.	78
Figura 3.1	Diagrama de la planta de tratamiento de Aricagua.	93
Figura 3.2	diagrama de la planta de tratamiento Aricagua Terminada.....	95
Figura 3.4 a. y b.	Aireadores apagados por falta de electricidad.	97
Figura 3.5) a. y b.	Tanquilla de entrada.....	97
Figura 3.6) a. y b.	Tanquilla de salida.	98
Figura 3.7) a., b., c., y d.	Laguna de aireación desbordada.....	99
Figura 3.8) a., b., c., d. e.	Sólidos en la laguna de oxidación.	100
Figura 3.9) a. y b.	Sólidos en el tanque de desinfección.....	101
Figura 3.10) a. y b.	Entrada de la planta.	101
Fig. 4.1	Comparación del valor de pH (afluente) con los valores de la norma..	118
Fig. 4.2	Comparación del valor de pH (Efluente) con los valores de la norma .	119
Fig. 4.3	Comparación oxígeno disuelto con el valor establecido por la norma .	119
Fig. 4.4	Comparación de la DBO con el valor establecido por la norma	120
Fig. 4.5	Comparación SST con el valor establecido por la norma.....	121
Fig. 4.6	Comparación SDT con el valor establecido por la norma.	122
Fig. 4.7	Comparación cloruros con el valor establecido por la norma.....	123
Fig. 4.8	Población teórica y de diseño del año 2005	125

Fig. 4.9 Población servida y estimada del año 2009	126
Fig. 4.10 Población teórica y estimada del año 2015.....	126
Fig. 4.11 Caudal de diseño y estimado del año 2005	127
Fig. 4.12 Caudal real y estimado del año 2009	127
Fig. 4.13 Caudal de diseño y estimado del año 2015	128
Fig. 4.14 Eficiencia del sistema	129

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Estado Nueva Esparta

El Estado Nueva Esparta fue descubierto el 15 de agosto de 1498 durante el tercer viaje de Cristóbal Colón. Es la mayor de las islas del Caribe Venezolano, se encuentra localizado, entre las coordenadas **10°44**, **11°10`** de latitud Norte y **63°46`**, **64°13`** de longitud Oeste.

Ocupa una superficie de 1.071 km² y está caracterizado por la presencia de dos macizos montañosos unidos entre sí por un istmo de relieve muy bajo, una albufera (La Restinga) y una simple línea de playa. El macizo occidental se conoce con el nombre de Península de Macanao y el oriental como Paraguachoa (nombre que le daban a los indígenas a la isla), aunque es frecuentemente denominado Margarita Oriental.

En ella se encuentra la capital del estado, La Asunción y otras importantes ciudades como Porlamar, Pampatar, San Juan Bautista y Juan Griego.

La población de Margarita es de más de 400.000 hab., aunque esto tiende a fluctuar en los períodos vacacionales o de temporadas navideñas y festivas cuando,

según datos de 2007 del Noticiero Regional Telecaribe, llegaron unos 200.000 visitantes, en su mayoría de la zona central y del occidente del país.

1.1.1 Municipio Antolín del Campo

El **Municipio Antolín del Campo** se encuentra en el estado insular Venezolano de Nueva Esparta, ubicado en la Isla de Margarita, recibió este nombre en honor, al héroe Francisco Antolín del Campo, cuya capital es la localidad de La Plaza de Paraguachí tiene un población de 20.325 habitantes según el censo de 2001 [15], y sus principales actividades económicas son el Turismo, la pesca y la agricultura. Su superficie es de 69.71 km².

El municipio se creó el 3 de enero de 1988, en gaceta oficial salió como municipio autónomo según la división mostrada en esa gaceta y en 1990, comienza sus funciones.

1.1.1.1 Ubicación relativa del municipio Antolin del Campo



Fig. 1.1 Mapa de municipio del estado
Nueva esparta

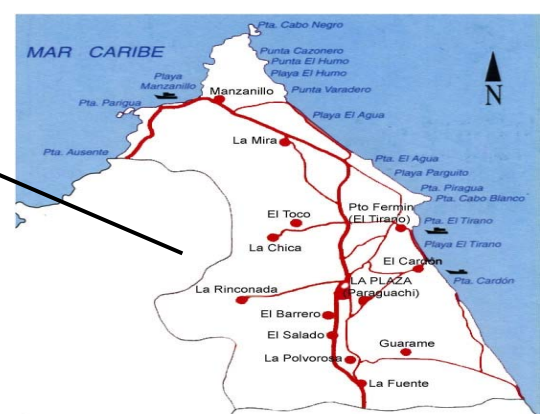


Fig. 1.2 Mapa del municipio
del Campo Antolin

1.1.2 Planta de tratamiento de aguas residuales “Aricagua”

El sistema de Tratamiento de Agua Residuales Aricagua se encuentra ubicado en el Municipio Antolín Del Campo, Estado Nueva Esparta, el cual inicio su funcionamiento en el año 1998; recibe actualmente las aguas servidas de la zona Noreste de la Isla de Margarita, de las comunidades de Aricagua, Manzanillo, el Tirano, El Agua y Parguito, entre otras. Las aguas son recolectadas y enviadas a las estaciones de bombeo Miragua ubicada en Playa El Agua y Parguito ubicada en playa Parguito, desde donde son enviadas por tuberías de impulsión independientes a la planta de Aricagua para su posterior tratamiento. Esta planta dispone de una capacidad máxima de 60 l/s., el tiempo de retención actual se estima en 32 días y sirve a una población de 20.325 habitantes. La disposición final de estas aguas una vez que cumplen con el recorrido del tratamiento son enviadas al cerro “El Coco” para ser usadas en el riego de plantaciones y así ayudar al grave problema del suministro de agua que sufren en la zona.

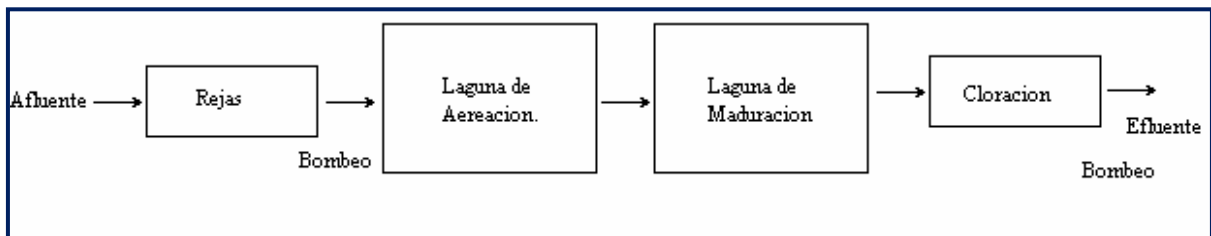


Figura 1.3 Proceso de la Planta de Tratamiento Aricagua

La planta de tratamiento de aguas residuales de Aricagua, consta de una laguna totalmente aireada y una laguna de maduración para el tratamiento secundario de las aguas, y de un sistema de desinfección con hipoclorito de calcio como tratamiento terciario. El tratamiento preliminar se realiza en las estaciones de bombeo Miragua y Parguito, lo cual consta de unas rejillas para evitar el paso de sólidos por las bombas.



Figura1.4 Vista aerea de la Planta de Tratamiento Aricagua

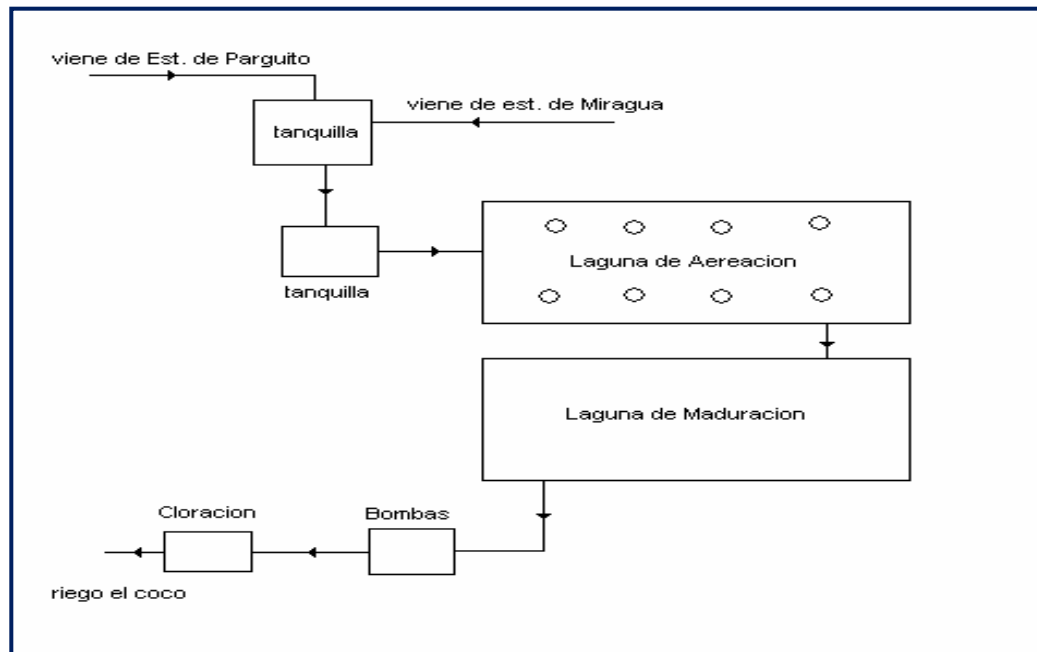


Figura1.5 Vista aerea de la Planta de Tratamiento Aricagua

1.2 Beneficios

Dentro de los beneficios Ambientales, Sanitarios y sociales que trae el buen funcionamiento de la planta de aguas residuales “Aricagua”, tenemos:

- El hecho de la reutilización del agua ya tratada para el riego de plantaciones agrícolas, debido a que el vital líquido en este territorio del país es bastante escaso, esta alternativa le resuelve un problema a los agricultores a la hora de mantener sus cultivos, evitando así, que el poco suministro de agua que existe en la zona sea utilizada para regar las plantaciones.

- Otro beneficio es el que las aguas luego de ser utilizadas no son desechadas arbitrariamente, sino que son tratadas para ser utilizadas en un bien común, evitando así un foco de contaminación en el municipio Antolín del Campo del estado Nueva Esparta
- Beneficia a 20.325 habitantes del municipio Antolín del Campo.
- Representa una alternativa atractiva, para que otros sectores del país que se dedican a la agricultura, adopten este sistema como una opción para el riego de sus plantaciones.

1.3 Planteamiento del problema

El Estado Nueva Esparta no cuenta con un sistema de agua potable eficiente para el consumo humano, por lo que se emplea alternativas para un mejor uso del agua y una de estas alternativas es la utilización de las aguas residuales tratadas para el riego de los ornatos públicos que se encuentran en las avenidas de las distintas Ciudades del Estado y cultivos agrícolas existentes en dicho Estado. En la actualidad existen seis (6) plantas de tratamiento de aguas residuales que operan en el Estado Nueva Esparta, y una de ellas se encuentra en el Municipio Antolín del Campo, la cual lleva por nombre Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aricagua, la cual consta de una laguna de aireación y una laguna de maduración.

En la Isla de Margarita específicamente en el Municipio Antolín del Campo es uno de los Municipios del Estado donde existen sectores campesinos que necesitan de esta alternativa para su sistema de riego. Cuenta con una población aproximadamente de 20.325 habitantes y un área de 69,71 Km²., además posee varias de las playas más

visitadas de la isla lo que hace que su población se incremente considerablemente en temporadas vacacionales.

La Planta de Tratamiento Aricagua, desde su inicio, esta planta ha tenido problemas como el presupuesto limitado para su construcción, el no contar con una evaluación constante de su funcionamiento. Esta Planta se destina a tratar las aguas residuales de dicho Municipio, que luego es reutilizada para uso agrícola de algunos asentamientos del sector como lo son El Coco, Manzanillo, la Estancia y Aricagua, pero debido a frecuentes denuncias de los campesinos, quienes aseguran que están regando sus cultivos con aguas contaminadas. Para los agricultores: “en esta planta el agua no tiene el procesamiento adecuado para ser utilizadas en agricultura y está causando un grave problema sanitario, por eso hicieron un llamado a la Empresa Hidrocaribe para resolver esta grave situación.

Por otra parte, según información suministrada por Hidrocaribe, esta Planta se encuentra hasta el límite de su capacidad, pues las aguas residuales que recibe superan el volumen que es de 26.550.000 L. Se perfilan dos factores fundamentales ante esta problemática. El primero es el aumento desmesurado de la población en la isla de Margarita, y el segundo es que en temporada alta la población aumenta hasta el triple, haciendo que el caudal de entrada de aguas residuales a la planta de tratamiento, aumente. Además de estos se le suma el estado de deterioro en que se encuentra la planta.

Para que ésta agua sea apta y pueda ser reutilizada en el sistema de riego, primero se deberán realizar varios estudios para analizar sus características físicas, químicas y biológicas tales como: pH, DBO, ST, SST, SDT, Cloruro, Salinidad, Conductividad, Temperatura, OD Coliformes Totales y Fecales. Se tendrán que realizar muestreos del caudal de entrada y de salida en época de invierno y verano, así como en temporadas altas y bajas, indicando fecha y hora, para confirmar la

capacidad física de la planta y analizar su funcionamiento; por otra parte, se une el elemento del mantenimiento y renovación de equipos tanto de las plantas de tratamiento como de las estaciones de bombeo, que según campesinos (reporte del diario La Hora), ya tienen equipos obsoletos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar el funcionamiento en la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales con lagunas de oxidación Aricagua, Municipio Antolín Del Campo, Estado Nueva Esparta.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Recopilar la información del funcionamiento de la planta mediante su data histórica.
2. Caracterizar las corrientes de entrada y de salida de la planta de tratamiento mediante factores químicos y biológicos (pH, DQO, DBO₅, SS, ST, entre otros).
3. Calcular la población actual del Municipio Antolín Del Campo, mediante censos y aforos en temporadas alta y baja, para la determinación de la población futura de diseño de la planta, para una posible ampliación del sistema de tratamiento de aguas servidas.
4. Comparar la capacidad de tratamiento real de las lagunas de aeración y maduración, mediante el caudal actual que entra a la planta, para ser comparados con los

resultados de la data histórica, de los factores químicos y biológicos obtenidos en esta investigación.

5. Examinar el proyecto original de la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales Aricagua, verificando así, si se cumplieron a cabalidad los parámetros de diseño de ya nombrada planta.
6. Investigar las tecnologías existentes en el mercado, que mejor se adapten al sistema de lagunas aereadas, para mejorar la eficiencia de la Planta de Tratamiento Aricagua.
7. Proponer las medidas correctivas, para mejorar la eficiencia de la planta.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La historia de los alcantarillados se origina desde los primeros asentamientos humanos. La concentración demográfica fue razón para la construcción de estructuras que facilitaran el drenaje de aguas lluvias. Vemos por ejemplo, cómo en el Imperio Romano, los sistemas de alcantarillados fueron diseñados para drenar exclusivamente aguas pluviales. Habiendo resuelto el problema de evacuación de aguas pluviales, el alto índice de enfermedades a nivel mundial durante el siglo XIX, hizo que el hombre necesite deshacerse de las aguas residuales y residuos sólidos de las ciudades. Este fue el comienzo de la utilización de sistemas de alcantarillados como alternativa de drenaje de aguas y sólidos residuales.

Los sistemas de alcantarillado son una de las grandes obras de arquitectura civil urbanas. Las aguas negras se depositaban en los ríos o en el mar a través de una red de cloacas, galerías subterráneas construidas en forma de bóvedas de medio cañón. Destaca la cloaca Máxima de Roma construida por los etruscos en el s. VI a.C. que recorre una distancia de 800 metros desde el Foro hasta el Tibes.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas

sanitarios y causaban enfermedades. Esto dió como resultado la construcción de instalaciones para el tratamiento de esta agua.

En la actualidad las aguas residuales recogidas en las comunidades deben ser conducidas y sometidas a algún tipo de sistema de tratamiento para mejorar sus condiciones y en última instancia ser vertidas a cuerpos de agua receptores o al mismo terreno.

En Venezuela se necesita crear un buen sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales, y más aún en el estado Nueva Esparta, debido a que en esta región, el suministro de agua potable es limitado, a lo que hay que buscar alternativas de reutilización de aguas residuales ya tratadas para usos de riego de plantaciones y áreas verdes. Se están realizando estudios referentes al tema de tratamiento de aguas residuales, y para el desarrollo de esta investigación implicó la revisión de las siguientes fuentes de documentación o información.

- 1) En mayo del 2003, se realizó un estudio que comprendió una evaluación técnica del proceso de tratamiento anaerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guanta, donde se determinaron los siguientes parámetros de diseño: caudal, tiempo y resistencias en las unidades operativas, Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO), Demanda Química del Oxígeno (DQO), aceites y grasas, acidez, conductividad, Sulfuros, sulfatos, Coliformes Fecales y Totales, son el fin de evaluar la calidad del agua tratada que podía ser utilizada para otros fines [6].
- 2) En Junio el 2004, se realizó un análisis preliminar del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas servidas El Maguey. Este estudio determinó los siguientes parámetros de diseño: el tiempo de retención celular, caudal, índice volumétrico de lodos, Sólidos Suspendidos Totales, Clorofila, Demanda

Bioquímica del Oxígeno (DBO), Demanda Química del Oxígeno (DQO), pH, Coliformes Fecales. Esta evaluación se realizó con la finalidad de determinar la calidad del efluente [7].

- 3) En Mayo del 2007, se realizó una evaluación del sistema de tratamiento de aguas servidas de la población de Aragua de Barcelona, Municipio Aragua, Estado Anzoátegui. En el cual los parámetros de diseño determinados fueron: pH, Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO), Demanda Química del Oxígeno (DQO), Fósforo Total, Nitrógeno Total, Sólidos Suspendedos Totales y Coliformes Totales, con la finalidad de determinar su funcionamiento [8].

2.2 Fundamentos Teóricos

2.2.1 Aguas Negras.

El término agua negra, más comúnmente utilizado en plural, aguas negras, define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

A las aguas negras también se les llama aguas servidas, aguas residuales, aguas fecales, o aguas cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen, y cloacales porque son transportadas mediante cloacas, nombre que se le da habitualmente al colector. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del

uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno. [13].

Todas las aguas naturales contienen cantidades variables de otras sustancias en concentraciones que varían de unos pocos mg/litro. A esto hay que añadir, en las aguas residuales, las impurezas procedentes del proceso productor de desechos, que son los propiamente llamados vertidos. Las aguas residuales pueden estar contaminadas por desechos urbanos o bien proceder de los variados procesos industriales.

Tabla 2.1 Composición típica de un agua residual domestica sin tratar [7]

Constituyentes	Débil	Mediana	Fuerte
	Todos en mg/L excepto sólidos sedimentables		
Alcalinidad (como CaCO ₃)	50	100	200
DBO ₅ como (O ₂)	100	200	300
Cloruros	30	50	100
DQO (como O ₂)	250	500	1000
Sólidos Suspendidos (SS)	100	200	350
Sólidos Sedimentables, ml/L	5	10	20
Sólidos Totales Disueltos (STD)	200	500	1000
Nitrógeno Total (NKT como N)	20	40	80
Carbono Orgánico Total (COT como C)	75	150	300
Fosforo Total (como P)	5	10	20

2.2.2 Características de las aguas residuales.

2.2.2.1 Características Físicas.

Dentro de estas abarcan el aspecto que pueda tener el agua como el color, turbiedad, sólidos suspendidos totales y son desechadas por los hogares, industrias, procesadoras de alimentos, es agua que contiene muy poco oxígeno y que está caracterizada por un color negruzco.

2.2.2.1.1 Color.

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, materia coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se llama *color aparente*, mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero.

El color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual. Si el color es café claro, el agua residual lleva aproximadamente 6 horas después de su descarga. Un color gris claro es característico de aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección. Si el color es gris oscuro o negro, se trata generalmente de aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacteriana bajo condiciones anaeróbicas.[13]

2.2.2.1.2 Turbiedad.

La turbiedad, como una medida de las propiedades de la dispersión de la luz de las aguas, es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas con relación al material residual en suspensión coloidal.

El material coloidal impide la transmisión de la luz, ya que la absorbe o dispersa. La mayor turbiedad esta asociada con partículas de tamaño inferior a 3 μm y especialmente con aquellas partículas de tamaño entre 0.1 y 1.0 μm . En general, no hay una relación definida entre la turbiedad y la concentración de sólidos suspendidos en aguas residuales sin tratamiento. Sin embargo existe una correspondencia entre la turbiedad y los sólidos suspendidos.

Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

2.2.2.1.3 Sólidos Totales.

La materia sólida presente en los líquidos residuales, que mide la concentración y estado físico de los constituyentes del líquido cloacal, es de interés para determinar la presencia de aquellos sólidos que por su naturaleza le comunican propiedades indeseables al agua.

La clasificación de los diferentes tipos de sólidos identificados se encuentran en la tabla 2.2 y la interrelación entre estas fracciones se ilustra en la figura 2.1

Aunque los resultados de la prueba de SST son usados comúnmente como una medida de desempeño de las unidades de tratamiento y con propósitos de control, es

importante anotar que la prueba por si misma no tiene importancia significativa. Las principales razones que indican porque esta prueba carece de bases son las siguientes:

- 1 Los valores medidos de sólidos suspendidos totales (SST) dependen del tipo de filtro usado en la determinación. Mayor cantidad de SST se medirá si el tamaño del poro de filtro usado es menor.
- 2 Dependiendo del tamaño de muestra usada en la determinación de los sólidos suspendidos totales (SST), los sólidos suspendidos que han sido interceptados por el filtro pueden también servir como medio filtrante, como ocurre cuando se utiliza el método de autofiltración. La autofiltración causará un incremento evidente en el valor de la medida de SST con respecto al valor actual.
- 3 SST es un parámetro agrupado, ya que se desconoce el número y distribución del tamaño de partículas que componen el valor de la medida.

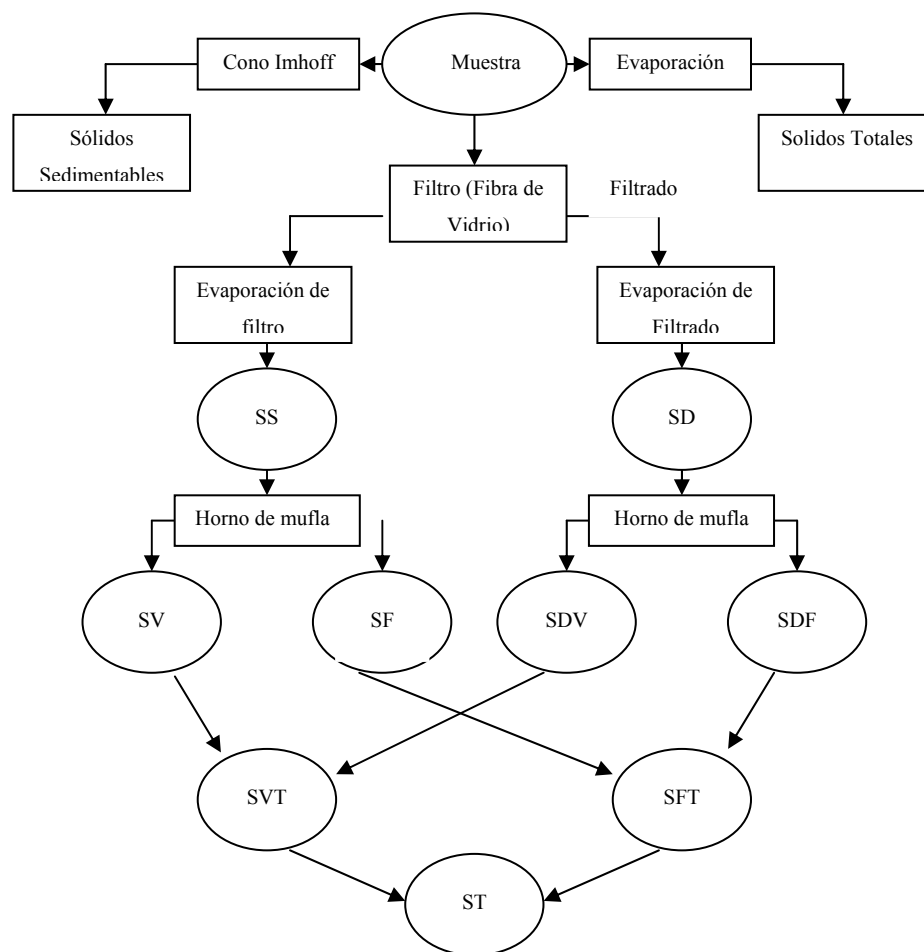


Figura 2.1 Interrelación de los valores de las fracciones de sólidos encontrados en aguas residuales [16]

Tabla 2.2 Definiciones para sólidos encontrados en agua residual. [16]

PRUEBA	DESCRIPCIÓN
Sólidos Totales (ST)	Residuo remanente después que la muestra a sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105 °C)
Sólidos Volátiles Totales (SVT)	Sólidos que pueden ser volatizados e incinerados cuando los sólidos totales son calcinados (500 ± 50 °C)
Sólidos Fijos Totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500 ± 50 °C)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico, medido después que ha sido secado a una temperatura específica. El filtro mas usado para la determinación de SST es el filtro de Whatman de la fibra de vidrio que tiene un tamaño nominal de poros de aproximadamente 1.58 µm.
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	Estos sólidos pueden ser volatizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500 ± 50 °C)
Sólidos Suspendidos Fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST
Sólidos Disueltos Totales (SDT) (ST –SST)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SDT comprende coloides y sólidos disueltos. Los coloides son de tamaño de 0.001 a 1 µm.
Sólidos Disueltos Volátiles (SDV) (SVT – SST)	Sólidos que pueden ser volatizados e incinerados cuando los SDT son calcinados.
Sólidos Disueltos Fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcinar los SDT
Sólidos Sedimentables (SS)	Sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litro, que se sedimentaran por fuera de la suspensión dentro de un periodo de tiempo específico.

2.2.2.2 Características Químicas.

Las aguas servidas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos.

Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, alcalinidad y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.

Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados.

Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos.

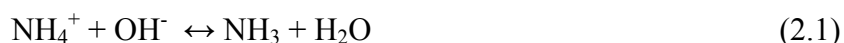
Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones. La concentración de orgánicos en el agua se determina a través de la DBO_5 , la cual mide material orgánico carbonáceo principalmente, mientras que la DBO_{20} mide material orgánico carbonáceo y nitrogenado DBO_2 .

2.2.2.2.1 Nitrógeno.

El nitrógeno es esencial para el crecimiento biológico, recibe el nombre de nutrientes y bioestimulantes; debido a que este es esencial para la síntesis de proteínas, se necesitan conocer datos sobre la presencia de este nutriente a la hora de evaluar la tratabilidad del agua residual mediante procesos biológicos. En casos en que la concentración de nitrógenos sea insuficiente será necesario adicionarlo para

lograr que el agua sea tratable. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

El nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa tanto en forma de ión amonio como en forma de amoníaco, dependiendo del pH de la solución, de acuerdo con la siguiente reacción de equilibrio:



Para valores de pH superiores a 9.3, el equilibrio se deslaza hacia la derecha predominando el amoníaco, mientras que para valores por debajo de 9.3 existe un predominio de la concentración del ión amonio.

2.2.2.2.2 Fósforo.

El fósforo al igual que el nitrógeno, es importante en el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuesto del fósforo provenientes de descarga de aguas residuales domésticas, industriales y de escorrentía natural. Las aguas residuales municipales por ejemplo, pueden contener entre 4 y 12 mg/L de fósforo expresado como P. Las formas más frecuentes en que se puede encontrar el fósforo en soluciones acuosas, incluyen ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. Los ortofosfatos, están disponibles para el metabolismo biológico sin que sea necesaria una ruptura posterior. La distribución de las varias especies de fosfatos es una función estricta del pH.

Los polifosfatos incluyen aquellas moléculas con dos o más átomos de fósforo, átomos de oxígeno y en algunos casos átomos de hidrógenos combinados en moléculas complejas. Los polifosfatos sufren hidrólisis en soluciones acuosas y se

convierten en ortofosfatos, sin embargo, el proceso de hidrólisis es con frecuencia bastante lento. Analíticamente los ortofosfatos se pueden determinar por métodos gravimétricos, volumétricos y físico-químicos. Los polifosfatos y el fósforo orgánico deben ser primero convertidos a ortofosfatos para poder ser analizados.

2.2.2.2.3 Alcalinidad.

La alcalinidad del agua se define como su capacidad para neutralizar ácidos. En aguas residuales, la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o de ion amonio. De todos ellos el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio son los más comunes. Los boratos, silicatos, fosfatos y compuestos similares pueden contribuir también a la alcalinidad; sin embargo, rara vez son significativos, excepto en algunas aguas residuales agrícolas e industriales. La alcalinidad en las aguas residuales ayuda a regular los cambios de pH causado por la adición de ácidos.

La alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado, expresando los resultados como carbonato de calcio CaCO_3 . Para propósitos prácticos. La alcalinidad se puede definir en términos de cantidades molares como:

$$(\text{Alc}), \text{ mol/L} = (\text{HCO}_3^-) + (\text{CO}_3^{2-}) + (\text{OH}^-) - (\text{H}^+) \quad (2.2)$$

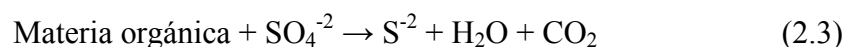
2.2.2.2.4 Cloruros.

La concentración de cloruros en aguas residuales es un parámetro importante relacionado con su reutilización. Los cloruros en aguas naturales provienen de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos con los que ellos hacen contacto. En áreas costeras los cloruros pueden provenir de la intrusión de las aguas salinas y salobres. Otras fuentes potenciales de cloruros son las descargas las aguas residuales domesticas, industriales y agrícolas a las aguas superficiales. En las aguas residuales los cloruros son añadidos como consecuencia de su uso, por ejemplo, las heces humanas aportan aproximadamente 6g de cloruros por persona por día.

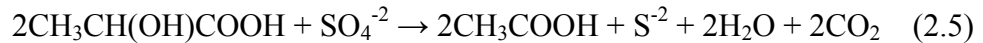
Los métodos convencionales de tratamiento no eliminan cloruros en cantidades significantes, concentraciones superiores a las normales pueden tomarse como un indicio de que la fuente de agua está siendo usada para el vertido de aguas residuales.

2.2.2.2.5 Sulfatos.

El ión sulfato se encuentra en forma natural tanto en las aguas de abastecimiento como en las aguas residuales. El azufre es un elemento importante para la síntesis de proteínas, y por eso se libera cuando ocurre la degradación de la misma. Los sulfatos se reducen biológicamente a sulfuros bajo condiciones anaeróbicas y pueden formar sulfuro de hidrógeno (H_2S) al combinarse con el hidrogeno. A continuación se muestran las reacciones generales que rigen estos procesos:



Si el ácido láctico se usa como compuesto orgánico precursor, la reducción de sulfato a sulfuro ocurre así:



Acido láctico + sulfato → ácido acético + ión sulfuro

Los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el desarrollo normal de los procesos biológicos si la concentración excede los 200 mg/L. afortunadamente, estas concentraciones no son comunes.

2.2.2.3 Características Bacteriológicas.

Una de las razones más importantes para tratar las aguas negras o servidas es la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las excretas con el propósito de cortar el ciclo epidemiológico de transmisión. Estos son, entre otros:

Coliformes totales, Coliformes fecales, Salmonellas, Virus.

2.2.2.3.1 Coliformes Totales

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

El grupo coliforme agrupa a todas las bacterias entéricas que se caracterizan por tener las siguientes propiedades bioquímicas:

- ser aerobias o anaerobias facultativas.
- ser bacilos Gram negativos.
- no ser esporógenas.
- fermentar la lactosa a 35 °C en 48 horas, produciendo ácido láctico y gas.

Las bacterias de este género se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, es decir, homeotermos, pero también ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales. Por tal motivo suele deducirse que la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal. Sin embargo, existen muchos coliformes de vida libre.

Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura. Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces.

El grupo coliforme está formado por los siguientes géneros: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*.

No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de

contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales (que comprende la totalidad del grupo) y los coliformes fecales (aquellos de origen intestinal). Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

La prueba de coliformes totales y fecales también se utiliza para determinar la calidad bacteriológica de los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas servidas.

2.2.2.3.2 Salmonellas.

La Salmonella es un género de bacteria que pertenece a la familia Enterobacteriaceae, formado por bacilos gran negativos, anaerobios facultativos, con flagelos peritricos y que no desarrollan cápsula ni esporas. Son bacterias móviles que producen sulfuro de hidrógeno (H_2S). Fermentan glucosa por poseer una enzima especializada, pero no lactosa, y no producen ureas.

2.2.3 Principales parámetros de las aguas residuales.

Los parámetros característicos, son:

- Temperatura
- pH
- Sólidos en suspensión totales (SST).
- Materia orgánica valorada como DQO y DBO.
- Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)

- Nitrógeno amoniacal y nitratos

También hay otros parámetros a tener en cuenta como fósforo total, nitritos, sulfuros, sólidos disueltos.

2.2.3.1 Temperatura.

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos sistemas de tratamientos de agua residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura. La temperatura en el agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. En regiones frías, la temperatura varía entre 7 a 18°C, mientras que en regiones cálidas la variación será de 13 a 30°C.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. Un incremento de la temperatura puede causar cambios en las especies de peces que existen en un cuerpo de agua receptor. Además, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 25 a 35°C. Los procesos de digestión aeróbica y nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza valores del orden de los 50°C. Cuando la temperatura se acerca a los 15°C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, y alrededor de los 5°C, las bacterias autotróficas nitrificantes dejan de actuar. Cuando la

temperatura es de 2°C, se alcanza la inactivación de bacterias quimioheterotroficas que actúan sobre la materia orgánica carbonacea.

2.2.3.2 pH.

Es una medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones y cationes hidrógeno [H⁺] presentes en determinada sustancia. La expresión usual para medir la concentración del ión hidrógeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de ión hidrógeno:

$$\text{pH} = - \log_{10} [\text{H}^+] \quad (2.6)$$

La escala de pH se establece en una recta numérica que va desde el 0 hasta el 14. El número 7 corresponde a las soluciones neutras. El sector izquierdo de la recta numérica indica acidez, que va aumentado en intensidad cuando más lejos del 7. Por ejemplo una solución que tiene pH = 1 es más ácida o más fuerte que aquella que tiene un pH = 6. De la misma manera hacia la derecha del 7 las soluciones son básicas y son más fuertes o más básicas cuanto mas se alejan del 7. Otro ejemplo, una base que tenga pH=14 es más fuerte que una que tenga pH=8.

La concentración del ión hidrógeno se mide generalmente en forma instrumental empleando un pH metro. También se emplean soluciones y papeles indicadores que cambian de color a diferentes valores de pH.

El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9. las aguas residuales

con valores de pH menores a 5 y superiores a 9, son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos. Si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertidos, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamientos de aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH.

2.2.3.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua y oxidables en condiciones operatorias definidas. La prueba de la DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido [8]. Este ensayo es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras.

Desde el punto de vista operacional, una de las principales ventajas de la prueba de la DQO radica en que se puede completar en dos horas y media, comparado con los cinco o más días empleados para la prueba de la DBO; para reducir aun más el tiempo se ha desarrollado una prueba rápida de DQO que tarda solo 15 minutos.

2.2.3.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

El método más usado es el de la demanda bioquímica de oxígeno, que se simboliza DBO. La DBO se define como la cantidad de oxígeno usada por la materia orgánica en la estabilización del agua residual o servida en un período de 5 días a 20° C. El concepto de DBO es muy usado y, por lo tanto, se requiere una especial comprensión del mismo.

Ejemplo

- Oxígeno disuelto al inicio (100 mg/l)
- Oxígeno disuelto al término (60 mg/l)

Esto indica que la DBO del agua en estudio es de 40 mg/l. Mientras mayor sea la DBO mayor será la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua servida. En general las aguas potables no superan los 5 mg/l pero las aguas servidas pueden tener 300 mg/l.

2.2.3.5 Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) .

El nitrógeno total Kjeldahl es un indicador que refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminos, etc.) y el ión amonio NH_4^+ .

Es un parámetro importante en estaciones depuradoras de aguas residuales ya que mide el nitrógeno total capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos y, posteriormente y en su caso, desnitrificado a nitrógeno gaseoso. No incluye, por tanto, los nitratos ni los nitritos.

2.2.4 Análisis más frecuentes para aguas residuales.

2.2.4.1 Determinación de Sólidos Totales. Método No. 2540 - D

Poner una cápsula de porcelana a peso constante y guardarla en el desecador, (para poner la cápsula a peso constante se hace lo siguiente)

a) Auxiliado con las pinzas para crisol, pesar la cápsula en la balanza analítica (anotar la pesada) y colocarla en la estufa a 110°C durante 1 hora.

b) Transcurrido el tiempo sacar la cápsula y colocarla en el desecador (dejar destapado el desecador unos 3 minutos y después cerrarlo).

c) Dejar enfriar y volver a pesar y si hay una diferencia de 0.0002 g. Guardar en el desecador, ya está a peso constante la cápsula. En caso contrario colocar nuevamente la cápsula de porcelana en la estufa durante media hora a 110°C.

Después de que la cápsula de porcelana haya sido puesta a peso constante se continúa con la práctica.

- Colocar 50 ml de agua residual en la cápsula de porcelana que está a peso constante.
- Calentar sin hervir hasta reducir la muestra a un volumen mínimo.
- La muestra una vez pre-evaporada se introduce en la estufa y se lleva a sequedad hasta peso constante.
- Sacar la cápsula y colocarla en el desecador, dejar enfriar y posteriormente volver a pesar.

$$ST = \frac{G1-G}{V} \times 1000 \quad (2.7)$$

ST = Sólidos totales en mg/l

G = Masa de la cápsula vacía en mg

G1 = Masa de la cápsula con residuo en mg

V = Volumen de muestra en ml

2.2.4.2 Determinación de la DQO. (Método del dicromato potásico)

a. Toma de Muestras.

Es preferible realizar la toma de muestras en recipientes de vidrio, puesto que los de plástico pueden contaminar la muestra con materiales orgánicos. Se deberá proceder a analizar la DQO rápidamente, después de tomar la muestra que además deberá de ser representativa y estar bien homogeneizada. Antes del análisis, el agua tamizada se decanta en un cono especial durante 2 horas, tomándose entonces el agua residual por sifonación en la zona central de la probeta.[8]

b. Principio

En condiciones definidas, ciertas materias contenidas en el agua se oxidan con un exceso de dicromato potásico, en medio ácido y en presencia de sulfato de plata y sulfato de mercurio. El exceso de dicromato potásico se determina con el sulfato de hierro y de amonio.

c. Reactivos

- ❖ Agua destilada recientemente preparada.
- ❖ Sulfato de mercurio cristalizado.

❖ Solución de sulfato de plata:

- Sulfato de plata cristalizado: 6,6 g y enrasar con ácido sulfúrico hasta 1000 ml.

❖ Solución de sulfato de hierro y de amonio 0,025 N*

- Sulfato de hierro y amonio: 98 g
- Ácido sulfúrico: 20 ml
- Enrasar con agua destilada hasta enrase a 1000 ml
- El valor de esta solución debe verificarse todos los días.

❖ Solución de dicromato potásico 0,25N:

- Dicromato potásico (secado 2 horas a 110°C): 12,2588 g y enrasar con agua destilada hasta 1000 ml.

❖ Solución de ferroína:

- 1,10-fenantrolina: 1,485 g
- Sulfato de hierro: 0,695 g y enrasar con agua destilada hasta 100 ml.
- Disolver la fenantrolina y el sulfato de hierro en agua y completar el volumen. Se puede también utilizar una solución comercial.

Habrá que verificar el valor de la solución de sulfato de hierro y amonio:

- En un vaso de precipitado introducir 25 ml exactamente medidos de solución de dicromato potásico 0,25 N y completar a 25 ml con agua destilada.
- Añadir 75 ml de ácido sulfúrico y dejar que se enfríe.
- Añadir algunas gotas de solución sulfúrica de solución de ferroína y determinar la cantidad necesaria de solución de sulfato de hierro y de amonio para obtener el viraje al rojo violáceo.

$$T = \text{ml K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0,25 \text{ ml Fe} \quad (2.8)$$

d. Procedimiento.

1. Introducir 50 ml de agua a analizar en un matraz de 500 ml
2. Añadir 1 g de sulfato de mercurio cristalizado y 5 ml de solución sulfúrica de sulfato de plata.
3. Calentar, si es necesario, hasta disolución perfecta.
4. Añadir 25 ml de disolución de dicromato potásico 0,25 N y después 70 ml de solución sulfúrica de sulfato de plata.
5. Llevar a ebullición durante 2 horas bajo refrigerante a reflujo adaptado al matraz.
6. Dejar que se enfríe.
7. Diluir a 350 ml con agua destilada.
8. Añadir algunas gotas de solución de ferroína.
9. Determinar la cantidad necesaria de solución de sulfato de hierro y amonio para obtener el viraje al rojo violáceo.
10. Proceder a las mismas operaciones con 50 ml de agua destilada.

e. Expresión de los resultados.

$$DQO \text{ (mg/l)} = 8000 (V_0 - V_1)T/V \quad (2.9)$$

Donde

- V_0 es el volumen de sulfato de hierro y amonio necesario para la determinación (ml)
- V_1 es el volumen de sulfato de hierro y amonio necesarios para el ensayo en blanco (ml)
- T es el valor de la solución de sulfato de hierro y amonio

- V es el volumen de la muestra tomada para la determinación.

2.2.4.3 Determinación de la DBO. (método por dilución)

a. Principio

La DBO se define como la cantidad de oxígeno consumido en las condiciones del ensayo, es decir, después de la incubación durante 5 días, a 20°C y en la oscuridad, para ciertas materias presentes en el agua, principalmente para su degradación por vía biológica

b. Reactivos

- ❖ Agua destilada
- ❖ Agua residual urbana reciente
- ❖ Solución de fosfatos:
 - Monohidrógenofosfato sódico: 8,493 g
 - Dihidrogenofosfato potásico: 2,785 g
 - Agua destilada hasta enrase a 1000 ml
 - Homogeneizar perfectamente la solución.
- ❖ Solución de sulfato magnésico de 20 g/l
- ❖ Solución de cloruro cálcico de 25 g/l
- ❖ Solución de cloruro de hierro de 1,5 g/l
- ❖ Solución de cloruro amónico de 2 g/l

Preparación del agua de dilución:

Se prepara a partir de agua destilada introduciendo en un recipiente:

- Solución de fosfato.....5 ml
- Solución de sulfato magnésico.....1 ml

- Solución de cloruro cálcico.....1 ml
- Solución de cloruro de hierro.....1 ml
- Solución de cloruro amónico.....1 ml
- Agua destilada hasta enrase a 1000 ml

Esta solución se mantiene a 20°C y debe de airearse procurando evitar toda contaminación por metales, materias orgánicas, oxidantes o reductores.

Se detendrá la aireación cuando la solución contenga 8 mg/l de oxígeno disuelto.

Dejar en reposo durante 12 horas manteniendo el recipiente destapado.

Añadir 5 ml de agua residual urbana por litro de esta solución. (Esta agua de dilución, deberá utilizarse dentro de las 24 horas siguientes a su preparación.)

c. Procedimiento

1. Introducir un volumen conocido de agua a analizar en un matraz aforado y completar con el agua de dilución.
2. Verificar que el pH se encuentra entre 6-8. (En caso contrario, preparar una nueva dilución llevando el pH a un valor próximo a 7 y después ajustar el volumen)
3. Llenar completamente un frasco con esta solución y taponarlo sin que entren burbujas de aire.
4. Preparar una serie de diluciones sucesivas.
5. Conservar los frascos a 20°C ± 1°C y en la oscuridad.
6. Medir el oxígeno disuelto subsistente al cabo de 5 días.

7. Practicar un ensayo testigo determinando el oxígeno disuelto en el agua de dilución y tratar dos matraces llenos de esta agua como se indicó anteriormente.
8. Determinar el oxígeno disuelto.

En el curso del ensayo testigo, el consumo de oxígeno debe situarse entre 0,5 y 1,5 g/l. En el caso contrario, la inoculación con el agua destilada no es conveniente y se necesitará modificar la preparación.

d. Interpretación de los resultados

$$\text{DBO} = F (T_0 - T_5) - (F-1)(D_0 - D_5) \quad (2.10)$$

Donde:

D_0 = Contenido de oxígeno disuelto (mg/l) del agua de dilución al principio del ensayo.

D_5 = Contenido medio de oxígeno disuelto (mg/l) del agua de dilución al cabo de 5 días de incubación.

T_0 = Contenido de oxígeno disuelto (mg/l) de una de las diluciones de la muestra al principio del ensayo.

T_5 = Contenido de oxígeno disuelto (mg/l) de una de las diluciones de la muestra al cabo de 5 días de incubación.

F = Factor de dilución.

Tabla 2.3 Composición usual de agua residual domestica cruda. [7]

Contaminantes	Concentración		
	Unidad	Intervalo	Valor Usual
Sólidos Totales	mg/l	350 -1200	700
Sólidos disueltos Totales	mg/l	280 -850	500
Sólidos disueltos Fijos	mg/l	145 – 850	300
Sólidos disueltos Volátiles	mg/l	105 – 325	200
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	100 – 350	210
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	20 – 75	55
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	80 – 275	160
Sólidos Sedimentables	ml/l	5 – 20	10
DBO ₅ , 20 °C	mg/l	110 – 400	210
Carbono Orgánico Total	mg/l	80 – 290	160
DQO	mg/l	250 – 1000	500
Nitrógeno Total (expresado en N)	mg/l	20 – 85	35
Nitrógeno Orgánico	mg/l	8 – 35	13
Amoniaco Libre	mg/l	12 – 50	22
Nitritos	mg/l	0 – 0	0
Nitratos	mg/l	0 – 0	0
Fósforo Total (expresado como P)	mg/l	4 – 15	7
Orgánico	mg/l	1 – 15	2
Inorgánico	mg/l	3 – 10	5
Cloruros	mg/l	30 – 100	50
Sulfatos	mg/l	20 – 50	30
Grasas y aceites	mg/l	50 – 150	90
Compuestos Orgánicos Volátiles	mg/l	<100 a >400	100 – 400
Coliformes Totales	no./100ml	10 ⁶ - 10 ⁹	10 ⁷ – 10 ⁸
Coliformes Fecales	no./100ml	10 ³ - 10 ⁷	10 ⁴ – 10 ⁵

2.2.5 Análisis periódicos de muestras.

2.2.5.1 Muestreo.

Los análisis periódicos de muestras se utilizan para establecer la eficiencia del sistema y las cargas impuestas. Los períodos de muestreo dependen del régimen de variación del caudal, esto es, que dependiendo del funcionamiento de la planta, se pueden obtener de ocho, de diez o veinticuatro horas, el muestreo diario durante tres días constituye un programa de muestreo. El ciclo de captación debe comprender los distintos días de una semana y de ser posible, los meses de los cuales se esperen, o acusen, las mayores variaciones de flujo [8].

Las técnicas de muestreo utilizadas en un estudio del agua residual deben asegurar la obtención de muestras representativas, ya que los datos que se deriven de los análisis de dichas muestras serán, en definitiva, la base para el proyecto de las instalaciones de tratamiento. Para que las muestras sean representativas, es necesario conocer las variaciones horarias de flujo. No existen procedimientos universales de muestreo; los procedimientos de muestreo deben diseñarse específicamente para cada situación [7].

Los datos recolectados del programa de muestreo deben ser:

- ❖ **Representativos.** Los datos deben representar el agua residual o el ambiente muestreado.

- ❖ **Reproducibles.** Los datos obtenidos deben poder ser reproducidos por otros siguiendo el mismo muestreo y protocolos analíticos.

❖ **Sustentados.** La documentación debe estar disponible para validar el plan de muestreo. Los datos deben tener un grado conocido de exactitud y precisión.

❖ **Útiles.** Los datos deben poder usarse para encontrar los objetivos del plan de monitoreo.

Antes de emprender un programa de muestreo, debe realizarse un protocolo detallado del mismo en conjunto con un plan de garantía de la calidad. Como mínimo los siguientes puntos se deben especificar en el plan de garantía de la calidad [16].

❖ **Plan de muestreo.** Número de puntos de muestreo, número y clase de muestras, intervalo de tiempo entre la toma de muestras.

❖ **Clase de tamaño de muestra.** Toma de muestra, muestras compuestas o muestras integradas, tamaño de la muestra.

❖ **Rotulado y cuidado de la muestra.** Identificación de cada muestra con rótulos, sellamiento, registro en el libro de campo, registro de cuidado en el transporte, diligenciamiento de la orden de solicitud de análisis, entrega de la muestra en el laboratorio, recepción de la muestra, y orden del análisis de la muestra.

❖ **Métodos de muestreo.** Técnicas y equipos específicos usados en el muestreo (por ejemplo, muestreo manual o automático).

❖ **Almacenamiento y preservación de la muestra.** Clase de recipiente (por ejemplo, plástico o de vidrio), métodos de preservación, tiempo máximo permitido para almacenamiento.

❖ **Constituyentes de la muestra.** Lista de parámetros a ser medidos.

❖ **Métodos analíticos.** Lista de métodos y procedimientos a ser usados en el campo y en el laboratorio, y los límites de detección de los diferentes métodos individuales.

En general, para que las muestras sean representativas se prefieren sitios de muestreo con flujo muy turbulento donde el agua residual este bien mezclada [8].

Existen varios tipos de muestras, dentro de las que se encuentran: Muestras simples y muestras compuestas.

2.2.5.2 Muestras Simples.

Es aquel tipo de muestra que se toma en cualquier momento del día y en un punto específico.

2.2.5.3 Muestras Compuestas.

Es el tipo de muestra formada por volúmenes proporcionales al flujo, los cuales han sido tomados en intervalos regulares de tiempo durante un período largo, generalmente un día.

2.2.6 Análisis Estadístico.

El aspecto más importante en el estudio del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales es la comparación de las características de las sustancias contenidas en el efluente del mismo con las directrices establecida por el organismo regulador de la materia, pudiéndose determinar de este modo si existen problemas y cual es el alcance de los mismos. Es por esto que la clasificación de la

información obtenida, a través de un muestreo, es fundamental para conocer la eficiencia de estos sistemas.

Un estudio estadístico puede revelar el comportamiento que sigue el proceso del tratamiento del agua residual, las variaciones que sufren algunos parámetros como la Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO), en función del valor de diseño o el estipulado por los organismos institucionales. La estadística es uno de los elementos decisivos en el mejoramiento de la calidad del tratamiento, ya que las técnicas estadísticas pueden emplearse para describir y comprender la variabilidad, que es el resultado de cambios en las condiciones bajo las que se hacen las observaciones; el campo de la estadística consiste en métodos para describir y modelar la variabilidad.

Los parámetros estadísticos empleados se enuncian a continuación:

2.2.6.1 Media Aritmética.

Es la medida más común de localización o centro de datos, es el promedio aritmético ordinario. Se denota por \bar{X} y se define por:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} \quad (2.11)$$

Donde:

X = Datos

N = Cantidad total de datos

2.2.6.2 Media Geométrica.

Es la raíz enésima del producto de un conjunto de números. Se denota por G y se define por:

$$G = \sqrt[n]{(X_1 X_2 X_3 \dots X_n)} \quad (2.12)$$

Donde:

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ = Conjunto de datos.

n = Número de datos.

2.2.6.3 Varianza.

Es la cantidad que mide la dispersión de los valores que recorren una variable aleatoria, es la medida de cuadro de desviación. Se denota por “s” y se define por:

$$S^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (X - \bar{X})^2}{N - 1} \quad (2.13)$$

Donde:

X = Datos

\bar{X} = Media aritmética.

N = Cantidad de datos.

2.2.6.4 Desviación Estándar.

Es la raíz cuadrada de la varianza, se denota por σ y se define por:

$$\sigma = \sqrt{s} \quad (2.14)$$

2.2.6.5 Distribución Normal.

La distribución normal fue reconocida por primera vez por el francés Abrahán de Moivre (1667 – 1754). Posteriormente, Carl Friedrich Gauss (1777 – 1855) se elaboró desarrollos más profundos y formuló la ecuación de la curva; de ahí que también se le conozca, más comúnmente, como la “campana de Gauss”. La distribución de una variable normal está completamente determinada por dos parámetros, su media y su desviación estándar, denotadas generalmente por X y σ .

Con esta notación, la densidad de la normal viene dada por la ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \cdot \left[\frac{x - \mu}{\sigma} \right]^2 \right\}; -\infty < x < \infty \quad (2.15)$$

Esta ecuación determina la curva en forma de campana. Así, se dice que una característica x sigue una distribución normal de media μ y varianza σ^2 , y se denota como $x \approx N(\mu, \sigma)$, si su función de densidad viene dada por la ecuación 2.15.

Para distribuciones normales se presenta los siguientes casos:

- a) 68,27 % de los casos entre $X \pm \sigma$ (una desviación estándar a cada lado de la media).
- b) 95,45 % de los casos entre $X \pm 2\sigma$ (dos desviaciones estándar a cada lado de la media).
- c) 99,73 % de los casos entre $X \pm 3\sigma$ (tres desviaciones estándar a cada lado de la media).

2.2.6.6 Intervalos de Confianza para las medias.

El límite de confianza se define por:

$$X \pm Z_c \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (2.16)$$

Donde:

X = Media aritmética

Z_c = Valor que depende del nivel de confianza deseado (Ver tabla 2.4)

σ = Desviación estándar

N = Cantidad total de datos

Tabla 2.4 Valores de confianza.[8]

Nivel de confianza	99,73%	99%	98%	96%	95,45%	95%	90%	80%	68,27%	50%
Z_c	3,00	2,58	2,33	2,05	2,00	1,96	1,645	1,28	1,00	0,6745

2.2.7 Caudales de las aguas residuales.

La composición de los caudales de aguas residuales de una comunidad dependen del tipo de sistema de recolección que se emplee, y puede incluir los siguientes componentes:

1. **Agua residual doméstica.** Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas o similares.
2. **Agua residual industrial.** Agua residual proveniente de vertidos industriales.
3. **Infiltración y aportaciones incontroladas.** Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas, o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.
4. **Aguas pluviales.** Agua resultante de la escorrentía superficial.

2.2.7.1 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. También debe tomarse en cuenta la contribución que representan los edificios institucionales y los espacios recreacionales.

Zonas residenciales. En zonas residenciales, el caudal de agua residual es principalmente función del número de habitantes.

Zonas comerciales. La obtención de los caudales de agua residual que se genera en las zonas comerciales se basa normalmente en la comparación con datos de zonas existentes o de futura construcción y suelen expresarse en $\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{día}$.

Centros institucionales. Los caudales de centros institucionales varían en función de la región, el clima y el tipo de institución. La mejor fuente de información es siempre la de los centros existentes de similares características.

Centros recreativos. Los caudales que generan este tipo de instalaciones varían considerablemente en función de la época del año, dado que su actividad es marcadamente de temporada.

2.2.7.2 Aguas residuales de origen industrial.

Los caudales de aguas residuales generados en las diferentes industrias dependen del tipo y tamaño del centro industrial, el grado de reutilización del agua y el pre-tratamiento que se de al agua utilizada en caso de que este sea realizado.

2.2.7.3 Infiltración y aportaciones incontroladas.

Estos aportes se definen de la siguiente manera:

Infiltración. Es toda el agua que entra en la red de alcantarillado a través de tuberías defectuosas, juntas, conexiones entre elementos de la red y paredes de los pozos de registro.

$$Q_{inf} = \frac{L \times n}{86400} \quad (2.17)$$

Q_{inf} = Gastos de infiltración (l/s).

L = Longitud de colectores incluyendo empotramientos (Km)

n = 20000 l/día – Km

86400 = Factor de conversión de días a segundos (s/d)

Aportaciones permanentes. Agua que proviene del drenaje de sótanos y cimentaciones, circuitos de refrigeración y drenajes de zonas pantanosas y manantiales.

Aportaciones directas. Constituidas por los aportes de la escorrentía superficial a la red de alcantarillado, provenientes de bajantes de edificios, drenajes de patios, tapas de pozos de inspección y conexiones incorrectas entre alcantarillados pluviales.

2.2.8 Medidores de caudal.

La medición de caudal puede ser realizada con relativa facilidad utilizando convenientemente y siempre que fuese posible, medidores Parshall.

El medidor Parshall consiste en una sección convergente, una sección de paredes verticales paralelas llamada garganta y una sección divergente, dispuestas en

planta. El medidor Parshall es aplicado al control de la velocidad en los desarenadores de las estaciones de tratamiento de agua. [8]

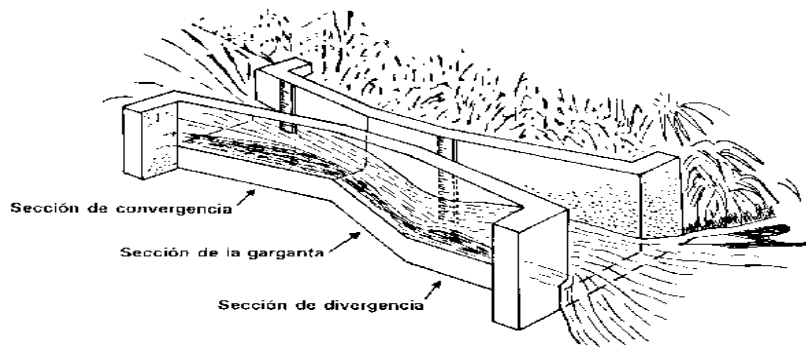


Figura 2.2 Vista de un medidor Parshall [17]

Las curvas de calibración para la determinación de caudales podrán ser calculadas con las siguientes formulas:

Tabla 2.5 formulas para la curva de calibración para la determinación de caudales[8]

Ancho de la garganta	Formulas
0,076 m (3")	$Q = 0,1765 \times H_a^{1,547}$ (2,18)
0,152 m (6")	$Q = 0,3812 \times H_a^{1,58}$ (2.19)
0,229 m (9")	$Q = 0,5353 \times H_a^{1,53}$ (2.20)
0,305 – 2,44 m (12" – 8 Pies)	$Q = 0,3716 \times W \left[\frac{H_a}{0,305} \right]^{1,393(W)^{0,026}}$ (2.21)
3,05 – 15,25 m (10 – 50 pies)	$Q = (2,293W + 0,4738)H_a^{1,6}$ (2.22)

Donde:

Q = Gastos (m^3/s)

H_a = Altura del Agua (m)

W = Ancho de la garganta (m)

2.2.9 Análisis de los datos de caudales de aguas residuales

Es necesario analizar con mucha atención, a partir de los datos disponibles, las características y variaciones de los caudales de aguas residuales, los cuales son muy importantes para el diseño y la operación de las redes de alcantarillado y los sistemas de tratamiento. Mediante el análisis de los datos de caudales pueden obtenerse importantes parámetros entre los cuales podemos citar:

2.2.9.1 Caudal medio diario.

Es el caudal promedio en 24 horas obtenido a partir de los datos de todo el año. Se emplea para la determinación de la capacidad de una planta de tratamiento y para obtener los caudales de diseño. Se calcula según la ecuación 2.23, en el caso de aguas blancas (Acueductos)

$$Qm_{\text{diario}} = \frac{\text{Dotación x población}}{86400} \quad (2.23)$$

2.2.9.2 Caudal máximo diario.

Promedio de los caudales máximos obtenidos en un período de 24 horas en el registro examinado. Se emplea para dimensionamiento de tanques de homogeneización o de cloración.

$$Q_{\max \text{ diario}} = Q_{m \text{ diario}} \times K \times R \quad (2.24)$$

Donde:

K = coeficiente poblacional de Harmon (adimensional)

R = coeficiente de gastos de reingreso = 0,80

El coeficiente poblacional se determina según la siguiente ecuación:[16]

$$K = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (2.25)$$

Donde:

P = Población en miles de habitantes.

2.2.9.3 Caudal mínimo diario.

Promedio de los caudales mínimos obtenidos en un período de 24 horas en el registro examinado. Se emplea para el diseño de conducciones del flujo en la que se pueda producir sedimentación cuando circulan caudales pequeños.

2.2.9.4 Caudal máximo promedio semanal.

Promedio de los caudales máximos obtenidos en un período de una semana en el registro examinado.

2.2.9.5 Caudal mínimo promedio semanal.

Promedio de los caudales mínimos obtenidos en un período de una semana en el registro examinado.

2.2.10 Tratamiento de aguas residuales

Toda agua servida o residual debe ser tratada tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. Antes de tratar cualquier agua servida debemos conocer su composición. Esto es lo que se llama caracterización del agua. Permite conocer qué elementos químicos y biológicos que están presentes y da la información necesaria para que los ingenieros expertos en tratamiento de aguas puedan diseñar una planta apropiada al agua servida que se está produciendo.

Una Planta de tratamiento de Aguas Servidas debe tener como propósito eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna de manera que el agua sea dispuesta en el ambiente en forma segura. El proceso, además, debe ser optimizado de manera que la planta no produzca olores ofensivos hacia la comunidad en la cual está inserta.

Una planta de aguas servidas bien operada debe eliminar al menos un 90% de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos presentes en ella. [14]

2.2.10.1 Clasificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

2.2.10.1.1 Procesos Físicos.

Son métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas, son conocidas como unidades de operación física. Estos métodos evolucionaron por observaciones directas del hombre en la naturaleza, fueron los primeros en ser usados para el tratamiento de aguas residuales. Estos métodos son tamizados, Floculación, sedimentación, flotación, filtración, y transferencias de gases.

2.2.10.1.2 Procesos Químicos.

Son métodos de tratamiento en los cuales la remoción o conversión de contaminantes se lleva a cabo mediante la adición de químicos o mediante otras operaciones químicas, son conocidos como unidades de procesos químicos. Los ejemplos más comunes son precipitación, absorción y desinfección.

2.2.10.1.3 Procesos Biológicos.

Son métodos de tratamiento en los cuales la remoción de contaminantes se lleva a cabo mediante actividad biológica, son conocidos como unidades de procesos biológicos. El tratamiento biológico se usa principalmente para remover las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) en el agua residual. Básicamente las sustancias son convertidas en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que pueden ser removidos mediante sedimentación.

2.2.10.2 Aplicación de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

2.2.10.2.1 Pre-tratamiento.

El pretratamiento consiste en la eliminación de los constituyentes del agua residual que puedan ocasionar problemas de mantenimiento y funcionamiento de las bombas y canalizaciones.[14]

Con el pretratamiento se elimina la parte de la polución más visible, cuerpos voluminosos como: trapos, palos, hojas, arenas, grasas y materiales similares, que llegan flotando o en suspensión desde los colectores de entrada.

La línea de pre-tratamiento convencional consta de las etapas de **desbaste, desarenado y desengrasado.**

2.2.10.2.1.1 Desbaste.

Este se lleva a cabo mediante rejillas formadas por barras verticales o inclinadas, que interceptan el flujo de la corriente de agua residual en un canal de entrada a la estación depuradora. Su misión es retener y separar los sólidos más voluminosos, a fin de evitar las obstrucciones de los equipos mecánicos de la planta y facilitar la eficiencia de los tratamientos posteriores.

2.2.10.2.1.2 Desarenado.

Las instalaciones de desarenado se sitúan después del desbaste y tienen como objetivo el extraer del agua bruta las partículas minerales de tamaño superior a uno fijado en el diseño, generalmente 200 micrones. El funcionamiento técnico del desarenado reside en hacer circular el agua residual en una cámara de forma que la velocidad quede controlada para permitir el depósito de arena en el fondo.

Normalmente, esta arena sedimentada queda desprovista casi en su totalidad de materia orgánica, y es evacuada mediante bombas, al clasificador de arenas y, posteriormente a un contenedor.

2.2.10.2.1.3 Desengrasado.

La fase de desengrasado tiene por objeto eliminar las grasas, aceites y en general los flotantes, antes de pasar el agua a las fases posteriores del tratamiento. El procedimiento utilizado para esta operación es el de inyectar aire a fin de provocar la desemeulsión de las grasas y su ascenso a la superficie, de donde se extraen por algún dispositivo de recogida superficial, normalmente raquetas, para acabar en contenedores.

Otros elementos del pre-tratamiento son el **aliviadero** y el **medidor de caudales**. El primero permite que la planta funcione siempre según el caudal del proyecto y, conjuntamente con el medidor de caudal, permite controlar la cantidad de agua que entra a la planta.

2.2.10.2.2 Tratamiento primario.

Se entiende por tratamiento primario a aquel proceso o conjunto de procesos que tienen como misión la separación por medios físicos de las partículas en suspensión no retenidas en el pre-tratamiento. [14]

El proceso principal del tratamiento primario es la decantación, fenómeno provocado por la fuerza de gravedad que hace que las partículas suspendidas más

pesadas que el agua se separen sedimentándose. Normalmente, en decantadores denominados dinámicos, los lodos son arrastrados periódicamente hasta unas purgas mediante unos puentes móviles con unas rasquetas que recorren el fondo. En los denominados decantadores circulares, el agua entra por el centro y sale por la periferia, mientras que los lodos son arrastrados hacia un pozo de bombeo de donde son eliminados por purgas periódicas.

Otros procesos de tratamiento primario incluye el mecanismo de flotación con aire, en donde se eliminan los sólidos en suspensión con una densidad próxima a la del agua, así como aceites y grasas, produciendo unas burbujas de aire muy finas que arrastran las partículas a la superficie para su posterior eliminación.

El tratamiento primario permite eliminar en un agua residual urbana aproximadamente el 90% de la materia decantable y el 65% de los sólidos suspendidos; se consigue también una disminución de la DBO de alrededor del 35%.

2.2.10.2.3 Tratamiento secundario.

Su propósito es remover la DBO_5 soluble que escapa del proceso primario y provee una remoción adicional de los sólidos suspendidos. Este tratamiento es típicamente alcanzado mediante procesos biológicos. Este tratamiento es diseñado para acelerar las reacciones biológicas naturales de modo que la descomposición de los contaminantes orgánicos degradable puedan ser alcanzados en periodos cortos de tiempo. Aunque el tratamiento secundario remueve más del 85% de la DBO_5 y Sólidos Suspendidos, este tratamiento no remueve cantidades significativas de nitrógeno fósforo o metales pesados y no remueve completamente las bacterias patogénicas y los virus. Este tratamiento incluye tratamientos biológicos y sedimentación secundaria. [14]

2.2.10.2.4 Tratamiento Avanzado.

En aquellos casos donde los niveles de tratamiento no son adecuados, se aplican procesos de tratamiento adicional al efluente secundario para prever tratamiento avanzado de aguas residuales. Estos procesos pueden incluir tratamiento químico, filtración y procesos de remoción de nitrógeno y fósforo. Los procesos avanzados pueden remover el 99% de la DBO₅, fósforo, sólidos suspendidos, bacterias y el 95% el nitrógeno.

2.2.10.3 Procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales.

Los procesos biológicos pueden llevarse a cabo por distintos procedimientos. Los más usuales son el proceso denominado **lodos activados** y el denominado **lecho bacteriano o percoladores**. Existen otros procesos de depuración aerobia de aguas residuales empleados principalmente en pequeñas poblaciones, como pueden ser: los **sistemas de lagunas, filtros verdes, lechos de turba o contractotes biológicos rotativos**.

2.2.10.3.1 Lagunas de Oxidación.

Es uno de los métodos de tratamiento biológico de aguas residuales. Estas son excavaciones de poca profundidad en el cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos (que convienen en forma simbiótica) y eliminan en forma natural, patógenos relacionados con excrementos humanos, sólidos en suspensión y materia orgánica, causantes de enfermedades tales como el cólera, el parasitismo, la hepatitis y otras enfermedades gastrointestinales. Es un método fácil y eficiente para tratar aguas residuales provenientes del alcantarillado sanitario.

El sistema está compuesto inicialmente por un grupo de trampas que atrapan y separan los elementos sólidos no inherentes al diseño del sistema, en etapas siguientes el agua y sus residuos pasan a un sistema de lagunas (una o más) donde permanecen en contacto con el entorno, principalmente el aire, experimentando un proceso de oxidación y sedimentación, transformándose así la materia orgánica en otros tipos de nutrientes que pasan a formar parte de una comunidad diversa de plantas y ecosistema bacteriano acuático.

Luego de este proceso, el agua superficial de las lagunas queda libre entre un 70 y un 85% de demanda química o biológica de oxígeno, los cuales son estándares apropiados para la liberación de estas aguas superficiales hacia la naturaleza de forma que esta última pueda absorber los residuos sin peligro para el medio ambiente y sus especies.

Correctamente diseñadas y construidas, las lagunas para el tratamiento pueden remover efectivamente la mayoría de los contaminantes asociados con las aguas negras municipales e industriales y las aguas de lluvias. Los pantanos para tratamiento son especialmente eficaces en la eliminación de problemas y contaminantes tales como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), no obstante, existen otros contaminantes que pueden ser tratados mediante este sistema de lagunas de oxidación como los sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, hidrocarburos y metales. Las lagunas de oxidación son también una tecnología efectiva y segura para el tratamiento y recirculación de agua si se mantienen y operan correctamente, también son particularmente apropiadas debido a su bajo costo y el método sencillo para construirlas y mantenerlas.

2.2.10.3.1.1 Ventajas y desventajas de Lagunas de Oxidación.

La estabilización de las aguas servidas mediante este sistema presenta algunas ventajas y desventajas que se enumeran a continuación:

Ventajas del sistema

- Poco costo.
- Fácil mantenimiento y operación.
- Absorbe las variaciones en la concentración y el flujo, permitiendo el tratamiento de desechos concentrados.
- Es compatible con sistemas de tratamiento acuáticos o sobre el suelo.

Desventajas del sistema

- Área superficial grande.
- Concentración elevada de organismos (sólidos) en el efluente.
- Peligro potencial para la salud pública y la estética en condiciones poco cuidadosas de la operación.
- Posibilidad de contaminación del agua subterránea si no se impermeabiliza la laguna o si en recubrimiento se daña.
- Se puede producir una acumulación excesiva de lodos.
- Pueden constituir un medio favorable para el desarrollo de mosquitos e insectos.

2.2.10.3.1.2 Clases de lagunas.

Las lagunas de oxidación se clasifican según el proceso de degradación de la materia orgánica recibida en: aeróbicas, anaeróbicas, facultativas, aireadas y de maduración.

2.2.10.3.1.2.1 Lagunas aeróbicas.

Son estanques de poca profundidad, máximo hasta aquella a la que penetre la luz solar y operan para obtener la máxima producción de algas. El oxígeno producido por las algas permite a las bacterias degradar de forma aerobia los compuestos orgánicos presentes en el agua residual. Durante las horas de luz solar, el oxígeno y el pH aumenta alcanzando valores máximos; mientras que en las horas de oscuridad dichos parámetros disminuyen en forma considerable respecto al valor máximo. Los tiempos de retención de estos sistemas son relativamente cortos, funcionan con recirculación del efluente y se utilizan en combinación con otras lagunas. Su aplicación se limita a zonas con climas cálidos y soleados. [16]

2.2.10.3.1.2.2 Lagunas anaeróbicas.

Estas lagunas no contienen oxígeno disuelto en la masa de agua. Su profundidad oscila entre 2 a 5 m. son diseñadas para el tratamiento de residuos líquidos con un alto contenido de materia orgánica. Los productos de la descomposición son principalmente metano y dióxido de carbono, lo que hace necesario ubicarlas en zonas aisladas o despobladas. Su tiempo de retención varía entre 20 y 50 días. Generan altas cantidades de lodos.

2.2.10.3.1.2.3 Lagunas facultativas.

Son las más usadas y versátiles. En general su profundidad oscila entre 1,5 a 2,5 m, y se conocen también como lagunas de estabilización. El tratamiento se desarrolla por la acción de bacterias aeróbicas en la capa superior y de bacterias anaeróbicas o anoxicas en la capa inferior. Los sólidos sedimentables se depositan en el fondo de la laguna. El aporte de oxígeno se logra por fotosíntesis y por reaireación natural superficial. Las lagunas facultativas pueden funcionar como lagunas con descarga controlada, lagunas de retención total o como unidades de almacenamiento para un tratamiento posterior sobre el suelo, y generan pocas cantidades de lodos.

2.2.10.3.1.2.4 Lagunas aireadas con mezcla parcial.

Estas algunas son más profundas y pueden recibir mayor carga orgánica que una laguna facultativa. El suministro de oxígeno se realiza por medio de aireadores mecánicos flotantes o difusores de aire sumergidos. Su profundidad varía de 2 a 6 m. se diseñan con un tiempo de retención de 3 a 20 días. Poseen la ventaja en que necesitan menor área que otro sistema de lagunas.

2.2.10.3.1.2.5 Lagunas de maduración.

Son lagunas utilizadas para mejorar la calidad del efluente, de forma que adquiera una pureza tal que pueda ser reutilizada, en procesos industriales, riego u otros, o simplemente para que cumplan criterios ambientales pautados para ser vertidos en cuerpos de agua o al suelo, estas suelen ser diseñadas para disminuir el número de organismo patógenos. El número de lagunas de maduración lo determina

el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales.

2.2.10.3.2 Procesos de estabilización.

Las lagunas de estabilización constituyen un ecosistema acuático en el cual la abundancia de materia orgánica, desplaza el equilibrio que habría en una laguna de agua limpia. [16]

En una laguna de estabilización los integrantes del ecosistema son los siguientes:

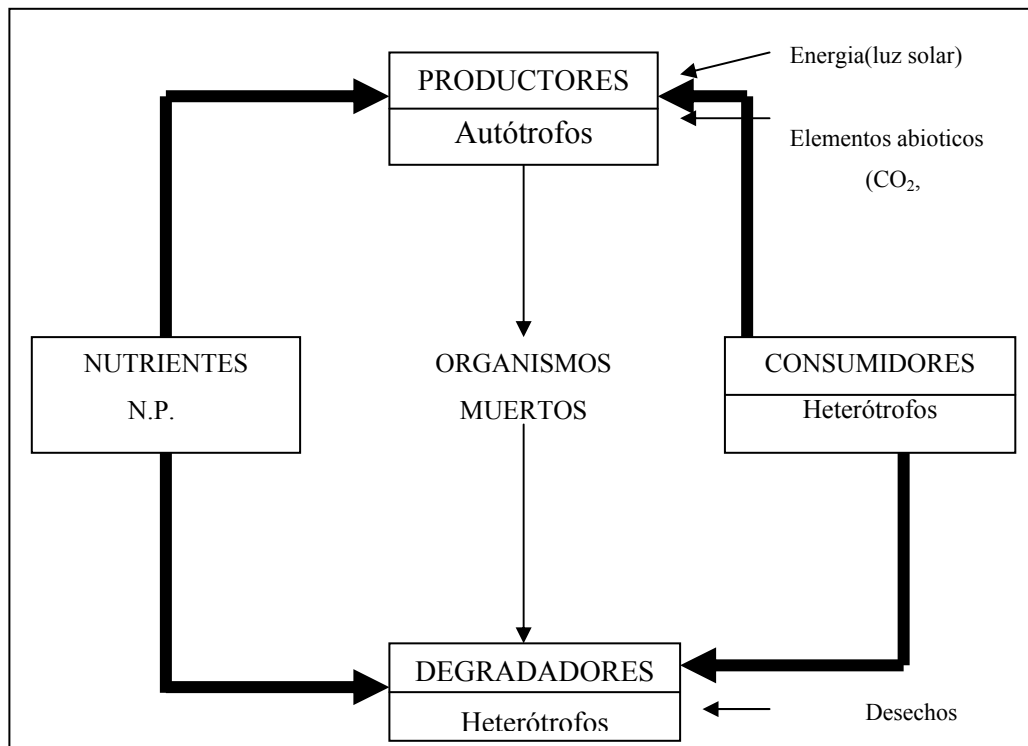


Figura 2.3 componentes de un ecosistema en una laguna de estabilización.[16]

Productores. Algas que se alimentan de CO₂ y minerales (Ca, Mg, Fe) y energía solar.

Consumidores. Protozoarios, rotíferos, larvas de insectos e insectos acuáticos principalmente. Estos se alimentan de los productores.

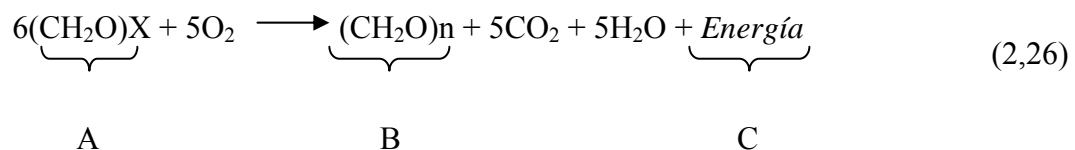
Degradadores. Bacterias y hongos que se alimentan de la materia orgánica muerta para producir biomasa y liberar nutrientes que queden a disposición de los organismos productores.

En una laguna de estabilización existe una cadena trófica, unos organismos se alimentan de otros y existe transporte de energía.

Existe una relación simbiótica entre las algas y las bacterias. Las bacterias utilizan el oxígeno disuelto producido por las algas en los procesos de oxidación bioquímica y las algas utilizan el CO₂ de la actividad bacteriana como fuente de carbono en la producción de nuevas algas.

En las aguas servidas se encuentran hidratos de carbono, proteínas, grasas y cenizas. Estos se descomponen con predominio de la descomposición de los hidratos de carbono sobre las proteínas y grasas.

En presencia de oxígeno las bacterias degradan la materia orgánica en las lagunas de la siguiente forma:



Donde:

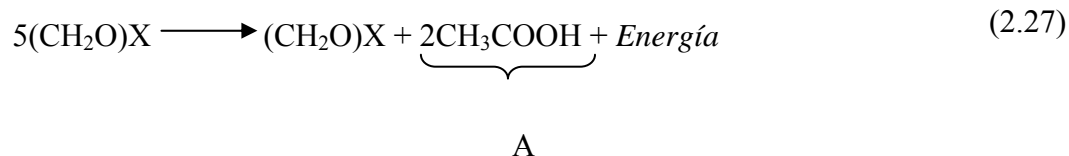
A = materia orgánica.

B = células de bacterias.

C = Se utiliza en la producción de nuevas células.

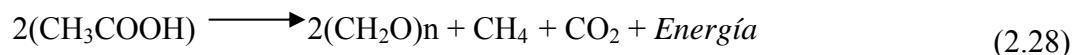
Cuando no hay oxígeno disuelto en la laguna, la transformación de hidratos de carbono ocurre en dos etapas:

Etapa 1



A = ácido orgánico.

Etapa 2



2.2.10.3.2.1 Factores que influyen en las reacciones biológicas de las lagunas de estabilización.

Los factores que influyen en las reacciones biológicas, que se dan en lagunas de estabilización, se pueden dividir en dos grupos importantes, los que no pueden ser controlados por el hombre y los que pueden ser controlados por el hombre.

- **Factores que no pueden ser controlados por el hombre.**

Radiación solar: La intensidad y la composición espectral de la luz que penetra una laguna de estabilización, afecta significativamente la actividad

microbiana. La disponibilidad de la luz determina en un alto porcentaje la actividad fotosintética, y por tanto, la producción de oxígeno. En las lagunas facultativas es fundamental la fotosíntesis realizada por las algas para producir el oxígeno requerido por las bacterias aeróbicas, la radiación solar que se produce durante el día interviene en forma directa en la fotosíntesis. La actividad fotosintética aumenta con el aumento de la intensidad luminosa, hasta un punto que el sistema se satura. La cantidad y la calidad de la luz que penetra una laguna, depende también de la presencia de la materia orgánica particular o disuelta, así como de las características de absorción del agua. Los organismos a su vez contribuyen a dar turbiedad al agua, limitando por tanto la penetración de la luz. Debido a esta restricción, la fotosíntesis se lleva a cabo principalmente en las capas superiores, por lo que a esta zona se le conoce como “zona eufótica” [16]

La radiación es la principal fuente de calor y hace que se produzca un gradiente de temperatura con la profundidad, fenómeno que puede tener un efecto sobre la descomposición de los sólidos sedimentados en el fondo de la laguna.

Temperatura del agua en las lagunas: Es un factor fundamental en el diseño de la laguna. Los procesos de reducción de la materia orgánica por acción bacteriana son dependientes de la temperatura. Un aumento de 4 a 5 °C en la temperatura, puede aumentar enormemente la eficiencia de la laguna. Las algas pueden sobrevivir a temperaturas entre 5 y 40 °C, siendo las algas verdes más eficiente para sobrevivir a temperaturas cercanas a 30 y 35 °C. Las bacterias aerobias se mantienen variables en un intervalo de 10 a 40 °C y para las cianobacterias su temperatura óptima oscila entre 35 y 40 °C. [16]

Vientos: Estos influyen en la aireación y homogenización de los líquidos de las lagunas, además de regular la temperatura. Los vientos además favorecen la mezcla y rotura de la estratificación térmica. [16]

- **Factores que pueden ser controlados por el hombre.**

Carga orgánica superficial: 56 Kg de demanda bioquímica de oxígeno por hectárea diaria (KG DBO/Ha-d), es la cifra mayormente admitida como cifra media de carga procesal, sin embargo, las cargas pueden ser aumentadas dependiendo del tipo y la diversidad de factores que las afectan y las condiciones climáticas preponderantes de cada región, así como el tipo de laguna y recibe o no flujo previamente tratado. [16]

Profundidad de la laguna: la profundidad óptima del líquido para una circulación adecuada se ve influenciada por la superficie de la laguna, en unidades mayores se permite mayor profundidad. Estanques poco profundos favorecen en crecimiento de vegetación emergente, haciéndolas propicias para el desarrollo de mosquitos. La profundidad puede variar entre 60 a 120 cm para lagunas recibiendo efluentes primarios y entre 60 y 150 cm para las de otro tipo; la profundidad está altamente relacionada con la actividad biológica que se da en la laguna, cuando el tratamiento es aerobio la profundidad debe ser tal que permita que la luz solar incida en todos los estratos de la laguna. [16]

Período de retención hidráulica: algunos autores, dependiendo del tipo de laguna, sugieren de 5 a 6 días como tratamiento de las facultativas tratando efluentes primarios, de unos 50 días para estas últimas tratando líquidos residuales crudos, y de 38 días para las de tipo anaeróbicas. Este factor se ve influenciado principalmente por la temperatura.

2.2.10.3.2.2 Criterios de diseño de las lagunas de estabilización.

La forma de clasificar, y por consiguiente, de diseñar lagunas de estabilización es muy variable y diferente. En la tabla 2.6, se presenta clasificaciones y parámetros típicos de lagunas de estabilización.

Tabla 2.6 Características de las lagunas de estabilización. [16]

Tipo	Afluente	Carga Orgánica	Tiempo Retención	Dimensiones	Observaciones
Aeróbica	Tratado en otros procesos previos	85 – 170 Kg.DBO/ha.d	10 – 40 d	Profundidad de 1 a 1,3 m	Producen efluente con DBO soluble bajo y SS altos
Facultativa	Agua residual cruda. Efluente primario o tratado en otro proceso previo.	22 – 67 Kg.DBO/ha.d	25 – 180 d	Profundidad de 1,5 a 2,5 m. área de 4 a 60 Ha	Las mas usadas. Para cargas mínimas puede ser predominante aerobia
Anaeróbica	Residuos industriales y de alta carga orgánica	160 – 800 Kg.DBO/ha.d	20 – 50 d	Profundidad de 2,5 a 5 m	Si no se operan y diseñan adecuadamente, hay malos olores y el efluente requiere tratamiento adicional.

2.2.10.3.3 Transformación de los constituyentes de las aguas residuales.

2.2.10.3.3.1 Remoción de la DBO.

En todas las lagunas, excepto en las anaeróbicas la DBO soluble se reduce mediante oxidación bacteriana, mientras que la DBO particulada se remueve por sedimentación. La remoción de la DBO en una laguna depende del tiempo de retención y la temperatura del agua.

2.2.10.3.3.2 Remoción de sólidos suspendidos totales.

Los sólidos suspendidos en el afluente se remueven por sedimentación. La mayoría de los sólidos suspendidos encontrados en el afluente están conformados por las propias algas que se desarrollan en la laguna, su concentración varía entre 140 mg/l en lagunas aerobias y 60 mg/l en lagunas con aireación.

2.2.10.3.3.3 Remoción de nitrógeno.

La remoción de nitrógeno en las lagunas se obtiene como resultado de la combinación de mecanismos que incluyen volatilización de amonio (la cual depende del pH), captura de algas, nitrificación/desnitrificación, acumulación de lodos y adsorción de los sólidos del fondo.

2.2.10.3.3.4 Remoción de fósforo.

La remoción de fósforo es mínima, a menos que se adicionen reactivos para promover su precipitación. Reactivos químicos como el alumbre o cloruro férrico se

han empleado con gran éxito para remover el fósforo hasta valores por debajo de 1 mg/l.

2.2.10.3.3.5 Remoción de organismos patógenos.

En sistemas con varias lagunas y tiempos de retención altos, se presentan buenas remociones de bacterias, parásitos y virus. Esta remoción ocurre como consecuencia de la muerte natural de estos organismos, por sedimentación y por absorción; los helmitos, los quistes y huevos de parásitos, también se sedimentan en el fondo de la laguna.

2.2.11 Periodo de diseño.

El período de diseño depende de diversos factores siendo los más importantes: la durabilidad o vida útil de las instalaciones, las facilidades de construcción y posibilidades de ampliación o sustituciones, las posibilidades de financiamiento, las tasas de interés y la tendencia del crecimiento poblacional. Las normas para el diseño de abastecimiento [4], recomiendan:

Plantas de tratamiento: de 20 a 30 años (sin considerar sus posibles extensiones por duplicaciones).

Las extensiones futuras deben ser previstas para efectos de su incorporación. Por supuesto que los aspectos prácticos, económicos y operativos, pueden hacer modificar los períodos de diseño de una obra específica.

2.2.12 Predicción de la población.

La estimación de la población es el aspecto principal en la definición del nivel de complejidad de un proyecto. Dicha población debe corresponder a la proyectada al final del período de diseño. La predicción de la población futura se realiza con la finalidad de estimar el crecimiento demográfico de la zona y determinar los factores más importantes, los cuales serán tomados en cuenta en el momento de desarrollar un proyecto específico. Existen varios métodos para estimar las poblaciones futuras, es de aclarar que la selección de la metodología más adecuada requiere de diversos criterios y conocimientos del lugar, tales como: densidad de saturación, tendencias económicas, actividades de desarrollo, etc. El buen juicio y conocimiento del lugar aporta un gran peso a la hora de estimar la población de diseño. Entre las metodologías que se podrían utilizar están: [6]

- Censos (en el caso de Venezuela, los datos provienen del Instituto Nacional de Estadística).
- Modelos paralelos o matemáticos con regresiones.
- Métodos de estimación de la población futura.

Entre los métodos más comunes para la estimación de la población futura se encuentran:

2.2.12.1 Crecimiento Lineal:

El uso de este método para proyectar la población tiene ciertas implicaciones. Desde el punto de vista analítico implica incrementos absolutos constantes, lo que demográficamente no se cumple, ya que por lo general las poblaciones no aumentan numéricamente sus efectivos en la misma magnitud a lo largo del tiempo. [6]

Por lo general, este método se utiliza para proporciones en plazos de tiempo muy cortos, básicamente para obtener estimaciones de población a mitad de año.

Población futura:

$$P_f = P_{uc} + K_a \times (T_f - T_{uc}) \quad (2.29)$$

Donde:

P_f = Población futura.

T_f = Año de la proyección.

K_a = Pendiente de la recta.

P_{uc} = Población del último censo.

T_{uc} = Año del último censo.

Pendiente de la recta o tasa de crecimiento lineal.

$$K_a = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \quad (2.30)$$

Donde:

P_{ci} = población del censo inicial.

T_{ci} = Año del censo inicial.

Podrá tomarse un valor de K_a promedio entre los censos o un K_a entre el primer censo y el último censo.

2.2.12.2 Crecimiento geométrico.

Un crecimiento de la población en forma geométrica, supone que la población crece a una tasa constante, lo que significa que aumenta proporcionalmente lo mismo en cada período de tiempo, pero en número absoluto, las personas aumentan en forma creciente. El tiempo se toma como una variable discreta, es decir, se mide la tasa de crecimiento entre puntos en el tiempo que estarían igualmente espaciados.

Población futura.

$$P_f = P_{uc} \times (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad (2.31)$$

Donde:

r = Tasa de crecimiento anual.

Tasa de crecimiento anual

$$r = \left[\frac{P_f}{P_{uc}} \right]^{\frac{1}{T_f - T_{uc}}} - 1 \quad (2.32)$$

2.2.12.3 Crecimiento logarítmico.

Un crecimiento de la población en forma logarítmica, a medida que el tiempo se aleja, la curva exponencial, supone un crecimiento de la población más rápido de la población.

Población futura.

$$\text{Ln}P_f = \text{Ln}P_{ci} + K_g \times (T_f - T_{ci}) \quad (2.33)$$

Tasa de crecimiento exponencial.

$$K_G = \frac{\text{Ln}P_{cp} - \text{Ln}P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (2.34)$$

Donde:

cp = Censo posterior.

ca = Censo anterior.

La aplicación de este método requiere por lo menos 3 censos, ya que al evaluar un K_g promedio se requiere de un mínimo de dos valores de K_g .

2.2.13 Eficiencia del sistema

La eficiencia del proceso se calcula según la ecuación 2.35

$$E = \left[\frac{S_o - S}{S_o} \right] \times 100 \quad (2.35)$$

Donde:

E = Eficiencia del proceso (%)

S_o = Concentración del sustrato en el afluente (mg/l)

S = Concentración del sustrato en el efluente (mg/l)

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción general de la planta.

El sistema de Tratamiento de Agua Residuales Aricagua ubicado en el Municipio Antolín Del Campo, Estado Nueva Esparta, inició su funcionamiento en el año 1998, en el cual, recibe actualmente las aguas servidas de la zona Noreste de la Isla de Margarita, de las comunidades de Aricagua, Manzanillo, el Tirano, El Agua y Parguito, entre otras. Las aguas son recolectadas y enviadas a las estaciones de bombeo **Miragua** ubicada en Playa El Agua y **Parguito** ubicada en playa Parguito, desde donde son enviadas por tuberías de impulsión independientes a la planta de Aricagua para su posterior tratamiento. Esta planta dispone de una capacidad máxima de 60 l/s. el tiempo de retención actual se estima en 32 días. La disposición final de esta agua tratada es el riego de sembradíos y plantaciones dentro y fuera de la planta.

Las estaciones de bombeo Parguito y Miragua cumplen con dos objetivos:

- La remoción de las partículas sólidas de gran tamaño o de materias sólidas flotantes, así como las arenas y las grasas, mediante rejas de desbaste como actuación previa al tratamiento biológico y para evitar la entrada de sólidos de gran tamaño que puedan ser perjudiciales a las bombas de la estación.

- La impulsión del agua hasta la planta de tratamiento de aguas servidas Aricagua.

A las estaciones de bombeo llega agua residual, proveniente de la red de recolección de aguas servidas, las mismas son almacenadas en un tanque, donde una vez que el agua alcanza un nivel importante se inicia el ciclo de bombeo hasta la planta de tratamiento. Las bombas de la estaciones tienen potencia de 75Hp, 480 voltios y 90 ampere. Estas bombas son electrosumergibles de tipo centrífuga, etapa simple, flujo radial e instalación vertical. Según información facilitada por Hidrocaribe

Una vez que las aguas residuales entran a la planta de tratamiento, llegan a una Laguna de Aireación, en la cual, cuenta con unas dimensiones de 177 m de largo, 50 m de ancho y 3 m de profundidad, lo que presenta un volumen aproximado de 26.550.000 L y maneja un caudal de operación estimado de 14.52 L/s, lo cual indica que las aguas tienen un tiempo de retención hidráulica promedio de 21.16 días. A esta laguna se le suministra aire por medio de 8 aireadores mecánicos flotantes, de potencia de 10 Hp cada uno.

Una vez se cumple el tiempo de retención de las aguas en la laguna aireada, éstas pasan a otra laguna, pero en este caso es una laguna de maduración, las dimensiones de esta laguna son iguales a la de aireación así como el caudal

El agua ya tratada es enviada al proceso de desinfección con hipoclorito de calcio al 65% para lograr su desinfección, destruyendo o disminuyendo los microorganismos de significación sanitaria. Este compuesto es dispensado desde un tanque de almacenamiento a razón de 0.28 L/s.

Las aguas tratadas en la planta de tratamiento Aricagua, una vez que cumplen con el recorrido del tratamiento son enviadas a un tanque de almacenamiento en el cerro “El Coco” para ser usadas en el riego de plantaciones y así ayudar al grave problema del suministro de agua que sufren en la zona.

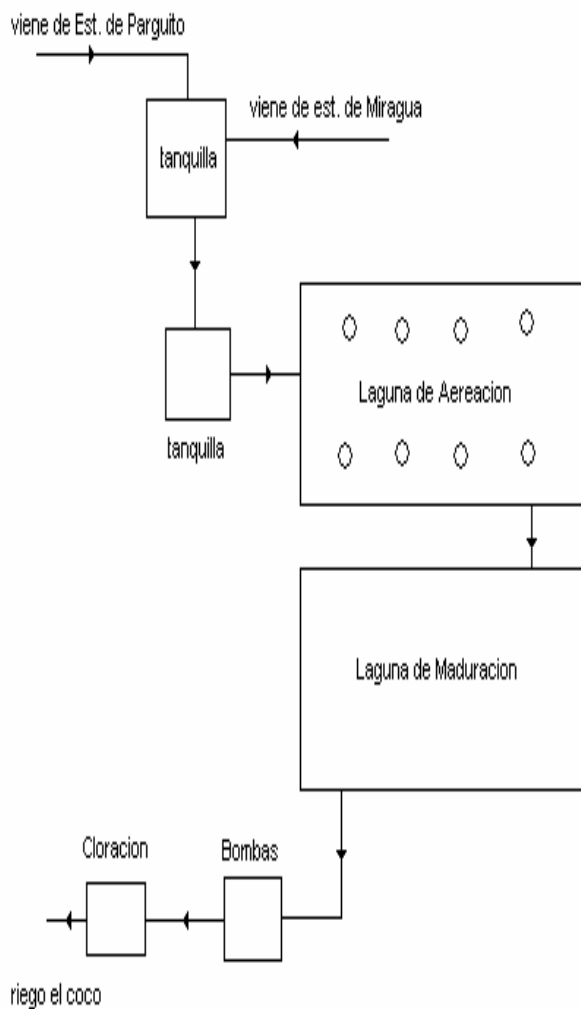


Figura 3.1 Diagrama de la planta de tratamiento de Aricagua.

3.1.1 Parámetros de diseño de la planta.

El proyecto para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales “Aricagua”, fue realizado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), en el año de 1998. En el cual se establecieron los siguientes parámetros de diseño.

Tabla 3.1 Parámetros de diseño.

Parámetros	Total
Periodo de diseño	15 años
Población	100.000 hab
Dotación	200 L/día×hab
Caudal Medio	200 L/s
Caudal Máximo	300 L/s
DBO ₅ afluente	200 mg/l
DBO ₅ efluente	10 mg/l
Remoción de DBO	96 %
Coliformes Fecales	< 1000 NMP/100 ml
Remoción de Coliformes Fecales	99 %
Dimensiones	Longitud
Largo	177 m
Ancho	50 m
Profundidad	3 m

Los parámetros de diseños presentados anteriormente son para el diseño de la planta presentada en la figura 3.2, pero por factores económicos, la construcción de la planta se dividió en dos etapas en la cual en la actualidad se encuentra en funcionamiento la primera etapa, que es la mostrada en la figura 3.1.

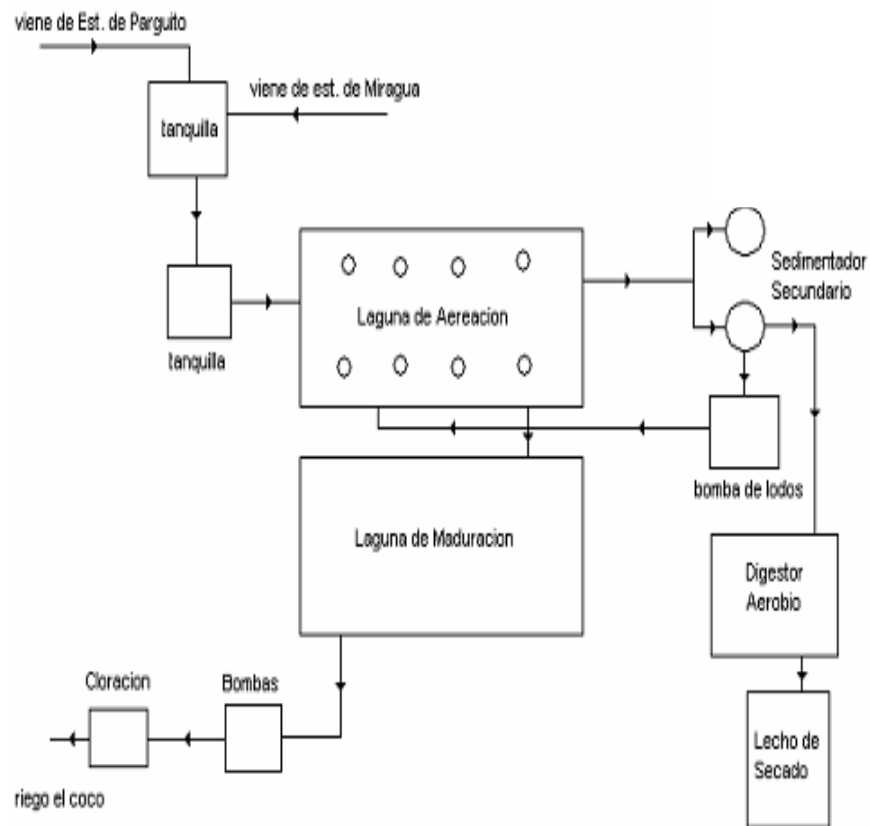


Figura 3.2 diagrama de la planta de tratamiento Aricagua Terminada.

3.2 Situación actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Aricagua.

En la actualidad el sistema de tratamiento de aguas servidas Aricagua, se encuentra en un estado de colapso en gran parte de su estructura. A continuación se mostrará, las principales características de la situación.

- ♣ Una de las bombas de impulsión no funciona por lo que sobrecarga la que se encuentra en funcionamiento.



Fig. a



Fig. b

Figura 3.3) a y b. Bombas de impulsión de las aguas tratadas

- ♣ Cuando no hay electricidad, los aireadores dejan de funcionar ya que la planta de energía existente se encuentra dañada.



Fig a.



Fig b.

Figura 3.4 a. y b. Aireadores apagados por falta de electricidad.

- ♣ La tanquilla de entrada a la laguna de aireación presenta gran cantidad de sólido.



Fig a.



Fig b.

Figura 3.5) a. y b. Tanquilla de entrada.

- ♣ La tanquilla salida del agua ya tratada no presenta los resultados esperados.



Fig a.



Fig b.

Figura 3.6) a. y b. Tanquilla de salida.

- ♣ La laguna de aireación por lo general en temporadas vacacionales o de lluvia presenta desbordamiento.



Fig a.



Fig b.



Fig c.



Fig d,

Figura 3.7) a., b., c., y d. Laguna de aireación desbordada.

- ♣ La laguna de oxidación presenta saturación de sólidos en la superficie.

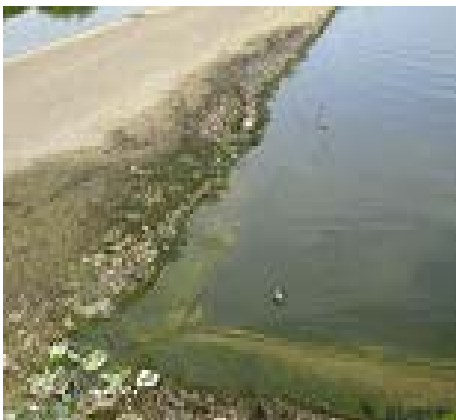


Fig a.



Fig b.



Fig c.



Fig d.



Fig e.

Figura 3.8) a., b., c., d. e. Sólidos en la laguna de oxidación.

- ♣ El tanque utilizado para la desinfección con hipoclorito de calcio del agua, se encuentra en presencia abundante de sólidos.



Fig a.



Fig b.

Figura 3.9) a. y b. Sólidos en el tanque de desinfección.

- ♣ Por el desbordamiento de las lagunas, el agua llega hasta la entrada de la planta.



Fig a.



Fig b.

Figura 3.10) a. y b. Entrada de la planta.

3.3 Desarrollo del trabajo.

3.3.1 Revisión bibliográfica y recopilación de información del funcionamiento de la planta.

En esta fase del trabajo se procedió a la búsqueda de información sobre el tratamiento de aguas residuales y sus principales características, en libros, tesis e internet; así como todo lo relacionado a lagunas de oxidación, como también todo aquello que se relacione con los parámetros de un agua residual cruda y tratada, medidores de caudales, calculo de poblaciones entre otros.

También se realizaron visitas a la planta de tratamiento para observar su estado actual, a instituciones públicas como el Ministerio del Ambiente, específicamente la Unidad Ejecutora de la Ley de Saneamiento Ambiental (UESA), por ser el ente encargado de llevar el control del proyecto, para la recopilación de información sobre el proyecto original de la planta, e Hidrocaribe del Estado Nueva Esparta, por ser este el ente encargado del control de la calidad de tratamiento de la plantas de tratamiento, entre ellas la de “Aricagua”, con el fin de obtener información sobre la misma. Al mismo tiempo se visitó el Centro Regional de Investigación Ambiental (CRIA) ubicado en la Universidad De Oriente Núcleo Nueva Esparta, el cual fue el laboratorio encargado de las pruebas ambientales de las aguas residuales, para la búsqueda de los tipos de procedimientos, que serán puestos en practica en el transcurso de este trabajo.

3.3.2 Caracterización de las corrientes de entrada y de salida del sistema de tratamiento.

En esta fase del trabajo se realizó un plan de muestreo, en el cual, se tomaron muestras de aguas residuales, en diversos puntos de la planta de tratamiento “Aricagua”. Entre esos puntos, se encuentran, la entrada a la laguna aireada, la transición entre la laguna aireada y la de maduración, y en la salida de la laguna de maduración.

La recolección de muestras se realizó durante todo un año, abarcando así, las temporadas vacacionales el verano y el invierno. Este período de captación de muestras se ejecutó durante todo este tiempo, para ir en conjunto con la captación realizada por el CRIA, y obtener así una mejor muestra representativa.

Las muestras fueron tomadas un (1) día de cada mes, teniendo un intervalo de tiempo de una (1) hora por cada recolección. La primera muestra, fue tomada en septiembre del 2008 y la última en septiembre del 2009.

Todas las muestras de agua residual, se tomaron, utilizando envases plásticos de un litro (1 L), excepto para la determinación de los coliformes totales y fecales; en estos casos se utilizaron envases de vidrio con una capacidad de 500 ml, previamente esterilizados en un autoclave, luego de este procedimiento, dichas muestras fueron refrigeradas a una temperatura entre 4 a 0 °C.

En sitio, se realizó la medición de los parámetros físicos, tales como: conductividad, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y pH. Para obtener el valor de estos parámetros, se utilizó una sonda multiparamétrica YSI 600R, acoplada a un

capturador de datos YSI 650DMS; todo esto fué realizado en cada uno de los puntos de muestreo descritos anteriormente.

Para la determinación de los estudios de laboratorio, como son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), los Cloruros, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Solidos Disueltos Totales (SDT) y los Solidos Totales (ST); se utilizó las técnicas descritas en el Standars Methods for Examination of Water and Wastewater [5], y para obtener el valor del número de Coliformes Totales y Fecales, se realizó utilizando la técnica de filtración por membrana, según lo descrito en los Standars Methods.[5]

3.3.3 Estimación de la población futura.

Para la realización de la estimación de la población futura, se tomaron como datos de referencia, los resultados de los censos de 1981, 1990 y 2001, el cual, se obtuvieron por medio de visitas a la alcaldía del municipio y por medio del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), dando como resultado los siguientes valores:

Tabla 3.3 Datos de Censos Poblacionales.

Censo	1981	1990	2001
Municipio Antolín del Campo	10.650 hab	14.233 hab	20.325 hab

Con estos datos obtenidos, se calculó la proyección de la población para los años 2009 y 2025, éste último se considera como fecha tope para lograr así un horizonte de diseño de dieciséis (16) años. Para lograr esta proyección se utilizaron

los tres métodos conocidos para la estimación de la población futura, los cuales son: método lineal, método geométrico y método logarítmico.

3.3.3.1 Cálculo de la población actual por medio de censos.

3.3.3.1.1 Método lineal.

Para el cálculo por medio de este método se utilizó la ecuación 2.29, la cual es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + K_a \times (T_f - T_{uc})$$

Para el cálculo de la variable K_a , se utilizó la ecuación 2.30 donde expresa:

$$K_a = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$$

$$K_a = \frac{20325 - 10650}{2001 - 1981} = 483,75$$

$$P_f = 20325 + 483,75 \times (2009 - 2001) = 24.195 \text{ hab}$$

3.3.3.1.2 Método geométrico.

Para el cálculo de la población actual por medio de este método, se utilizó la ecuación 2.31, la cual expresa lo siguiente.

$$P_f = P_{uc} \times (1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Para el cálculo de la variable “r”, se utilizó la ecuación 2.32, la cual es la siguiente:

$$r = \left[\frac{P_f}{P_{uc}} \right]^{\frac{1}{T_f - T_{uc}}} - 1$$

$$r = \left[\frac{20325}{10650} \right]^{\frac{1}{2001 - 1981}} - 1 = 0,03284$$

$$P_f = 20325 \times (1 + 0,03284)^{2009 - 2001} = 26321 \text{ hab}$$

3.3.3.1.3 Método logarítmico.

Para el cálculo de la población actual por medio de este método, se utilizó la ecuación 2.33, lo cual expresa lo siguiente:

$$\text{Ln}P_f = \text{Ln}P_{ci} + K_g \times (T_f - T_{ci})$$

Para el cálculo de la variable K_g se utilizó la ecuación 2.34, a la cual expresa lo siguiente:

$$K_G = \frac{\text{Ln}P_{cp} - \text{Ln}P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

$$K_{G1} = \frac{\text{Ln } 14233 - \text{Ln } 10650}{2001 - 1990} = 0,03222$$

$$K_{G2} = \frac{\text{Ln } 20325 - \text{Ln } 14233}{2001 - 1990} = 0,03239$$

$$2001 - 1990$$

$$K_G = \frac{K_{G1} + K_{G2}}{2} = \frac{0,03222 + 0,03239}{2} = 0,03231$$

$$P_f = e^{\text{Ln } p_i + K_g (T_f - T_{ci})}$$

$$P_f = e^{\text{Ln } 10650 + 0,03231 (2009 - 1981)} = 26318 \text{ hab}$$

Luego de haberse calculado la población actual por medio de los métodos anteriores, se realizó un promedio entre ellos, para obtener un valor del número de habitantes para el 2009, más ajustado a la realidad.

$$P_f = \frac{26318 + 26321 + 24195}{3} = 25611 \text{ hab}$$

3.3.3.2 Cálculo de la población actual por medio de aforos.

Con los datos obtenidos de los aforos realizados a la planta, el cual fueron estimados por medio del bombeo de las estaciones Miragua y Parguito, se cálculo la cantidad de habitantes en el municipio, tanto en temporadas altas como en las bajas, para así, compararlos con los datos obtenidos por medio de censos. El cálculo realizado se hizo de la siguiente manera:

	Normal (m ³)	Temporada (m ³)
Planta Aricagua	3456	3456
Estación Miragua	2673	3861
Estación Parguito	2376	2970

Tabla 3.4. Volumen de agua diario de entrada y salida de la planta.

$$\text{Dot.}_{AN} = \text{Dot.}_{AB} \times R$$

Donde:

Dot._{AN} = Dotación de aguas negras.

Dot._{AB} = Dotación de agua blanca (potable)

R = factor de retorno, 0,8 que significa el 80% del agua potable que retorna a la red de aguas servidas.

$$\text{Dot.}_{AN} = (250 \text{ L/día} \times \text{hab}) \times 0,8 = 200 \text{ L/día} \times \text{hab} = 0,20 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{hab}$$

Con los datos obtenidos en los aforos realizados, y reflejados en el anexo D, se promediaron los volúmenes diarios de las estaciones de bombeo Miragua y Parguito, para así realizar el cálculo de habitantes promedios.

Los valores de caudal que entra a la planta tanto en temporada como fuera de ella, son controlados por las estaciones de bombeo, esto según información de Hidrocaribe.

Dividiendo el caudal de entrada a la planta, a través de las estaciones de bombeo, entre la dotación diaria teórica de aguas servidas, se obtendrá el número de habitantes servidos.

➤ Estación Miragua.

- Temporada baja (normal)

$$\frac{2673 \text{ m}^3/\text{dia}}{0,2 \text{ m}^3/\text{dia} \times \text{hab}} = 13365 \text{ hab}$$

- Temporada alta.

$$\frac{3861 \text{ m}^3/\text{dia}}{0,2 \text{ m}^3/\text{dia} \times \text{hab}} = 19305 \text{ hab}$$

➤ Estación Parguito.

- Temporada baja (normal)

$$\frac{2376 \text{ m}^3/\text{dia}}{0,2 \text{ m}^3/\text{dia}\times\text{hab}} = 11880 \text{ hab}$$

- Temporada alta.

$$\frac{2970 \text{ m}^3/\text{dia}}{0,2 \text{ m}^3/\text{dia}\times\text{hab}} = 14850 \text{ hab}$$

Para calcular el número total de habitantes del municipio, los resultados obtenidos anteriormente, se suman tanto en temporada baja como en las altas.

$$\text{Hab}_{\text{temp. baja}} = 13365 + 11880 = 25245 \text{ hab}$$

$$\text{Hab}_{\text{temp. alta}} = 19305 + 14850 = 34155 \text{ hab}$$

3.3.3.3 Cálculo de la población futura.

Con los datos obtenidos en los censos anteriores y el promedio de la población actual (por censos y aforos), se realizó la estimación de la población futura, de la misma manera que se realizó en la sección 4.3.1, con la excepción de que el horizonte de diseño fue para el año 2025.

Promedio de la población actual:

$$P_{\text{actual}} = \frac{25611 + 25245}{2} = 25428 \text{ hab}$$

3.3.3.3.1 Método lineal.

$$K_a = \frac{25428 - 10650}{2009 - 1981} = 527,79$$

$$P_f = 25428 + 527,79 \times (2025 - 2009) = 33.873 \text{ hab}$$

3.3.3.3.2 Método geométrico.

$$r = \left[\frac{25428}{10650} \right]^{\frac{1}{2009 - 1981}} - 1 = 0,03157$$

$$P_f = 25428 \times (1 + 0,03157)^{2025 - 2009} = 41811 \text{ hab}$$

3.3.3.3 Método logarítmico.

$$K_{G1} = \frac{\text{Ln } 14233 - \text{Ln } 10650}{1990 - 1981} = 0,03222$$

$$K_{G2} = \frac{\text{Ln } 20325 - \text{Ln } 14233}{2001 - 1990} = 0,03239$$

$$K_{G3} = \frac{\text{Ln } 25428 - \text{Ln } 20325}{2009 - 2001} = 0,0280$$

$$K_G = \frac{K_{G1} + K_{G2} + K_{G3}}{3} = \frac{0,03222 + 0,03239 + 0,0280}{3} = 0,03087$$

$$P_f = e^{\text{Ln } 10650 + 0,03087 (2025 - 1981)} = 41423 \text{ hab}$$

Luego de haberse calculado la población futura por medio de los métodos anteriores, se realizó un promedio entre ellos, para obtener un valor del número de habitantes para el 2025, mas ajustado a la realidad.

$$P_f = \frac{33873 + 41811 + 41423}{3} = 39037 \text{ hab}$$

3.3.4 Determinación de la eficiencia de tratamiento de la planta.

Para la determinación de la eficiencia de la planta de tratamiento Aricagua, se procedió a realizar el cálculo, para cada uno de los días de muestreo, se utilizó la ecuación 2.35:

$$E = \left[\frac{S_o - S}{S_o} \right] \times 100$$

Como ejemplo, para el día 25 de Septiembre del 2008, la eficiencia del sistema, en la remoción de la DBO, fue la siguiente:

$$E_{DBO} = \left[\frac{265 - 20}{265} \right] \times 100 = 89.43 \%$$

Este mismo procedimiento se realizó para el cálculo de la eficiencia del sistema, con respecto a la remoción de los sólidos suspendidos totales y los sólidos totales. Como ejemplo, para el día 25 de Septiembre del 2008, la eficiencia del sistema, en la remoción de los sólidos suspendidos totales, fue la siguiente:

$$E_{SST} = \left[\frac{189 - 74}{189} \right] \times 100 = 60.85 \%$$

Para el mismo día, 25 de Septiembre del 2008, la eficiencia del sistema, en la remoción de los sólidos totales, fue la siguiente:

$$E_{ST} = \left[\frac{1752 - 1454}{1752} \right] \times 100 = 17 \%$$

La eficiencia del sistema, tanto como en la remoción de la DBO como los sólidos suspendidos totales, para el resto de los días de muestreo, están representados en el anexo E.

3.3.5 Revisión del proyecto original de construcción de la planta de tratamiento.

En esta parte de proyecto se procedió a la búsqueda de información acerca del proyecto original sobre la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales Aricagua, realizando visitas a las oficinas de Hidrocaribe, del estado Nueva Esparta, y en el departamento de la Unidad Experimental de Saneamiento Ambiental (UESA) del Ministerio del Ambiente ubicado en la ciudad de La Asunción, Capital del Estado.

En estas visitas se obtuvieron planos y parámetros de diseño original de la planta para un horizonte de diseño hasta el año 2015, obteniendo información de que la construcción de la ya nombrada planta se dividió en dos etapas por razones económicas, donde la primera etapa, con un horizonte de diseño hasta el 2005, se ignoró en el año 1998, quedando como lapso de tiempo para que la primera etapa construida cumpliera con su período para la cual fue diseñada de solo siete (7) años; y la segunda etapa actualmente no ha empezado su construcción para cumplir con el proyecto del diseño original de la planta.

3.3.6 Investigación las tecnologías existentes en el mercado, para mejorar la eficiencia de la Planta de Tratamiento Aricagua.

En esta parte del proyecto se procedió a la búsqueda de información de tecnologías existentes que mejor se adapten a sistemas de lagunas aereadas, por medio de la Internet; como ejemplo se realizó la búsqueda de aereadores flotantes de las mismas características de los ya existentes que se encuentran dañados, que actualmente existen en el mercado, así como también un sistema de rejillas, para ser colocados directamente en la planta, independientes de las que existen en las estaciones de bombeo, para así mejorar la retención de sólidos. También se buscaron algunos tipos de tratamientos con lagunas, para revisar si es factible agregarlo al sistema de tratamiento que existe actualmente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados.

Para el este capitulo se analizaron los resultados obtenidos en la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales Aricagua, tales como los parámetros físico-químicos del agua residual cruda (afluente) y del agua residual tratada (efluente), así como la población servida y la eficiencia del sistema.

4.1.1 Caracterización de las corrientes de entrada y de salida del sistema de tratamiento.

Luego de haber obtenido los resultados, en sitio, así como en el laboratorio, de los análisis físico-químicos y bacteriológicos, tanto en el afluente, como en el efluente, se procedió a ser comparados con los valores anunciados por la gaceta oficial de la República de Venezuela N° 5021 [1] en los artículos No: 6,7, 10 y 16. Los resultados obtenidos en esta parte del proyecto, son ilustrados en el anexo A.

Nitrógeno y fosforo: Estos parámetros al igual que los metales pesados no fueron calculados, puesto que el Centro Regional de Investigación Ambiental (CRIA) no los realiza

Conductividad: Los valores promedios de conductividad en el afluente, como en el efluente, fueron 2187,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2353,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente

Temperatura: Los valores promedios de temperatura en el afluente, como en el efluente, fueron 30,20 °C y 30,02 °C respectivamente

pH: Los valores promedios del pH en el afluente, como en el efluente, fueron de de 7,06 y 7,73 respectivamente. Y el rango establecido por las normas para aguas tipo 2, sub-tipo 2B, es entre 6,5 a 8,5; es decir que los valores obtenidos están dentro del rango señalado por las normas.

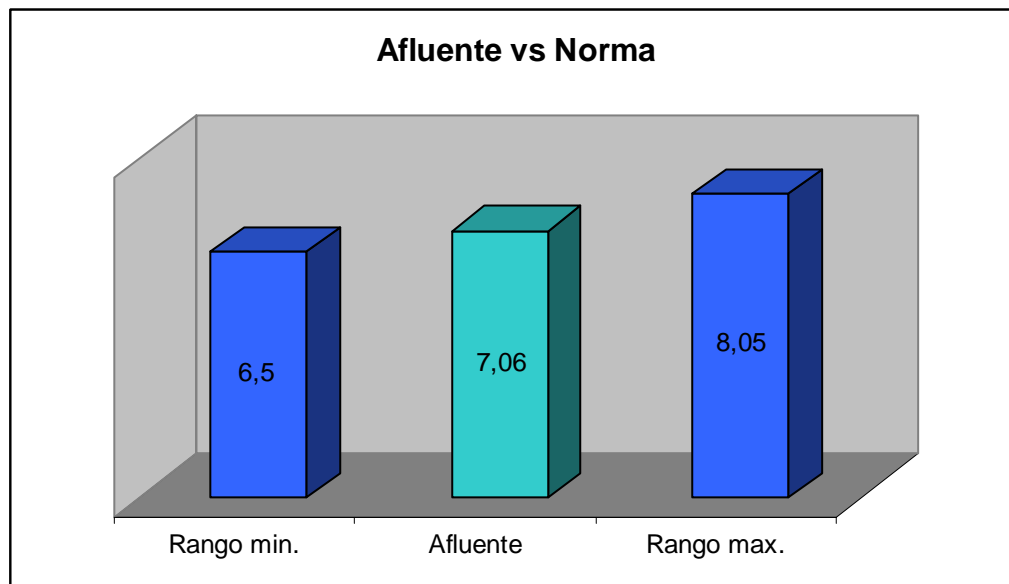


Fig. 4.1 Comparación del valor de pH (afluente) con los valores de la norma

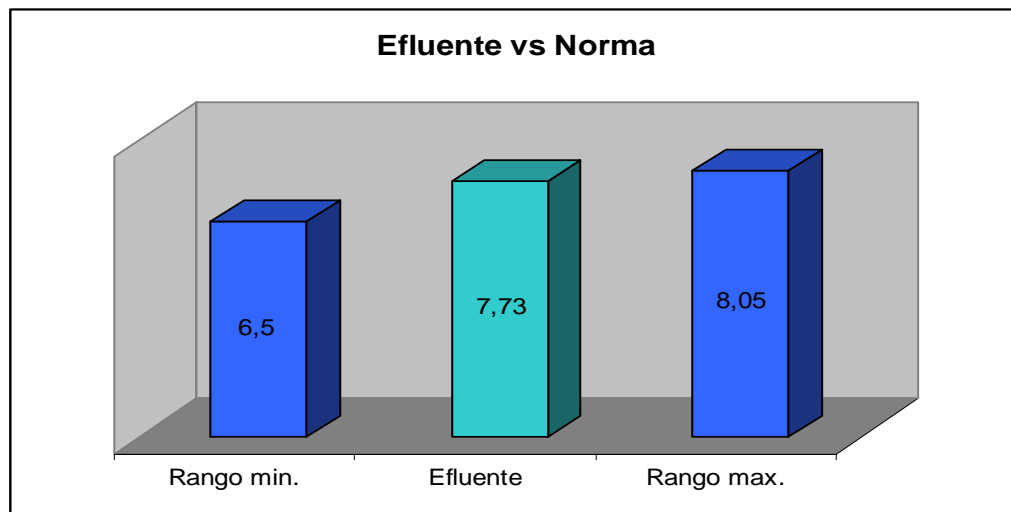


Fig. 4.2 Comparación del valor de pH (Efluente) con los valores de la norma

Oxígeno disuelto (OD): Los valores promedios del oxígeno disuelto en el afluente, como en el efluente, fueron de de 2,29 mg/L y 6,36 mg/L respectivamente. Y el rango establecido por las normas en su artículo 10, tiene que ser mayor a 4 mg/L en el efluente; es decir que el valor obtenido en la salida de la planta, está dentro del rango señalado por las normas.

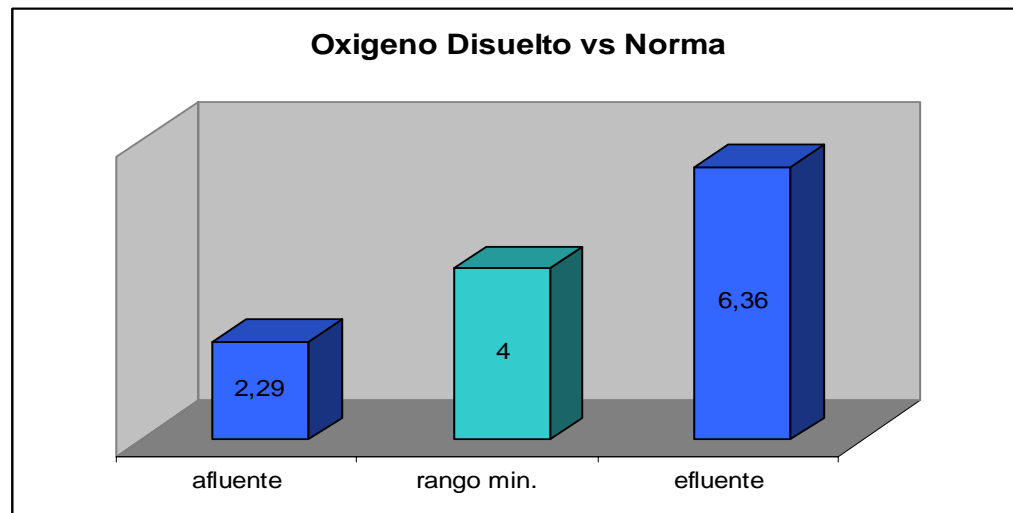


Fig. 4.3 Comparación oxígeno disuelto con el valor establecido por la norma

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Los valores promedios de la DBO en el afluente, como en el efluente, fueron de de 242,92 mg/L y 68,38 mg/L respectivamente. Y el rango establecido por las norma en su artículo 10 tiene que ser menor a 60 mg/L en el efluente; es decir que el valor obtenido en la salida de la planta, está por encima del rango señalado por las normas.

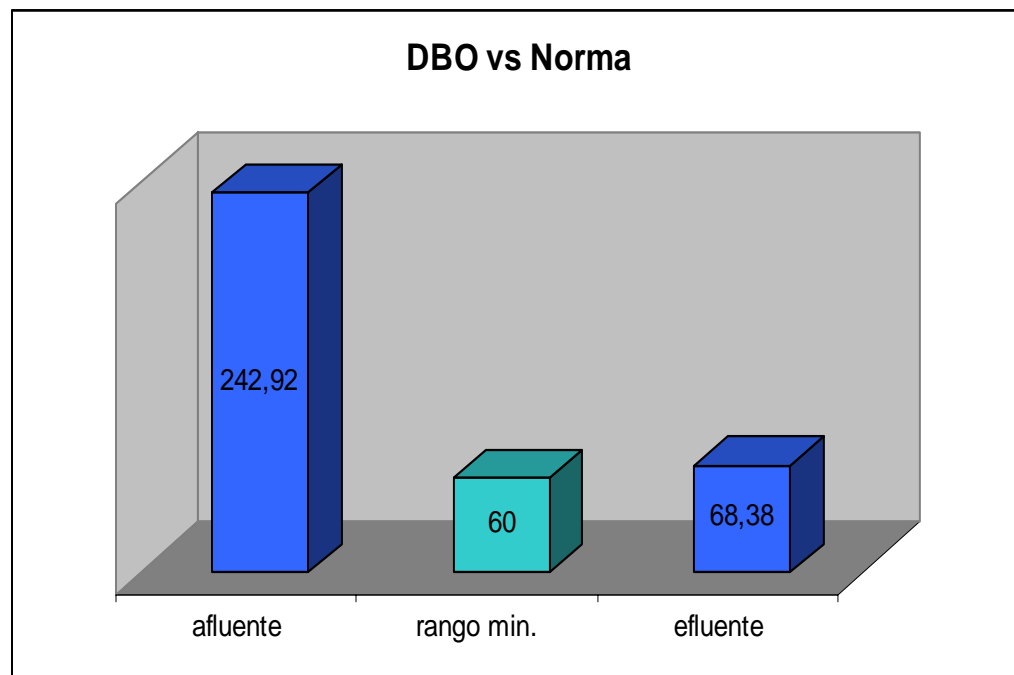


Fig. 4.4 Comparación de la DBO con el valor establecido por la norma

Sólidos Suspendidos Totales. Los valores promedios de los Sólidos Suspendidos en el afluente, como en el efluente, fueron de de 130,23 mg/L y 88,85 mg/L respectivamente. Y el rango establecido por las normas en su artículo 10 tiene que ser menor a 80 mg/L en el efluente; es decir que el valor obtenido en la salida de la planta, está por encima del rango señalado por las normas.

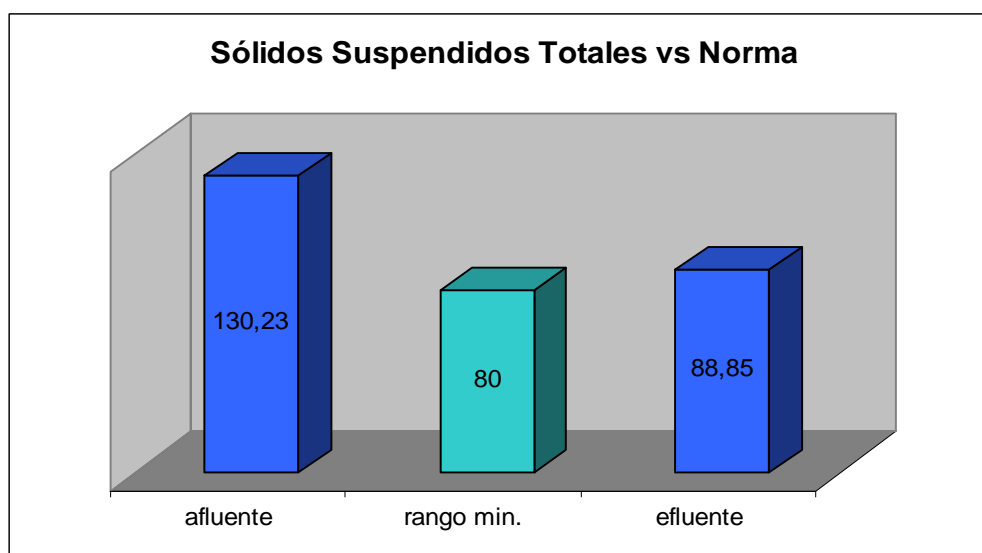


Fig. 4.5 Comparación SST con el valor establecido por la norma

Sólidos Disueltos Totales. Los valores promedios de los Sólidos Disueltos Totales en el afluente, como en el efluente, fueron de de 1463,69 mg/L y 1280,69 mg/L respectivamente. Y el rango establecido por las normas en su artículo 10 es igual a 3000 mg/L en el efluente; es decir que el valor obtenido en la salida de la planta, está por debajo del rango señalado por las normas.

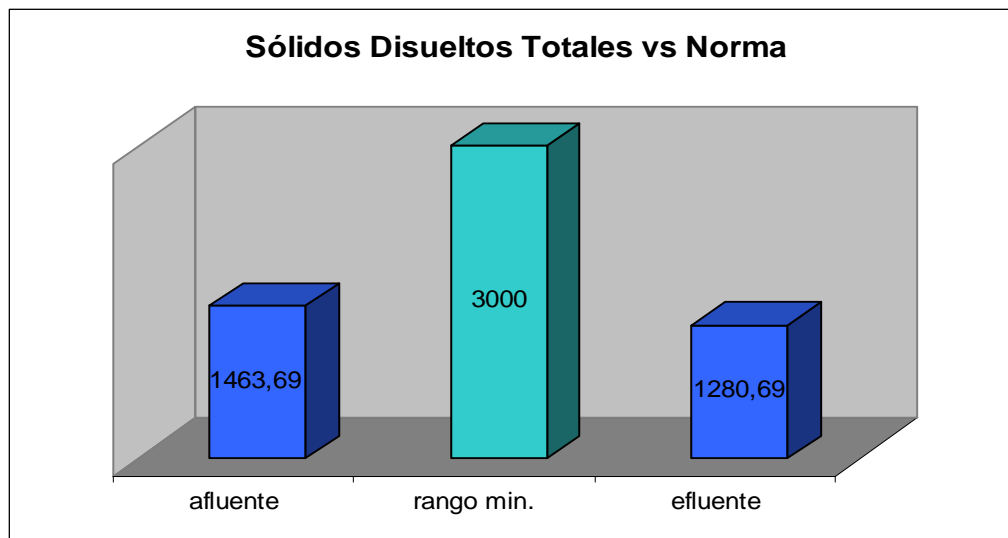


Fig. 4.6 Comparación SDT con el valor establecido por la norma.

Sólidos Totales. Los valores promedios de sólidos totales en el afluente, como en el efluente, fueron 1742,85 mg/l y 1481 mg/l respectivamente.

Cloruros. Los valores promedios de los Cloruros en el afluente, como en el efluente, fueron de de 335,92 mg/L y 333,46 mg/L respectivamente. Y el rango establecido por las normas en su artículo 10, tiene que ser menor a 1000 mg/L en el efluente; es decir que el valor obtenido en la salida de la planta, está por debajo del rango señalado por las normas.

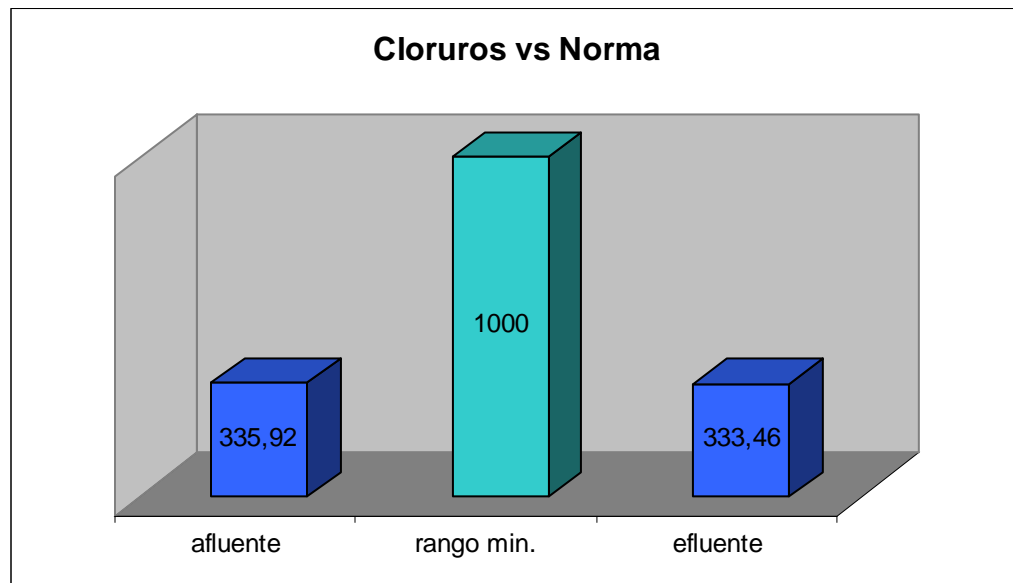


Fig. 4.7 Comparación cloruros con el valor establecido por la norma.

Coliformes Totales. Los valores promedios de los Coliformes Totales en el afluente, como en el efluente, fueron de de $2,36 \times 10^8$ NMP/100ml y $1,46 \times 10^4$ NMP/100ml respectivamente. Y el rango establecido por las normas por las normas en su artículo 10, tiene que ser promedio mensual menor a 5000 NMP/100 ml en el efluente; es decir que el valor obtenido en la salida de la planta, está muy por encima del rango señalado por las normas.

Coliformes Fecales. Los valores promedios de los Coliformes Fecales en el afluente, como en el efluente, fueron de $6,23 \times 10^7$ NMP/100ml y $2,03 \times 10^4$ NMP/100ml respectivamente. Y el rango establecido por las normas por las normas en su artículo 10, tiene que ser promedio mensual menor a 1000 NMP/100 ml en el efluente; es decir que el valor obtenido en la salida de la planta, está por encima del rango señalado por las normas.

Se acota que el estos valores obtenidos de Coliformes Totales y Fecales fueron obtenidos sin pasar la muestra por el proceso de cloración, pues éste ya estaba fuera de funcionamiento al momento de iniciar el proceso de muestreo.

4.1.2 Estimación de los caudales de aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento.

La planta de tratamiento de aguas residuales Aricagua, fue diseñada para un horizonte de diseño hasta el año 2015, para servir a una población de 100.000 habitantes y un caudal máximo de entrada a la planta de 300 l/seg. Por factores económicos se construyó una primera etapa con un horizonte de diseño hasta el año 2005 para servir a una población de 20.000 habitantes y con un caudal máximo de entrada de 50 L/seg. En la actualidad se encuentra en funcionamiento solo la primera etapa construida en la cual su umbral de diseño ya se cumplió.

En este trabajo de investigación se realizaron ciertos cálculos sobre la población a servir para los años 2005 cuyo resultado fue de 22.837 habitantes, para el año 2009 cuyo resultado fue de 25.428 habitantes, para el 2015 cuyo resultado fue 30.079 habitantes y para el 2025 cuyo resultado fue 39.037 habitantes. Para el cálculo del caudal teórico por medio de la población, se utilizó una dotación de 250 L/hab/día y un factor de retorno de 0.8 cuyos resultados fueron los siguientes: para el año 2005 un

caudal medio (Q_{med}) de 52.86 L/seg, y un caudal máximo (Q_{max}) de 137.17 L/seg; para el año 2009 un caudal medio (Q_{med}) de 58.86 l/seg y un caudal máximo (Q_{max}) de 150 L/seg; para el año 2015 un caudal medio (Q_{med}) de 66.42 L/seg y un caudal máximo (Q_{max}) de 172.4 L/seg y para el año 2025 un caudal medio (Q_{med}) de 90.36 l/seg y un caudal máximo (Q_{max}) de 213.81 L/seg.

Por medio de aforos se determinó el caudal de entrada a la planta en el año 2009, cuyo resultado fue de 58.44 l/seg. Que comparado con el caudal medio teórico en dicho año nos indica que la estimación de la población tiene un margen de error de 0.7 %.

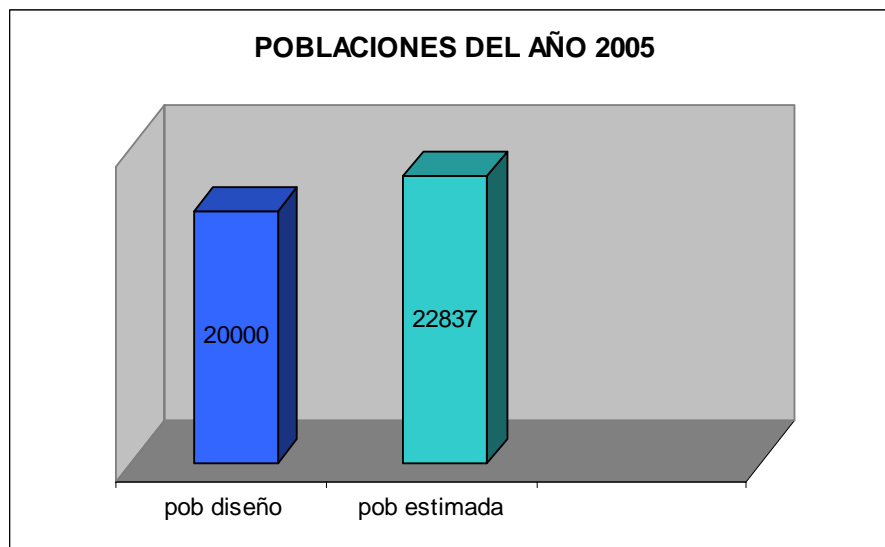


Fig. 4.8 Población teórica y de diseño del año 2005

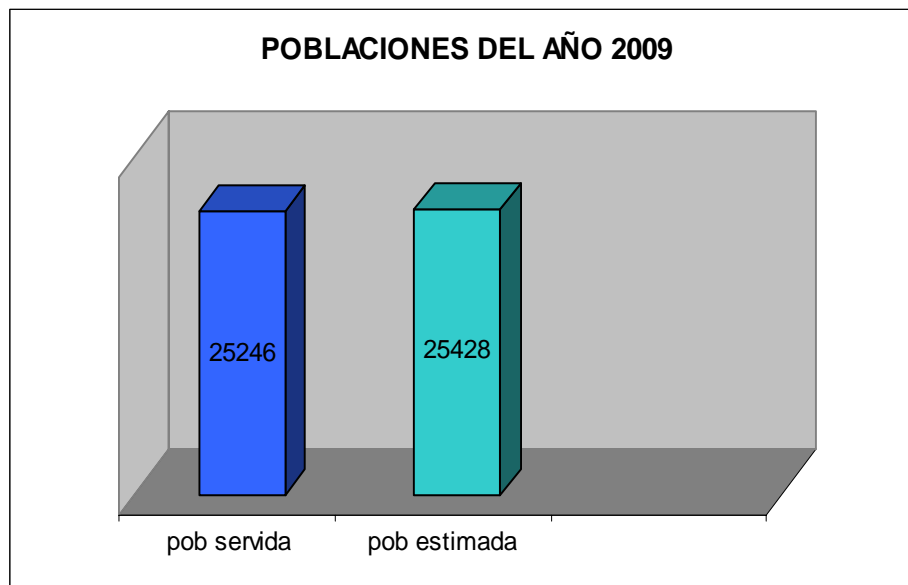


Fig. 4.9 Población servida y estimada del año 2009

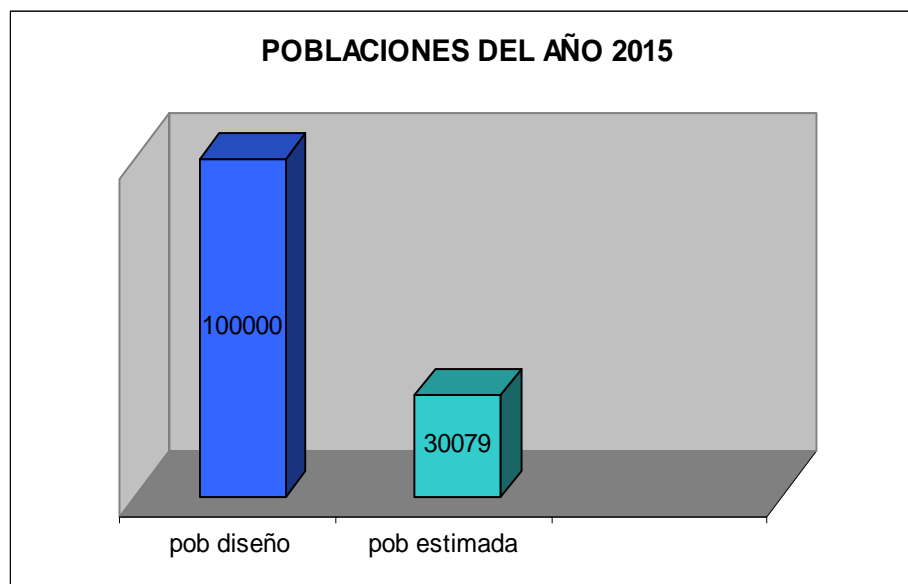


Fig. 4.10 Población teórica y estimada del año 2015

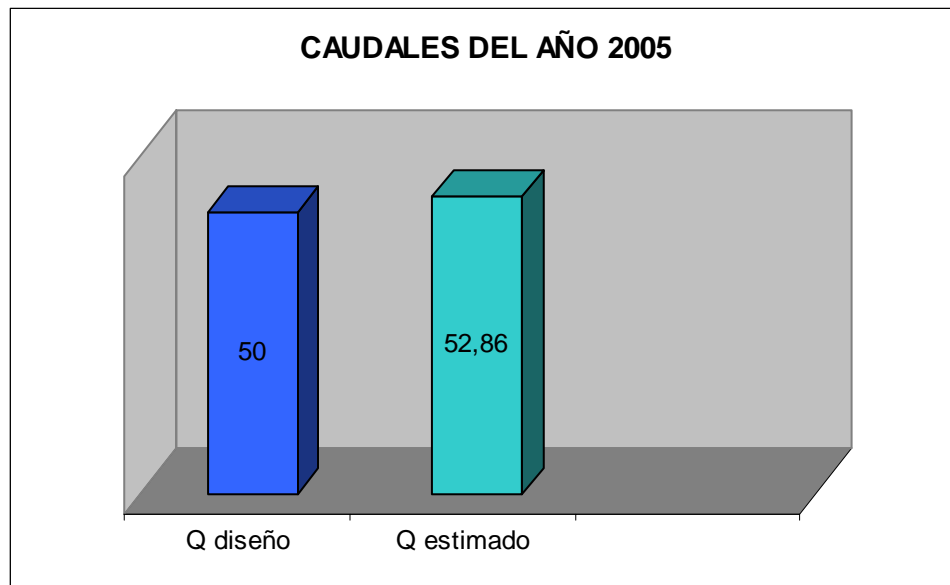


Fig. 4.11 Caudal de diseño y estimado del año 2005

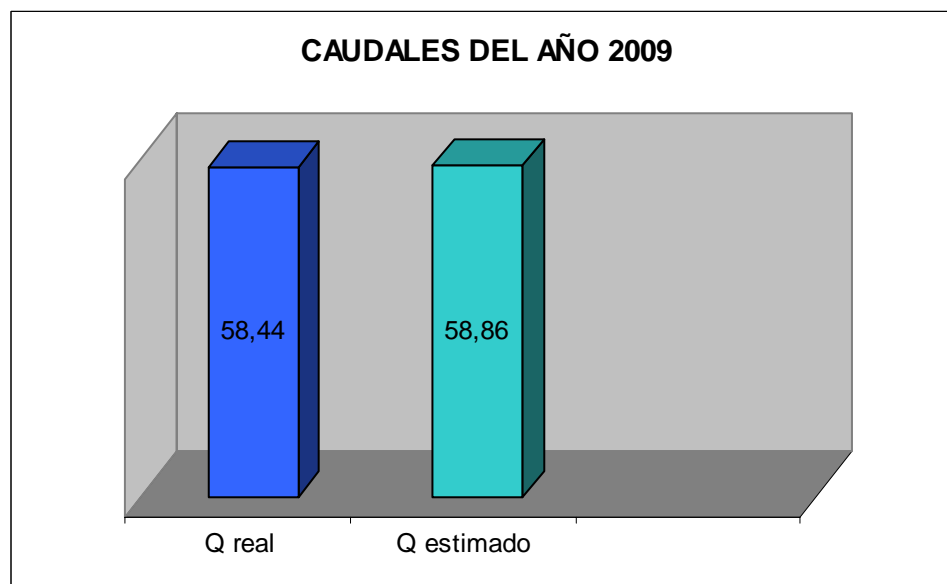


Fig. 4.12 Caudal real y estimado del año 2009

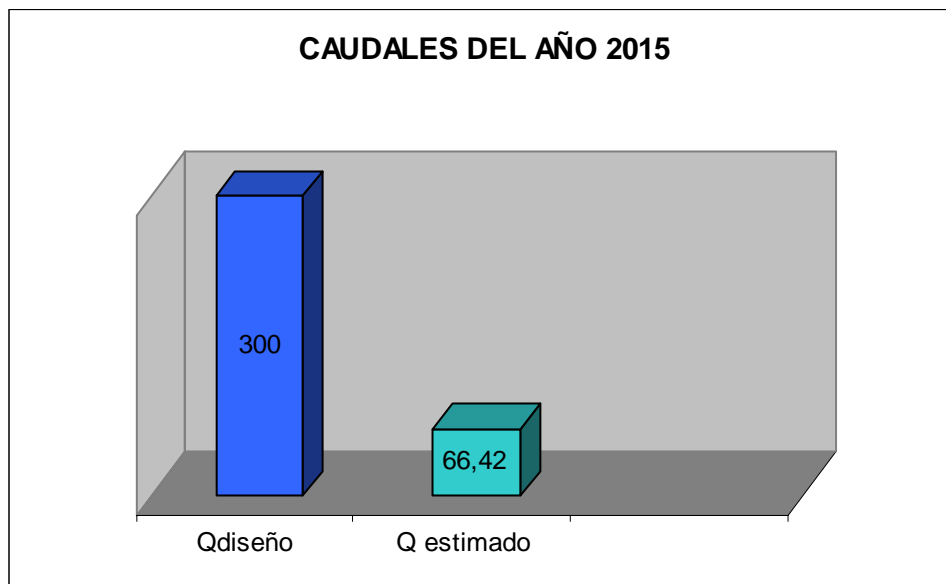


Fig. 4.13 Caudal de diseño y estimado del año 2015

4.1.3 Eficiencia del sistema.

Después de realizar el cálculo de la eficiencia, en el efluente, para los distintos parámetros físico-químicos, dió como resultado los siguientes valores:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: 81.18%

Sólidos Suspendidos Totales: 34.78%

Sólidos Totales: 14.52%

Sólidos Disueltos Totales: 12.34%

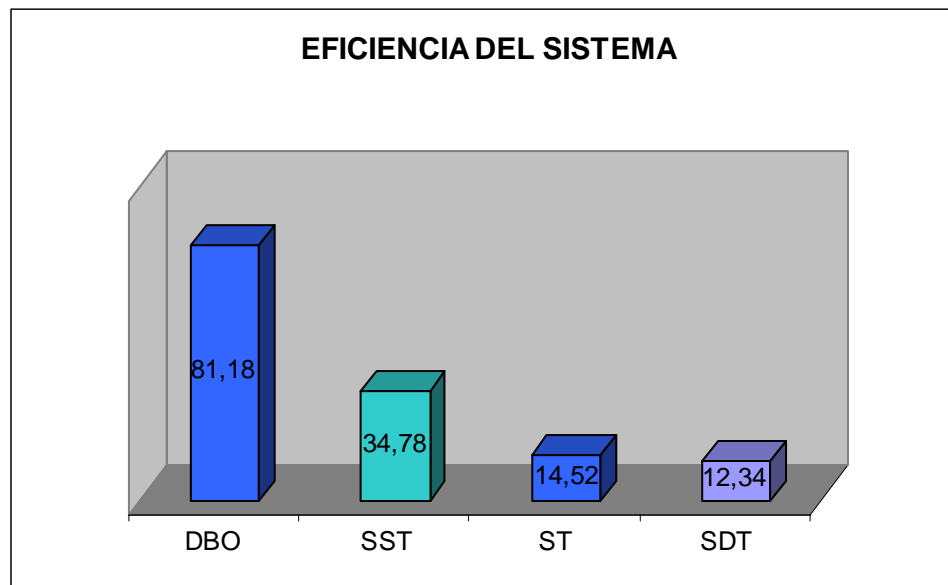


Fig. 4.14 Eficiencia del sistema

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

1. La planta de tratamiento fue diseñada para una población de 100.000 habitantes, sin embargo la primera etapa construida y actualmente en funcionamiento, cubre una población de diseño de 20.000 habitantes según información suministrada por la Unidad Ejecutora de Saneamiento Ambiental (UESA), con un umbral hasta el 2005, el cual, para ese año la población era de 20.325 habitantes. Actualmente la población es de 24.193 habitantes, aunque esta cifra varía en temporadas vacacionales, aumentando hasta en un 30%; la cifra que excede la capacidad de la primera etapa.

2. El efluente del sistema de tratamiento presentó los siguientes valores físico-químicos promedios: el pH el valor fue de 7.73, el valor de DBO fue 68.38 mg/l, el OD el valor fue de 6.36 mg/l, el SST el valor fue de 88.85 mg/l, el ST el valor fue de 1481.85 mg/l, el SDT el valor fue de 1280.69 mg/l, el cloruro el valor fue de 333.46 mg/l. Según la norma [1], los valores de DBO, SST y OD están por encima del límite máximo establecido, lo que significa que la planta no está cumpliendo con el proceso de remoción de la carga orgánica.

3. Los valores bacteriológicos obtenidos en los estudios del laboratorio de Coliformes Fecales y Totales en el efluente fueron de 2.03×10^4 NMP/100 y 1.46×10^4 NMP/100 respectivamente, donde cada valor excede notablemente el valor permitido

por la norma [1]. Debido a que la muestra no paso por un proceso de cloración, ya que se encuentra fuera de funcionamiento.

4. En la eficiencia del sistema de tratamiento para la DBO fue de 81.18%, para los SST de 34.78%, para los SDT de 12.75%, para los ST de 14.06%, midiendo estos valores en función de eficiencia, estos valores son muy deficiente para el sistema de tratamiento además de no cumplir con las normas sanitarias venezolanas.

5. Según los valores obtenidos en los estudios físicos-químicos y bacteriológicos muestran que el sistema de tratamiento, de aguas servidas está trabajando en condiciones poco óptimas con respecto a la eficiencia. Debido a que los resultados obtenidos, sobre todo en materia de sólidos, están muy por debajo del limite esperado en remoción de sólidos.

6. El valor de la eficiencia en la remoción de la DBO fue de 81,18%, aunque es notable que esta funcionando el sistema en este aspecto, se necesita aumentar la eficiencia en la eliminación de la DBO, para que el agua residual tratada, sea reutilizable.

7. Las lagunas de oxidación y maduración en temporadas vacacionales, se colapsan (se desbordan), debido a que el sistema de bombeo hacia el tanque de almacenamiento, ubicado en el cerro el coco, solo funciona una sola bomba de dos que deberían estar operativas.

8. De los ocho (8) aireadores de la laguna de aireación, solo están funcionando dos (2), lo que genera, que la inyección de oxígeno a la laguna, sea insuficiente, ocasionando así, que la eliminación de la DBO, sea menor de la esperada.

9. La trampa de sólidos (rejillas), se encuentra en las estaciones de bombeo, y son muy grandes, debido a esto esta pasando una gran cantidad de sólidos hacia la planta de tratamiento.

10. La planta eléctrica de emergencia, se encuentra fuera de funcionamiento, es decir, que en el momento que no exista suministro de electricidad, la planta de tratamiento deja su funcionamiento por el tiempo que no exista ya nombrado suministro eléctrico.

11. El sistema de cloración no funciona, por lo que se esta suministrando agua para riego de cultivos y ornamento sin clorar, con un alto grado de contaminación a lo que en bacterias se refiere.

12. Desde su puesta en funcionamiento, la planta de tratamiento de aguas residuales Aricagua, no se le ha realizado ningún tipo de limpieza en sus lagunas, lo que nos hace deducir, que el fondo de estas lagunas tiene una capa considerable de lodos, debido a que no existen sedimentadores, ni lechos de secados en el sistema, y todo el lodo generado, se queda estancados en las lagunas

13. El Centro Regional de Investigaciones Ambientales (CRIA), como ente encargado de realizarles las pruebas de laboratorios correspondientes a el agua residual cruda, y el agua residual ya tratada; no realizan estudios de fósforo, nitrógeno y metales pesados, siendo estos un parámetro importante en las aguas tipo II, sub-tipo 2B, que son aguas destinadas al riego de cultivos comestibles.

5.2 Recomendaciones.

1. Realizar una limpieza con un camión tipo vacuum, en el fondo de las lagunas, para lograr así una disminución de la capa de lodos acumulados en el trayecto de 12 años de tiempo de funcionamiento de la planta.

2. Culminar el proyecto original, construyendo los sedimentadores, retornando una los lodos, construir el digester aerobico y un lecho de secado.

3. Limpiar los alrededores de toda la planta (eliminación de vegetación herbácea)

4. Reparar, o sustituir el generador de electricidad de emergencia, para evitar que en los momentos que falle el suministro eléctrico, el proceso de tratamiento de la planta, no pare su funcionamiento.

5. Reparar el sistema de cloración o sustituir por uno que garantice que la dosificación de cloro se el adecuado y constante.

6. Suministrar una bomba centrifuga de las mismas características de la anterior, y realizarle un mantenimiento a la ya existente, para que el sistema de bombeo hacia el cerro el coco, funcione a su máxima capacidad.

7. Reparar los inyectores de aire de la laguna de aireación, y suministrar los que no tengan reparación, para completar así el número de aereadores para la cual fue diseñada.

8. Realizarle mantenimiento a las rejillas ubicadas en las estaciones de bombeo y adicionar aparte una rejilla de retención de sólidos, en la tanquilla de recepción de las aguas provenientes de las estaciones Miragua y Parguito.

9. Realizar estudios adicionales como los de Nitrogeno, Fosforo y metales pesados, para corroborar si el agua residual tratada, puede ser reutilizada.

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Aguas y Vertidos o Efluentes líquidos. (Decreto 883).(1995, Octubre 11). *Gaceta oficial de la República de Venezuela*, 5021 (Extraordinaria), 18-12-95.
2. Normas Sanitarias para Proyecto, construcción, Reparación, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones.(1988). *Gaceta Oficial de la República de Venezuela*, 4044 (Extraordinaria), 08-09-1988.
3. Normas Sanitarias para el Proyecto, Construcción, Ampliación, Reforma y Mantenimiento de las Instalaciones Sanitarias para Desarrollo Urbanísticos. (1989). *Gaceta Oficial de la República de Venezuela*, 4.103 (Extraordinaria), 02-06-1989.
4. Normas para la elaboración de Proyecto de Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas Urbanas. Volumen III. *Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS)*. Enero. (1976).
5. American Public Health Association; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER RNVIRONMENT FECERATION (APHA-AWWA-WEF): *Standard methods for the Examination of water and wasterwater*. 20th Edition. Washington, USA. (1998).
6. González, Y. y Sánchez, G. (2003). *Evaluación Técnica del proceso anaerobio de la planta de aguas residuales de Guanta*. Tesis de Grado no publicada. Universidad de Oriente, Puerto la Cruz.
7. Bravo, D. (2004). *Análisis preliminar del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas servidas El Maguey*. Tesis de Grado no publicada. Universidad de Oriente, Puerto la Cruz.

8. Paliche, J. y Lopez, J. (2007). *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas servidas de la población de Aragua de Barcelona, Municipio Aragua, Estado Anzoátegui*. Tesis de grado no publicada. Universidad de Oriente, Puerto la Cruz.
9. Rivas, G. (1978). *Tratamiento de Aguas Residuales* (2^{da} ed). Caracas: Ediciones Vega.
10. Metcalf & Eddy. (1998). *Ingeniería de Aguas Residuales* (3^{ra} ed). Madrid: McGraw-Hill.
11. Coliformes. (2009). [Página Web en línea]. Disponible en: //http
www.\WIKIPEDIA\ la enciclopedia libre.htm
12. Virus. (2009).[Página Web en línea]. Disponible en: //http
www.\WIKIPEDIA\ la enciclopedia libre.htm
13. Aguas Negras. (2009). [Página Web en línea]. Disponible en: //http
www.\WIKIPEDIA\ la enciclopedia libre.htm
14. Tratamiento de Agua Residual. (2009).[Página Web en línea]. Disponible en:
//http www.\WIKIPEDIA\ .htm
15. Municipio Antolin del Campo. (2009).[Página Web en línea]. Disponible en:
//http www.\WIKIPEDIA\ .htm

16. Ghanen, A. (1997). *Guía practica para el curso de tratamiento de aguas residuales*, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui

17. Canaleta Parshall. (2009). [Página Web en línea]. Disponible en:

[//http www.google.co.ve/images](http://www.google.co.ve/images)

ANEXOS

ANEXO A

Tabla A.1. Muestreo 1 de fecha: 25/09/2008

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	turbia	Verdosa
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2360	2250
Temperatura	31,25	31,51
pH	7,23	7,74
Salinidad (g/l)	1,21	1,08
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,50	8,36
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($\text{DBO}_{5,20}$)	265	28
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	189	74
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1637	1386
Sólidos Totales (mg/l)	1826	1460
Cloruros (mg/l)	362	336
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	$4,2 \times 10^8$	$3,6 \times 10^5$
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	$1,6 \times 10^8$	$5,3 \times 10^4$

Tabla A.2. Muestreo 2 de fecha: 23/10/2008

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2463	2149
Temperatura	30,56	30,85
Ph	6,97	7,12
Salinidad (g/l)	1,07	0,94
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,48	7,63
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($\text{DBO}_{5,20}$)	259	21
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	170	68
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1469	1204
Sólidos Totales (mg/l)	1639	1272
Cloruros (mg/l)	323	306
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	$4,6 \times 10^8$	$3,8 \times 10^5$
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	$2,1 \times 10^8$	$5,8 \times 10^5$

Tabla A.3. Muestreo 3 de fecha: 20/11/2008

PARAMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2363	2259
Temperatura	31,25	30,45
Ph	7,32	8,01
Salinidad (g/l)	1,24	1,10
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,52	8,30
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($\text{DBO}_{5,20}$)	260	30
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	175	68
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1614	1423
Sólidos Totales (mg/l)	1789	1491
Cloruros (mg/l)	396	414
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	$3,2 \times 10^8$	$2,4 \times 10^5$
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	$4,2 \times 10^8$	$3,1 \times 10^5$

Tabla A.4. Muestreo 4 de fecha: 18/12/2008

PARAMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2564	2375
Temperatura	30,78	29,89
pH	7,12	7,26
Salinidad (g/l)	1,36	1,12
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,63	7,45
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($\text{DBO}_{5,20}$)	277	32
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	184	65
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1587	1456
Sólidos Totales (mg/l)	1771	1521
Cloruros (mg/l)	342	325
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	$3,6 \times 10^8$	$3,3 \times 10^4$
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	$0,8 \times 10^8$	$6,4 \times 10^4$

Tabla A.5. Muestreo 5 de fecha: 15/01/2009

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad (µS/cm)	2150	2445
Temperatura	28,31	28,47
pH	7,28	8,40
Salinidad (g/l)	1,12	1,27
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,90	8,42
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	300	74
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	194	123
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1596	1402
Sólidos Totales (mg/l)	1790	1525
Cloruros (mg/l)	347	363
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	1,7x10 ⁹	1,5x10 ⁵
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	1,1x10 ⁹	3x10 ⁵

Tabla A.6. Muestreo 6 de fecha: 25/02/2009

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad (µS/cm)	2155	2446
Temperatura	29,06	28,89
pH	7,24	8,45
Salinidad (g/l)	1,28	1,14
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,67	7,79
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	303	74
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	189	122
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1602	1400
Sólidos Totales (mg/l)	1791	1522
Cloruros (mg/l)	326	365
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	2,5x10 ⁸	2x10 ⁴
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	1,8x10 ⁸	3,2x10 ⁴

Tabla A.6. Muestreo 6 de fecha: 25/02/2009

Tabla A.7. Muestreo 7 de fecha: 25/03/2009

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad (μS/cm)	2158	2448
Temperatura	30,12	29,78
pH	6,9	7,56
Salinidad (g/l)	1,10	1,23
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,84	8,55
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	300	69
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	178	115
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1564	1393
Sólidos Totales (mg/l)	1742	1508
Cloruros (mg/l)	339	352
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	2,4x10 ⁹	1,8x10 ⁵
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	1,1x10 ⁹	3,2x10 ⁵

Tabla A.8. Muestreo 8 de fecha: 23/04/2009

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad (μS/cm)	2224	2513
Temperatura	28,46	28,83
pH	7,02	8,25
Salinidad (g/l)	1,28	1,46
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,45	7,54
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	364	68
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	112	97
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1515	1338
Sólidos Totales (mg/l)	1627	1435
Cloruros (mg/l)	294	325
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	1,6x10 ⁸	3,4x10 ⁴
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	1,3x10 ⁸	3,6x10 ⁴

Tabla A.9. Muestreo 9 de fecha: 20/05/2009

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad (μS/cm)	2453	2339
Temperatura	30,30	30,28
pH	6,45	7,96
Salinidad (g/l)	1,20	1,15
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,25	5,35
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5, 20})	270	50
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	95	86
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1683	1520
Sólidos Totales (mg/l)	1778	1606
Cloruros (mg/l)	326	305
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	2,1x10 ⁸	2x10 ⁴
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	7,9x10 ⁸	6,9x10 ⁴

Tabla A.10. Muestreo 10 de fecha: 25/06/2009

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad (μS/cm)	2463	2347
Temperatura	29,65	30,17
pH	7,12	7,85
Salinidad (g/l)	1,26	1,12
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,34	5,65
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5, 20})	278	75
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	98	89
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1663	1415
Sólidos Totales (mg/l)	1761	1504
Cloruros (mg/l)	324	303
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	2,1x10 ⁹	1,7x10 ⁵
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	7,8x10 ⁹	6,9x10 ⁵

Tabla A.11. Muestreo 11 de fecha: 23/07/2009

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	2479	2380
Temperatura	30,25	29,54
pH	6,92	7,64
Salinidad (g/l)	1,15	1,09
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,23	5,61
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($\text{DBO}_{5,20}$)	268	64
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	91	76
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1615	1436
Sólidos Totales (mg/l)	1706	1512
Cloruros (mg/l)	316	304
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	$1,8 \times 10^8$	$1,5 \times 10^4$
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	$7,4 \times 10^8$	$6,5 \times 10^4$

Tabla A.12. Muestreo 12 de fecha: 20/08/2009

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	2500	2300
Temperatura	31,02	30,46
pH	7,12	6,68
Salinidad (g/l)	1,18	1,04
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,15	5,10
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($\text{DBO}_{5,20}$)	274	62
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	152	112
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1545	1326
Sólidos Totales (mg/l)	1697	1438
Cloruros (mg/l)	326	314
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	3×10^8	$2,4 \times 10^4$
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	$6,9 \times 10^8$	$5,4 \times 10^4$

Tabla A.13. Muestreo 13 de fecha: 20/09/2009

PARÁMETROS	Pto. 1 (afluente)	Pto. (efluente)
Aspecto	Turbia	Verdosa
Conductividad (μS/cm)	2460	2339
Temperatura	31,58	31,14
pH	7,12	7,56
Salinidad (g/l)	1,36	1,24
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2,27	5,25
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5, 20})	270	55
Sólidos Suspendidos Totales a 103 °C (mg/l)	165	134
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	1575	1336
Sólidos Totales (mg/l)	1740	1470
Cloruros (mg/l)	346	323
BACTERIOLOGÍA		
Coliformes Totales (UFC/100ml)	3,4x10 ⁸	2,9x10 ⁴
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	8,1x10 ⁸	7,2x10 ⁴

ANEXO B

Tabla B.1 Eficiencia de DBO

Muestreo	Eficiencia (%)
25/09/2008	89.43
23/10/2008	91.89
20/11/2008	88.46
18/12/2008	88.45
15/01/2009	75.33
25/02/2009	75.78
25/03/2009	77
23/04/2009	81.32
20/05/2009	81.48
25/06/2009	73.02
23/07/2009	76.12
20/08/2009	77.37
24/09/2009	79.63

Tabla B.2 Eficiencia de SST.

Muestreo	Eficiencia (%)
25/09/2008	60.85
23/10/2008	60
20/11/2008	61.14
18/12/2008	64.67
15/01/2009	36.6
25/02/2009	35.45
25/03/2009	35.39
23/04/2009	17.85
20/05/2009	9.47
25/06/2009	9.18
23/07/2009	16.48
20/08/2009	26.31
24/09/2009	18.79

Tabla B.3. Eficiencia de ST.

Muestreo	Eficiencia (%)
25/09/2008	20,04
23/10/2008	22,39
20/11/2008	16,66
18/12/2008	14,12
15/01/2009	14,80
25/02/2009	15,02
25/03/2009	13,43
23/04/2009	11,80
20/05/2009	9,67
25/06/2009	15,45
23/07/2009	11,37
20/08/2009	9,37
24/09/2009	9,77

Tabla B.3. Eficiencia de SDT.

Muestreo	Eficiencia (%)
25/09/2008	15,27
23/10/2008	18,03
20/11/2008	11,83
18/12/2008	8,25
15/01/2009	12,16
25/02/2009	12,61
25/03/2009	10,64
23/04/2009	11,68
20/05/2009	9,69
25/06/2009	14,91
23/07/2009	11,08
20/08/2009	14,17
24/09/2009	15,47



Grafico B.1. Eficiencia de DBO.



Grafico B.2 Eficiencia de SST..

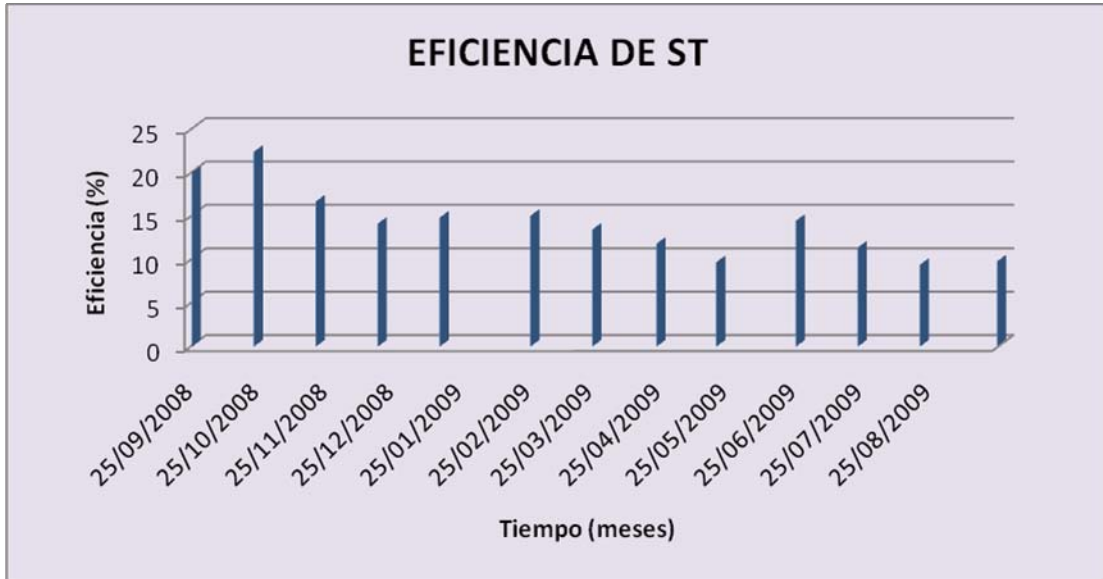


Grafico B.3. Eficiencia de ST.

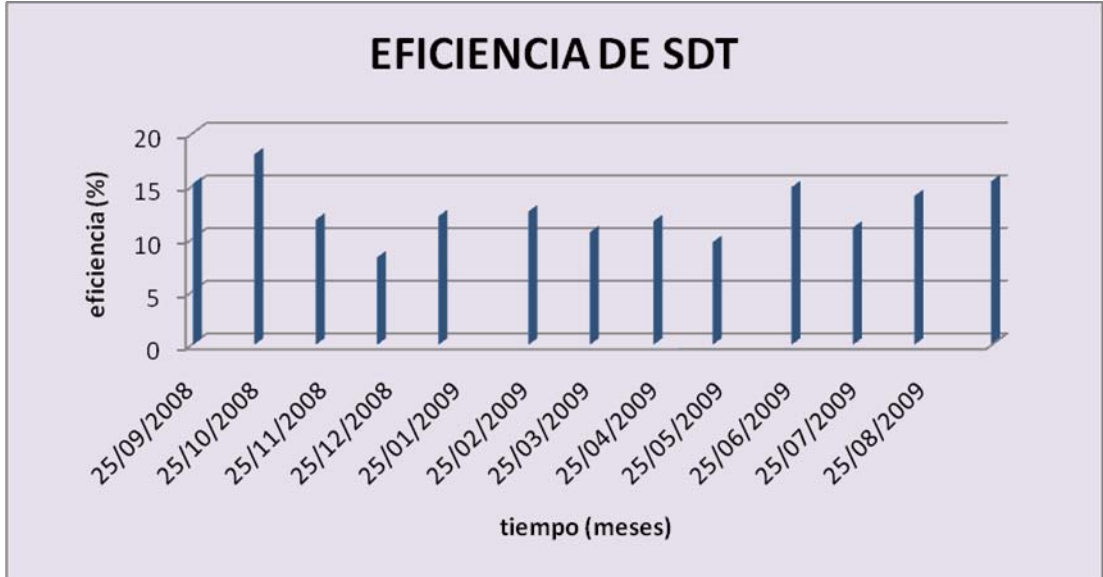


Grafico B.4. Eficiencia de SDT.

ANEXO C

Tabla C.1 proyección de la población.

Año	Método lineal	Método geométrico	Método logarítmico	promedio
2005	22.260	23.129	23.121	22.837
2009	24.193	26.321	26.318	25.611
2010	24.679	27.185	27.182	26.349
2015	27.098	31.192	31.948	30.079
2020	29.516	37.554	37.549	34.873
2025	33.873	41.811	41.423	39.037

ANEXO D

Tabla D.1. Muestreo 25/09/08

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	7496.79	222
9:00 am	6591.23	215
10:00 am	6921.58	230
11:00 am	7423.14	220
12:00 m	6584.17	250
1:00 pm	6678.25	200
2:00 am	6358.57	207
3:00 pm	6742.32	216
4:00 pm	6763.87	220

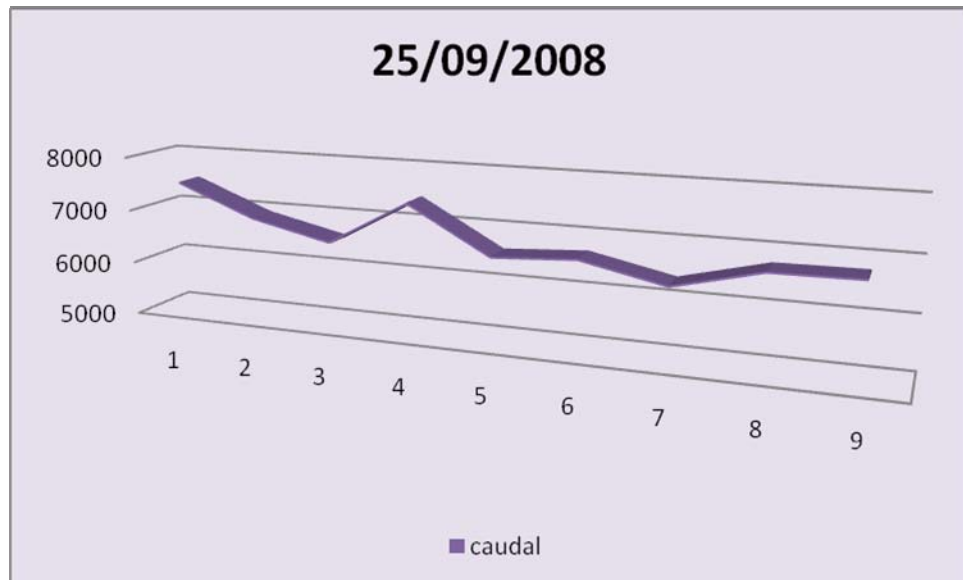


Grafico D.1. Muestreo 1

Tabla D.2. Muestreo 23/10/08

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	5048.23	220
9:00 am	4921.78	218
10:00 am	4979.95	224
11:00 am	5098.65	231
12:00 m	5114.12	245
1:00 pm	5146.37	210
2:00 am	4895.78	202
3:00 pm	4756.29	209
4:00 pm	5149.85	226

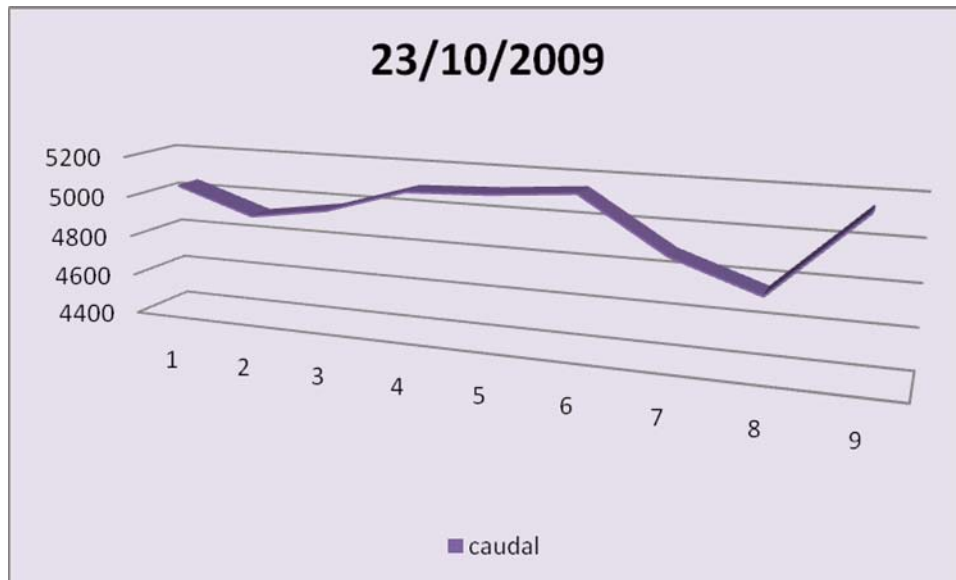


Grafico D.2. Muestreo 2

Tabla D.3. Muestreo 20/11/08

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	5149.01	202
9:00 am	4994.25	214
10:00 am	5002.69	228
11:00 am	4046.30	200
12:00 m	5264.82	217
1:00 pm	5196.65	220
2:00 am	4875.39	221
3:00 pm	4967.94	230
4:00 pm	5057.86	223

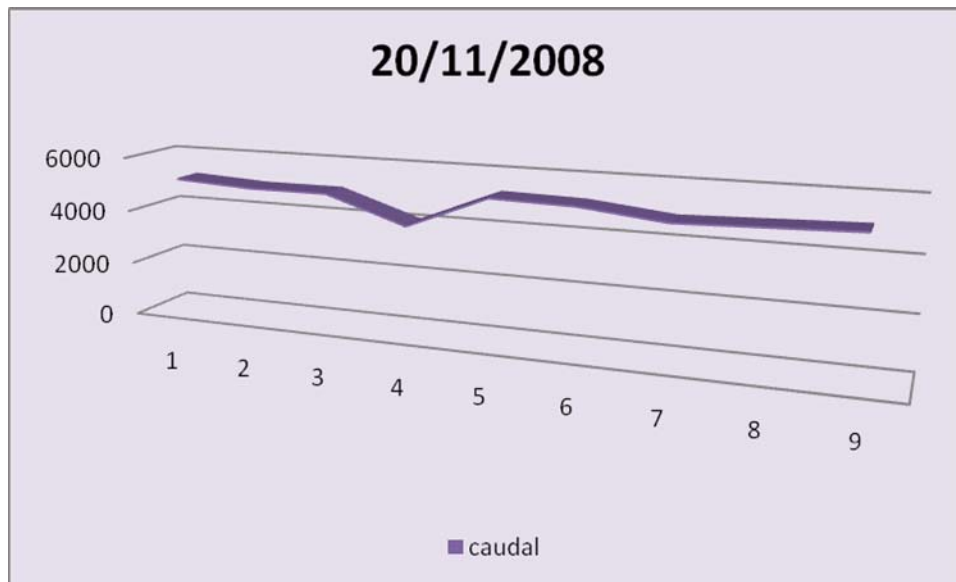


Grafico D.3. Muestreo 3

Tabla D.4. Muestreo 18/12/08

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	6904.15	219
9:00 am	6854.68	224
10:00 am	6812.67	230
11:00 am	6845.98	226
12:00 m	7124.36	247
1:00 pm	7065.45	236
2:00 am	6848.12	210
3:00 pm	6807.71	215
4:00 pm	6975.49	228

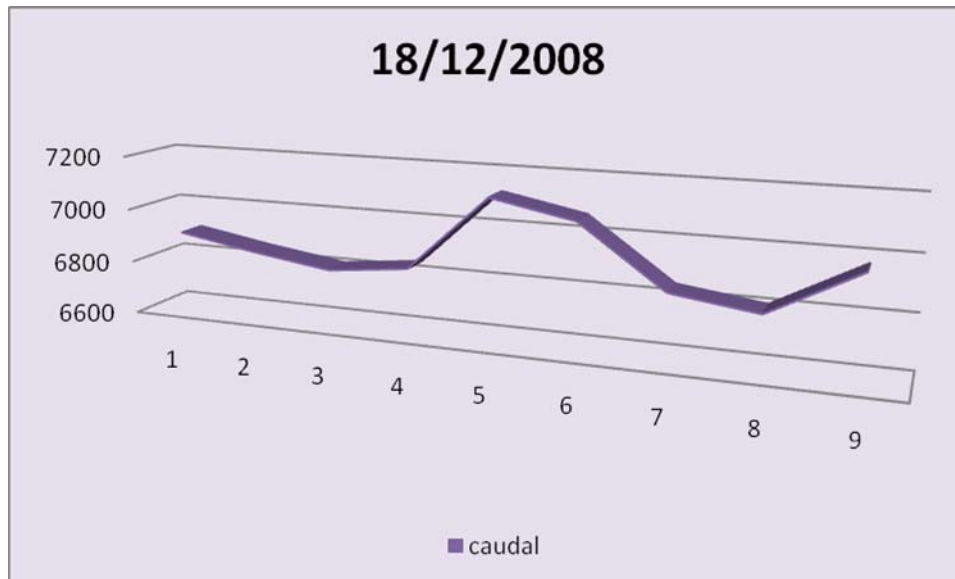


Grafico D.4. Muestreo 4

Tabla D.5. Muestreo 15/01/09

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	5100.06	250
9:00 am	4986.68	210
10:00 am	4875.92	224
11:00 am	4952.11	233
12:00 m	5150.63	252
1:00 pm	5126.82	230
2:00 am	4945.43	207
3:00 pm	4961.15	213
4:00 pm	5068.55	224

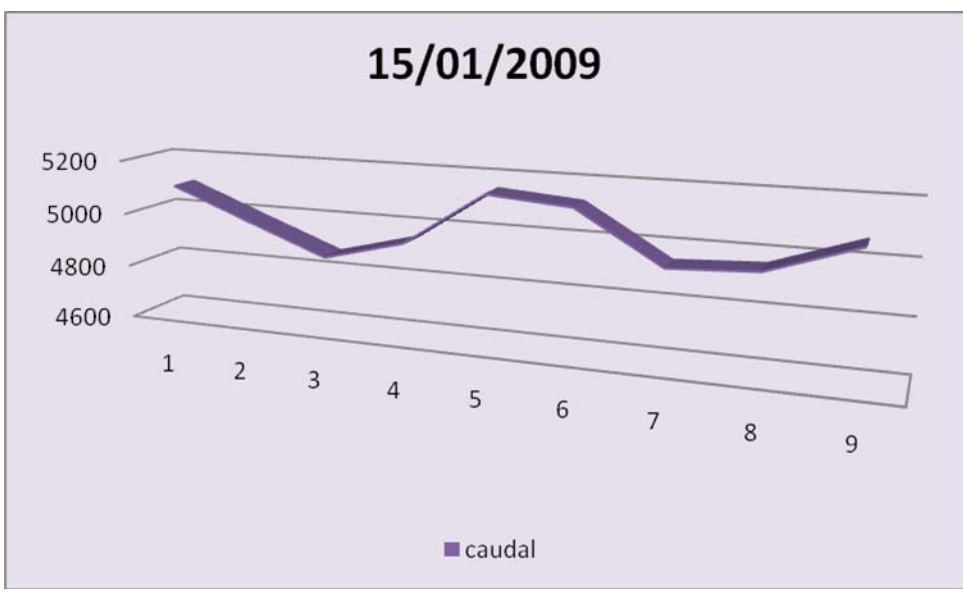


Grafico D.5. Muestreo 5

Tabla D.6. Muestreo 25/02/09

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	6805.46	220
9:00 am	6815.39	226
10:00 am	6800.47	214
11:00 am	6904.27	210
12:00 m	6974.14	243
1:00 pm	6978.95	230
2:00 am	6876.67	205
3:00 pm	6822.64	223
4:00 pm	6843.55	226

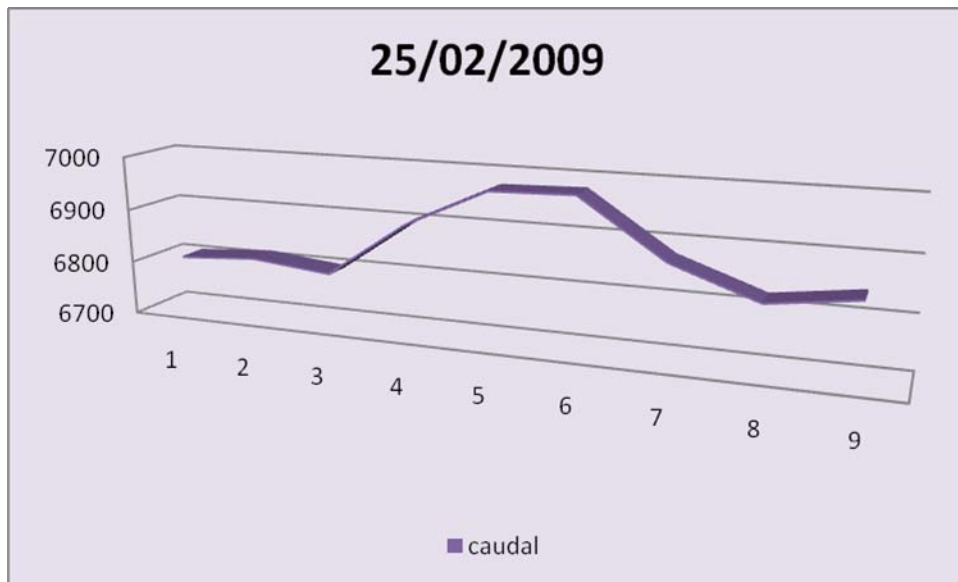


Grafico D.6. Muestreo 6

Tabla D.7. Muestreo 25/03/09

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	6951.23	219
9:00 am	6803.74	220
10:00 am	6845.30	213
11:00 am	6812.61	223
12:00 m	6964.40	238
1:00 pm	7025.14	231
2:00 am	6826.54	221
3:00 pm	6830.58	217
4:00 pm	6904.33	222

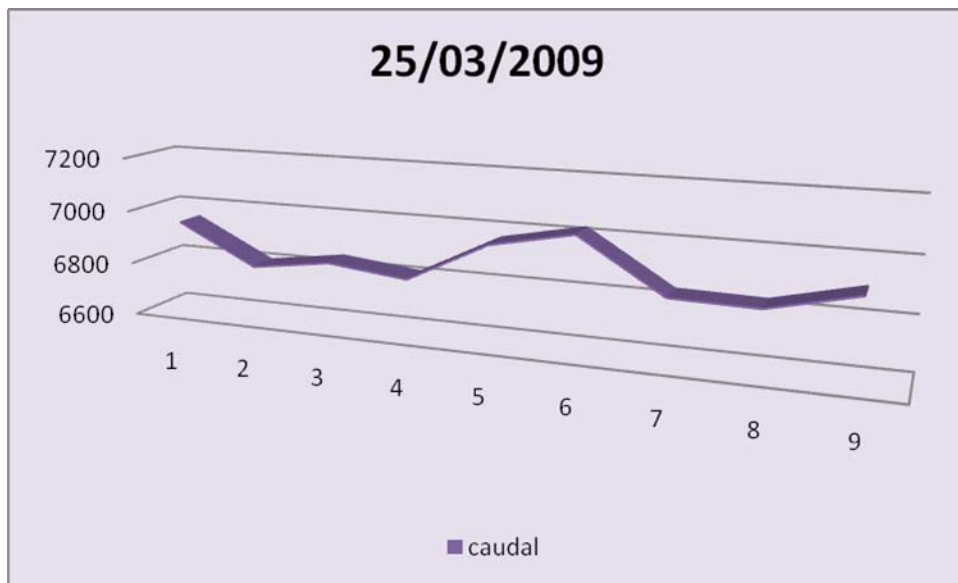


Grafico D.7. Muestreo 7

Tabla D.8. Muestreo 23/04/09

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	6805.46	220
9:00 am	6815.39	226
10:00 am	6800.47	214
11:00 am	6904.27	210
12:00 m	6974.14	243
1:00 pm	6978.95	230
2:00 am	6876.67	205
3:00 pm	6822.64	223
4:00 pm	6843.55	226

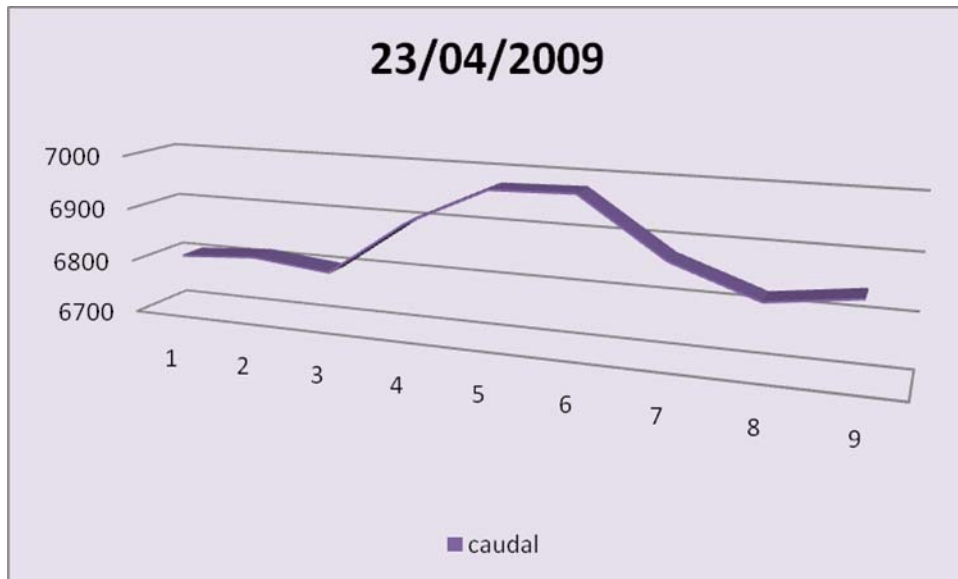


Grafico D.8. Muestreo 8

Tabla D.9. Muestreo 20/05/09

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	5050.10	225
9:00 am	5047.23	218
10:00 am	5045.45	215
11:00 am	5048.84	221
12:00 m	5100.17	226
1:00 pm	5112.47	230
2:00 am	5044.38	219
3:00 pm	5046.97	218
4:00 pm	5060.42	224

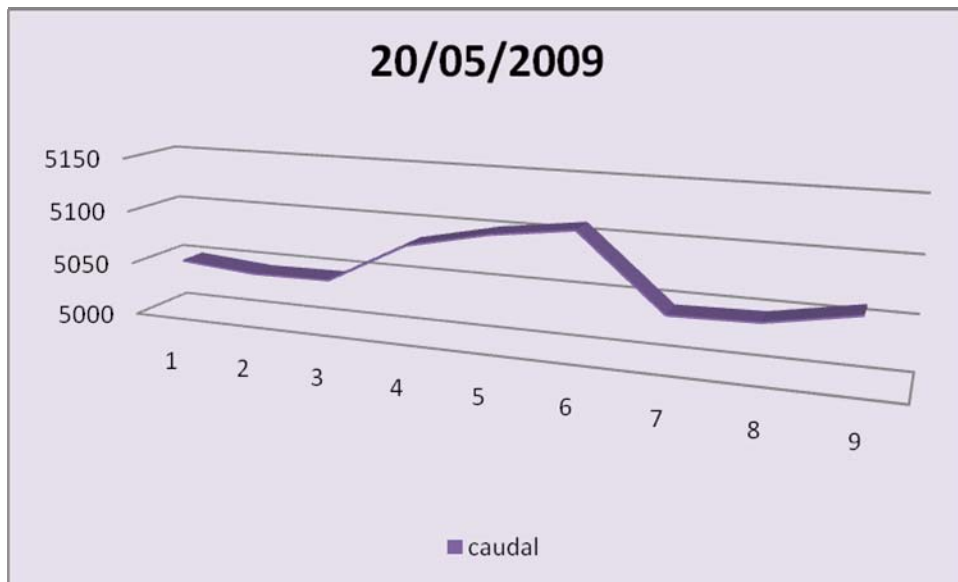


Grafico D.9. Muestreo 9

Tabla D.10. Muestreo 25/06/09

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	5048.50	236
9:00 am	5043.44	220
10:00 am	5047.42	219
11:00 am	5040.66	223
12:00 m	5096.28	226
1:00 pm	5087.45	224
2:00 am	5043.96	218
3:00 pm	5045.29	219
4:00 pm	5049.75	223

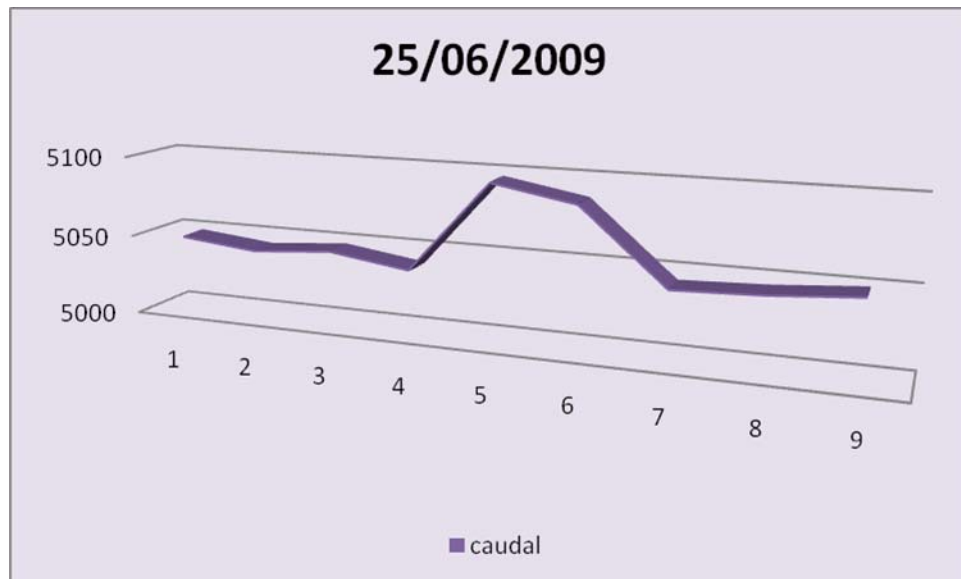


Grafico D.10. Muestreo 10

Tabla D.11. Muestreo23/07/0

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	5066.22	221
9:00 am	5048.37	217
10:00 am	5047.60	219
11:00 am	5049.58	220
12:00 m	5078.70	224
1:00 pm	5080.15	237
2:00 am	5045.21	219
3:00 pm	5047.34	225
4:00 pm	5049.62	223

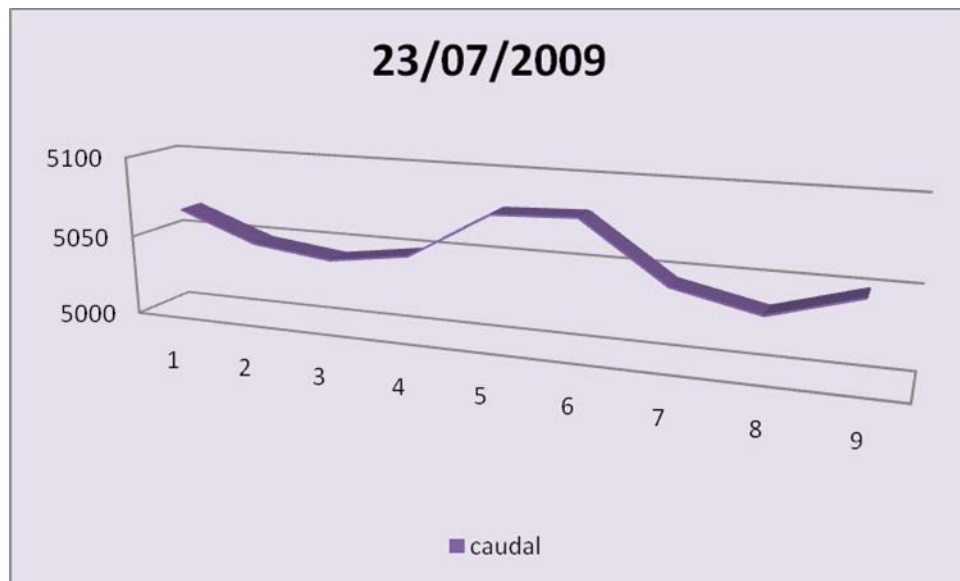


Grafico D.11. Muestreo 11

Tabla D.12. Muestreo 20/08/09

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	6821.26	226
9:00 am	6786.34	219
10:00 am	6800.29	216
11:00 am	6845.41	217
12:00 m	6941.25	230
1:00 pm	6959.49	225
2:00 am	6790.56	221
3:00 pm	6804.82	219
4:00 pm	6862.94	216

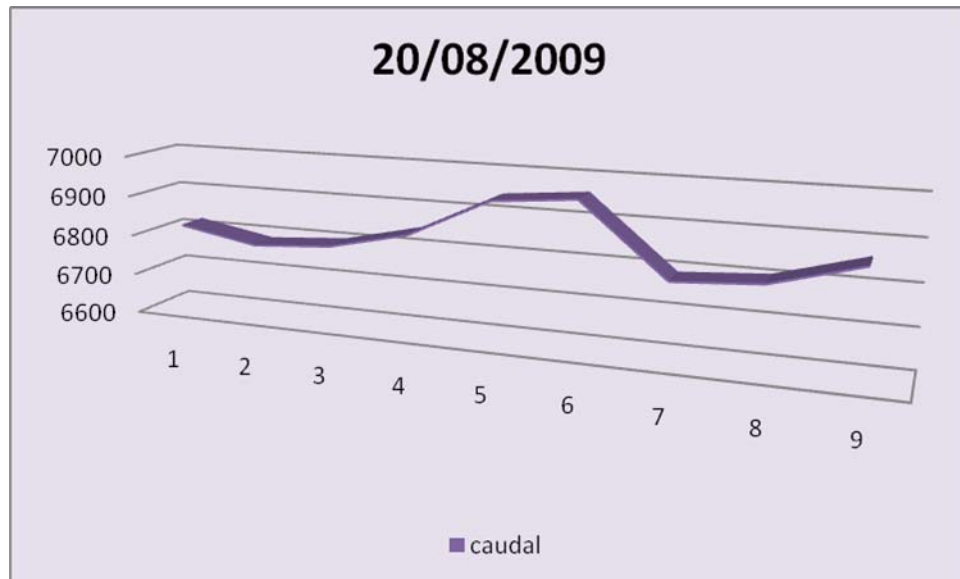


Grafico D.12. Muestreo 12

Tabla D.13 muestreo del 24/09/09

Hora	Volumen (Q) m ³	Volumen de muestra (ml)
8:00 am	6810.60	222
9:00 am	6815.35	219
10:00 am	6809.61	215
11:00 am	6814.76	218
12:00 m	6912.54	226
1:00 pm	6954.32	229
2:00 am	6838.19	224
3:00 pm	6826.63	221
4:00 pm	6843.89	219

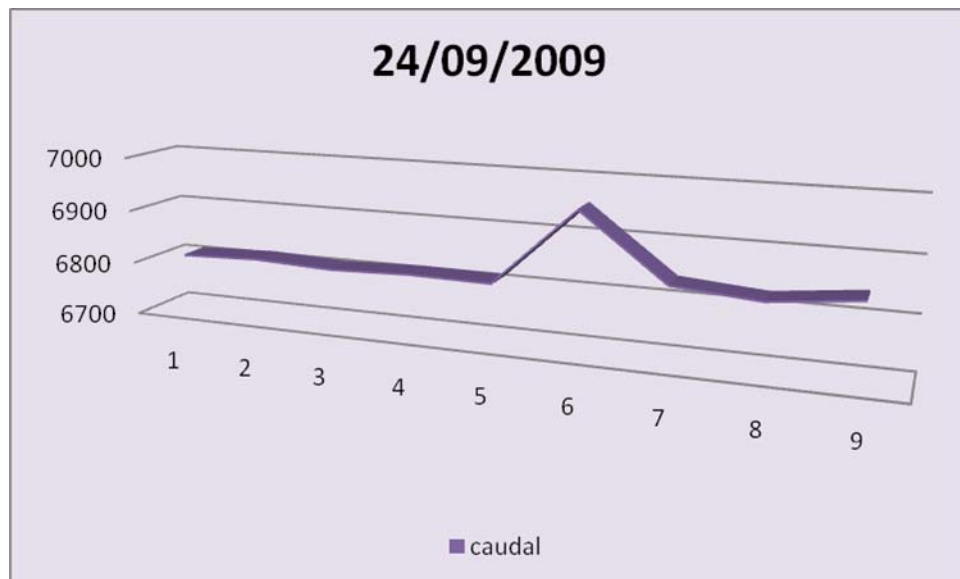


Grafico D.13. Muestreo 13

ANEXO E

PH Vs NORMA

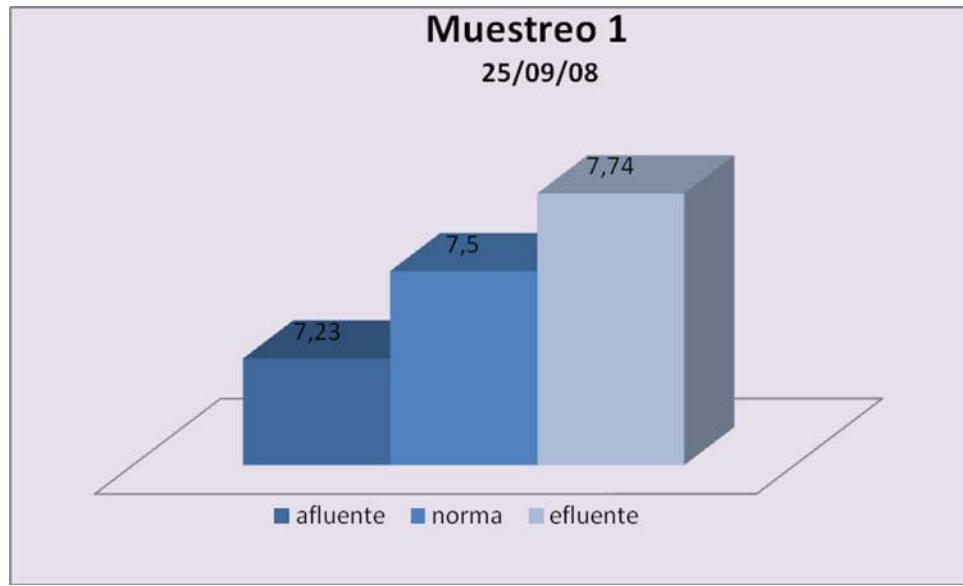


Grafico E.1. pH del muestreo 1 Vs norma

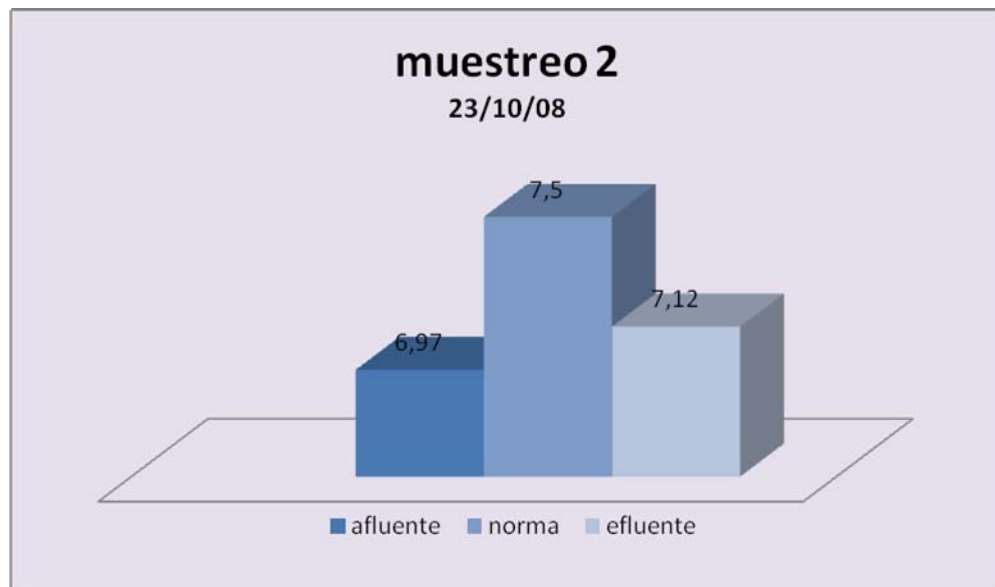


Grafico E.2. pH del muestreo 2 Vs norma

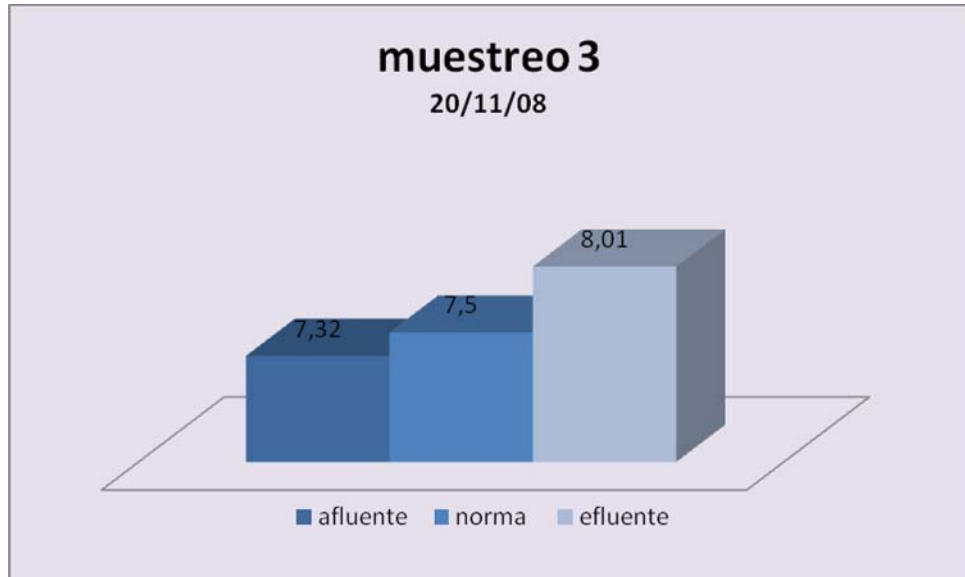


Grafico E.3. pH del muestreo 3 Vs norma

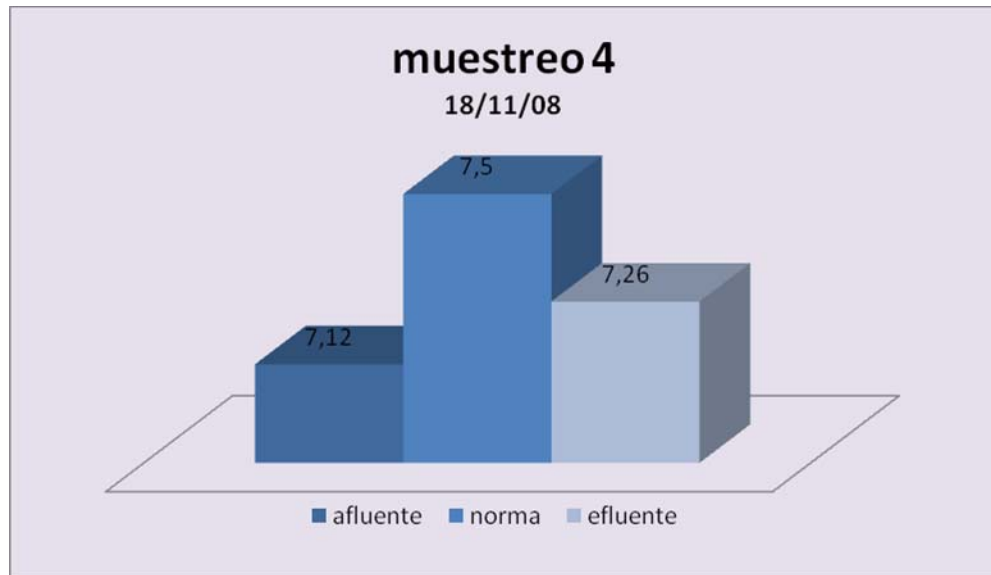


Grafico E.4. pH del muestreo 4 Vs norma

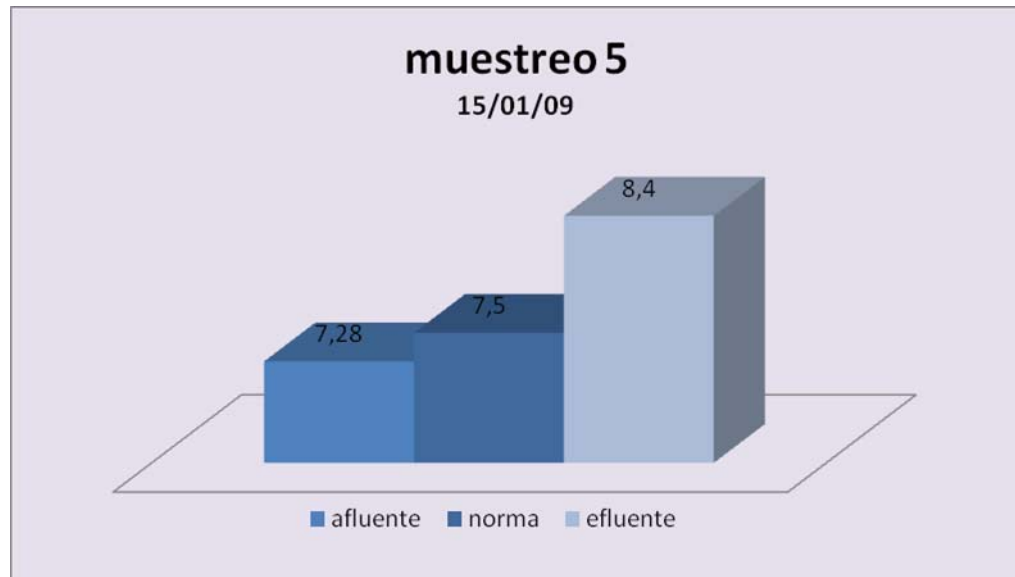


Grafico E.5. pH del muestreo 5 Vs norma.

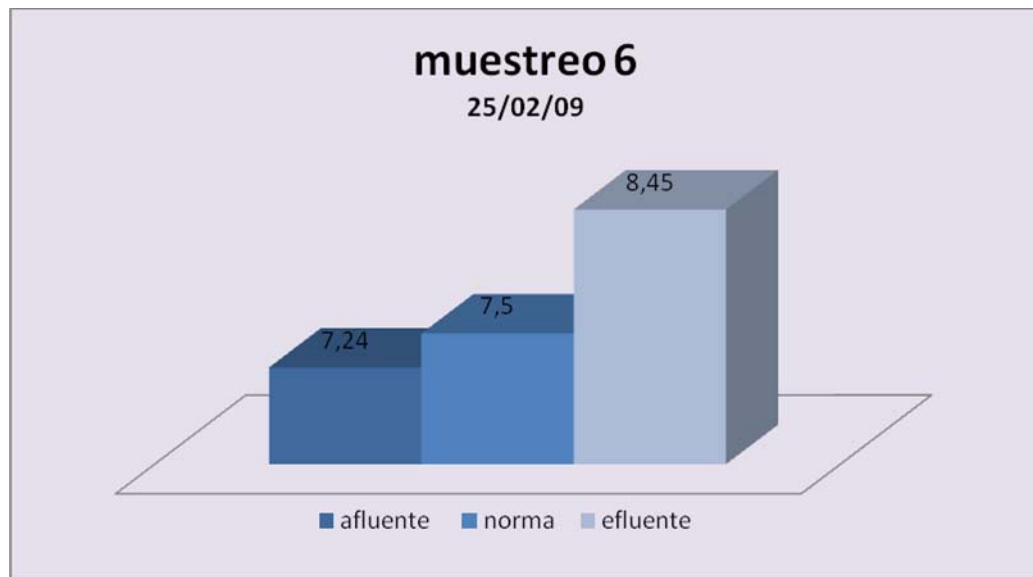


Grafico E.6. pH del muestreo 6 Vs norma.

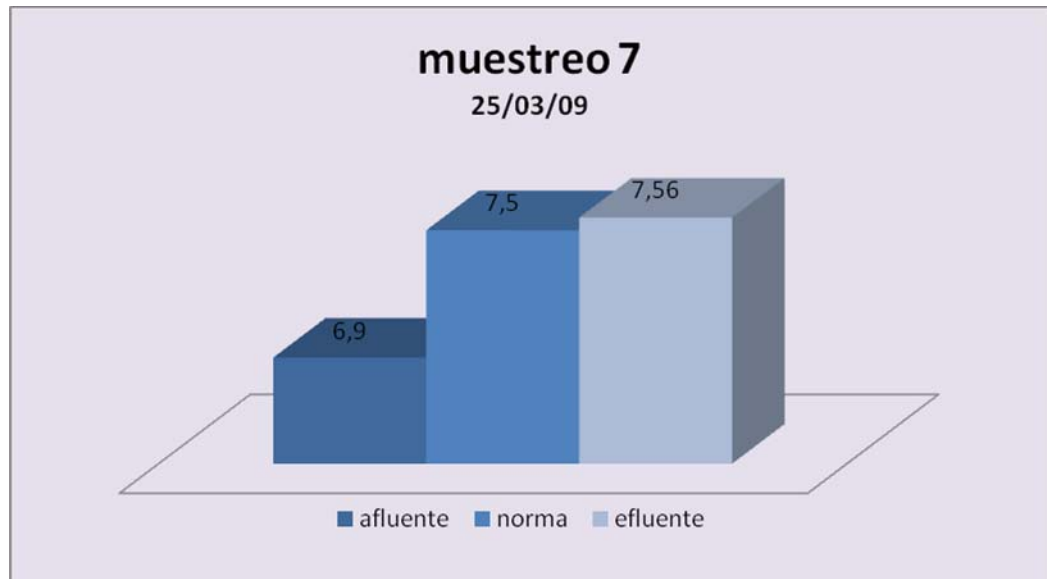


Grafico E.7. pH del muestreo 7 Vs norma.

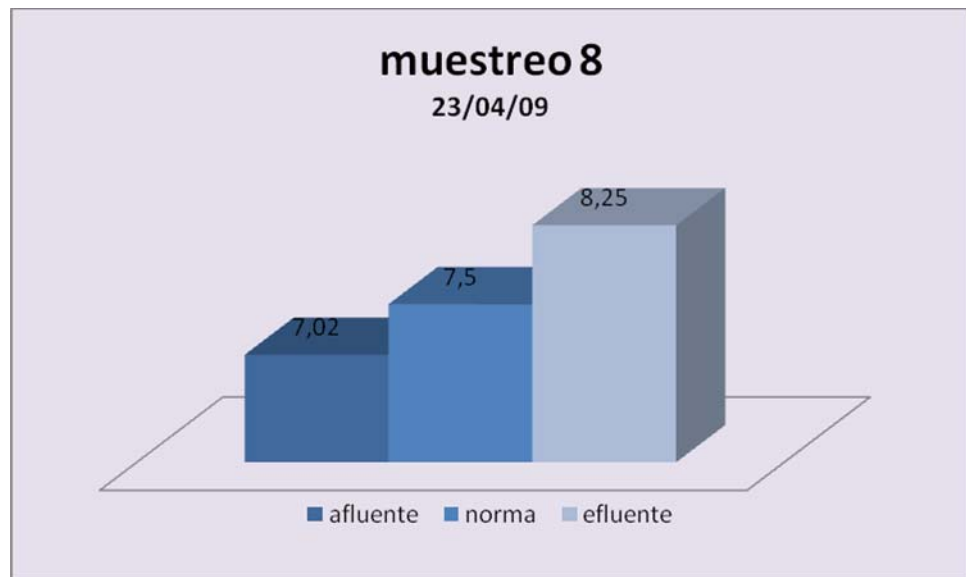


Grafico E.8. pH del muestreo 8 Vs norma.

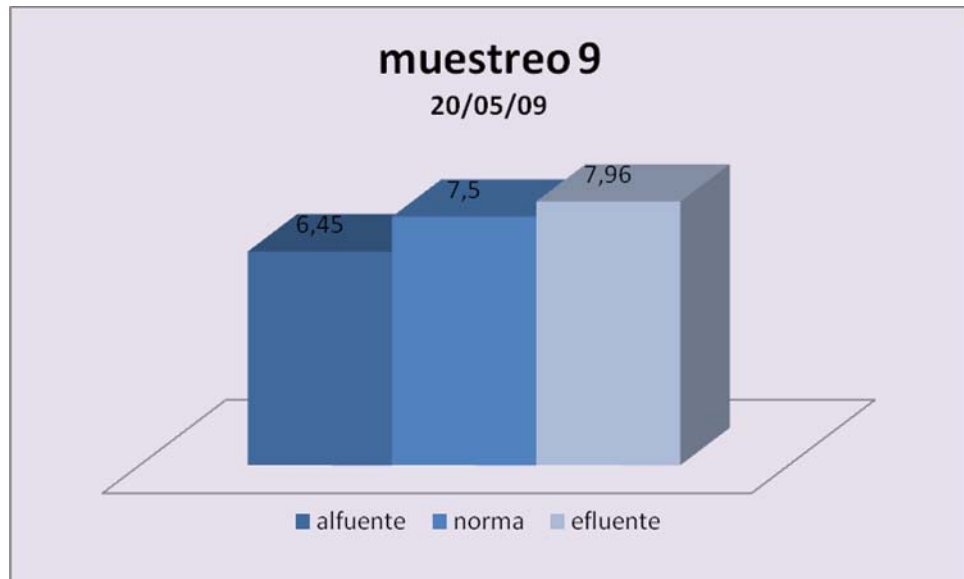


Grafico E.9. pH del muestreo 9 Vs norma.

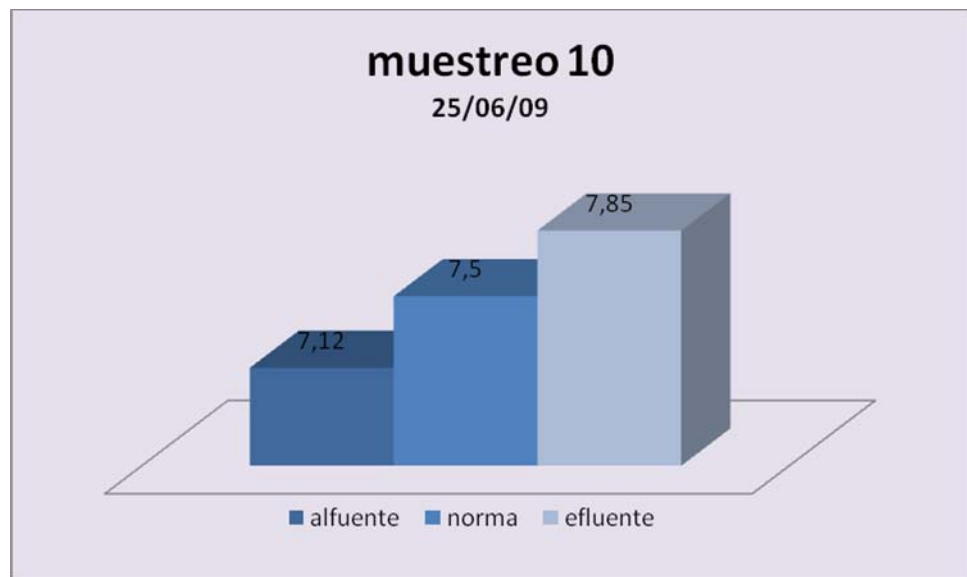


Grafico E.10. pH del muestreo 10 Vs norma.

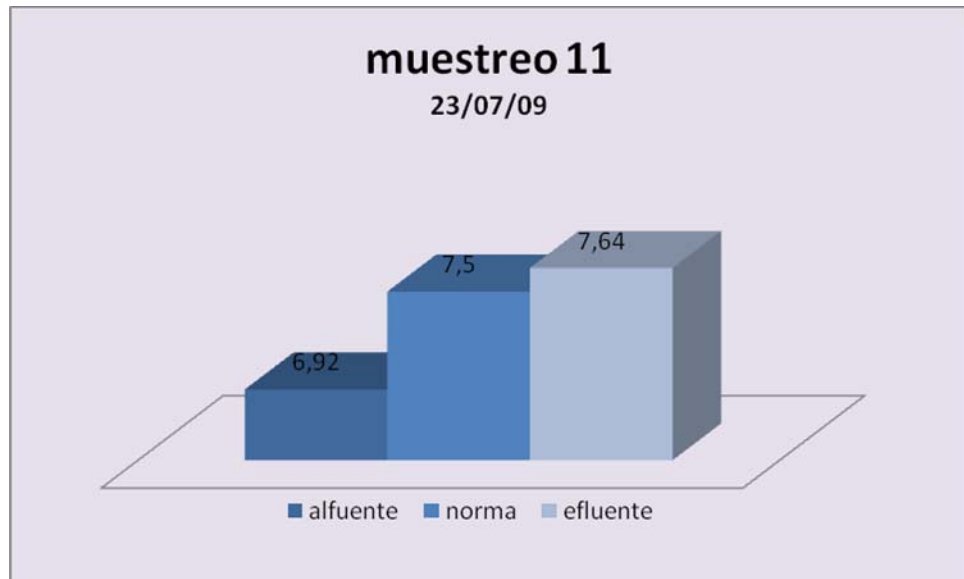


Grafico E.11. pH del muestreo 11 Vs norma.

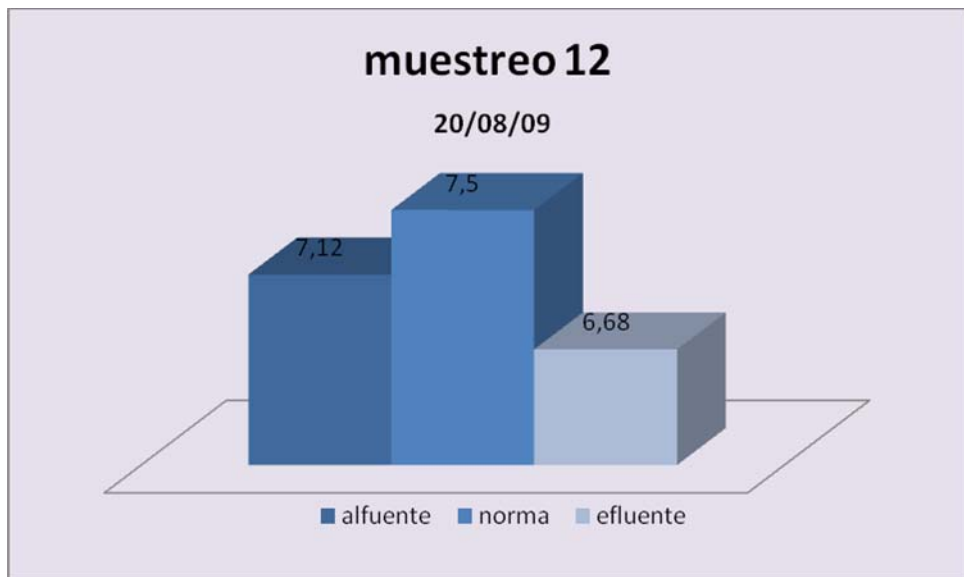


Grafico E.12. pH del muestreo 12 Vs norma.

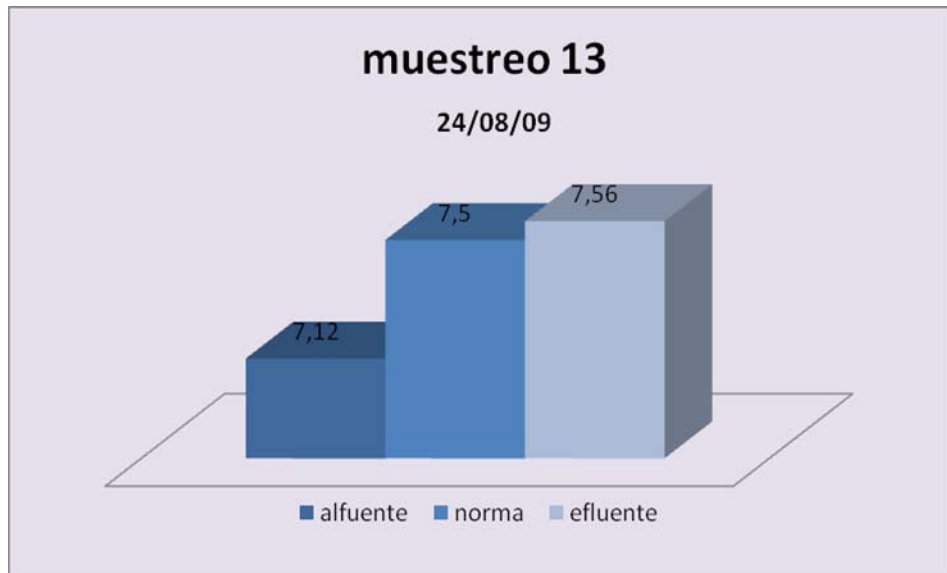


Grafico E.13. pH del muestreo 13 Vs norma.

DBO Vs NORMA



Gráfico E.14. DBO del muestreo 1 Vs Norma.

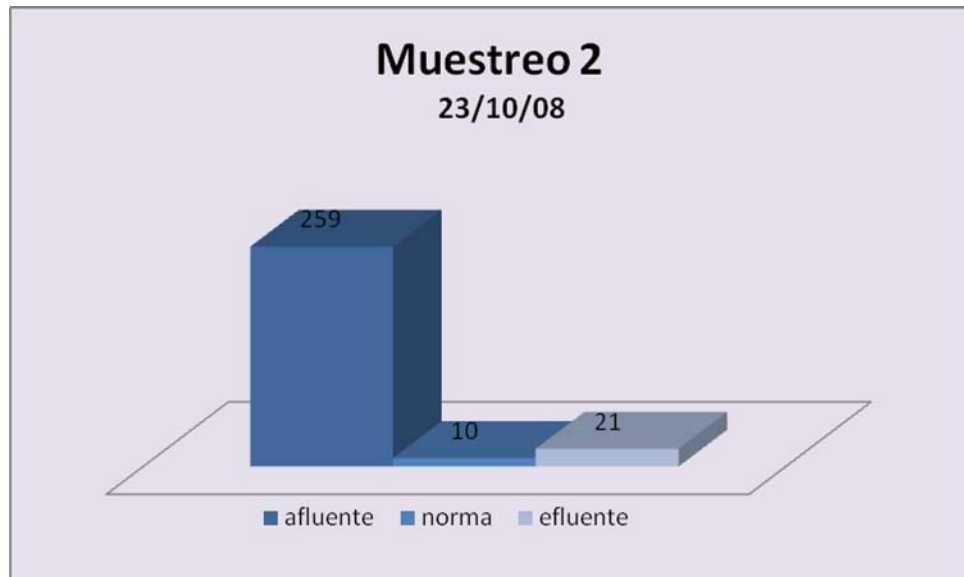


Gráfico E.15. DBO del muestreo 2 Vs Norma.

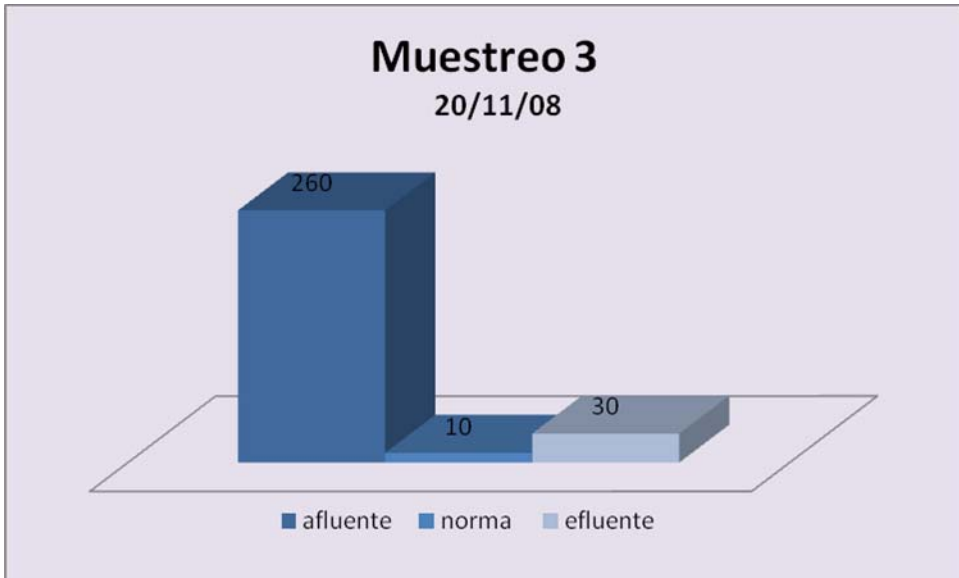


Gráfico E.16. DBO del muestreo 3 Vs Norma.

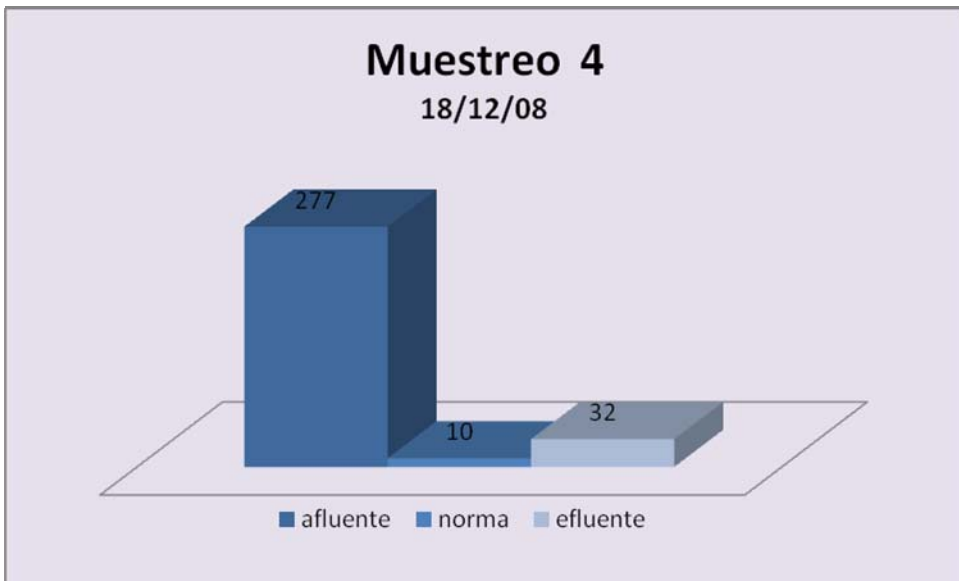


Gráfico E.17. DBO del muestreo 4 Vs Norma.

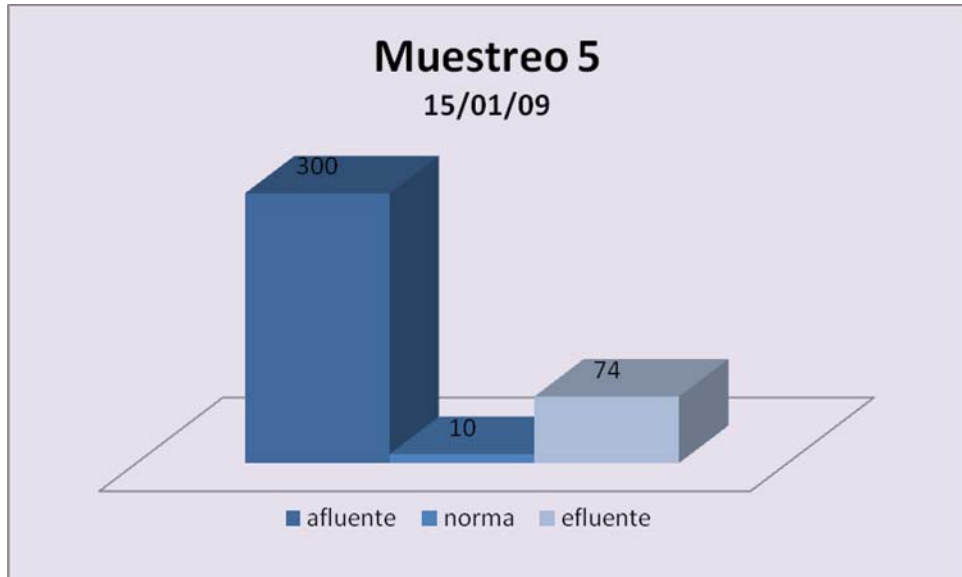


Gráfico E.18. DBO del muestreo 5 Vs Norma.

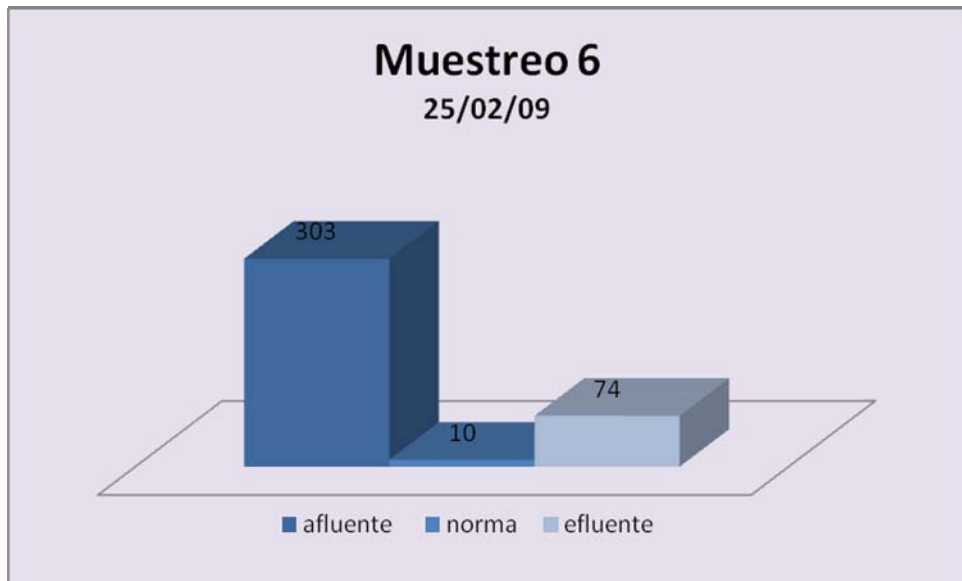


Gráfico E.19. DBO del muestreo 6 Vs Norma.

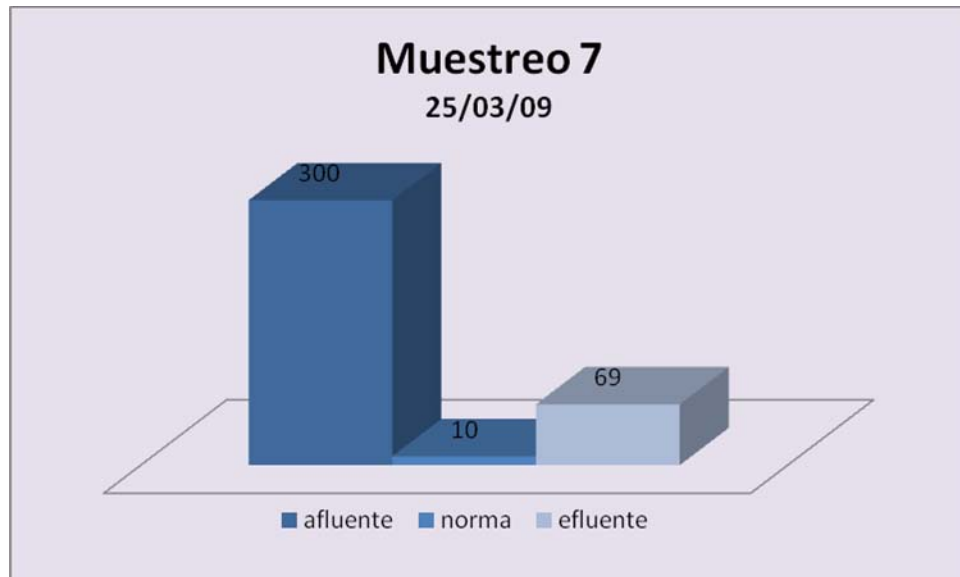


Gráfico E.20. DBO del muestreo 7 Vs Norma.

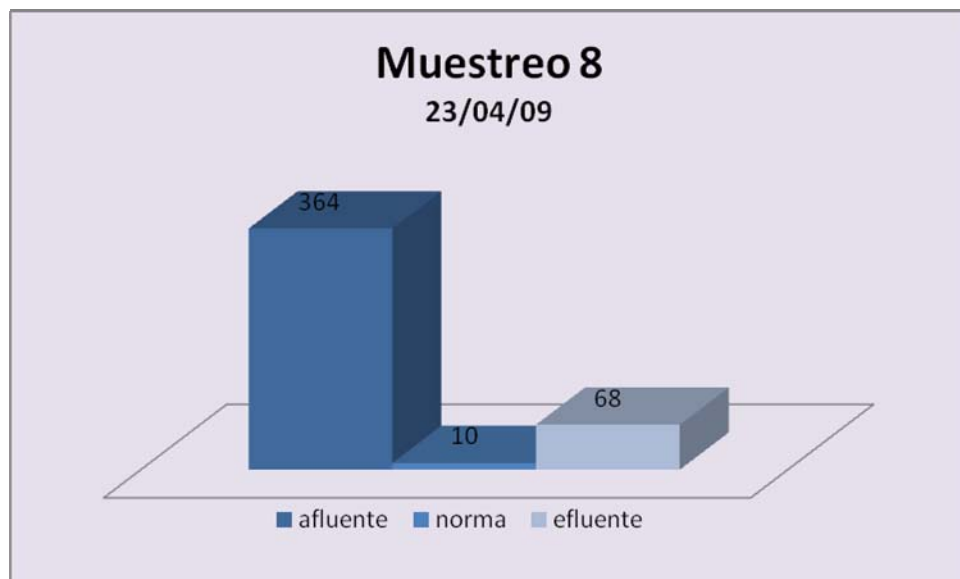


Gráfico E.21. DBO del muestreo 8 Vs Norma.

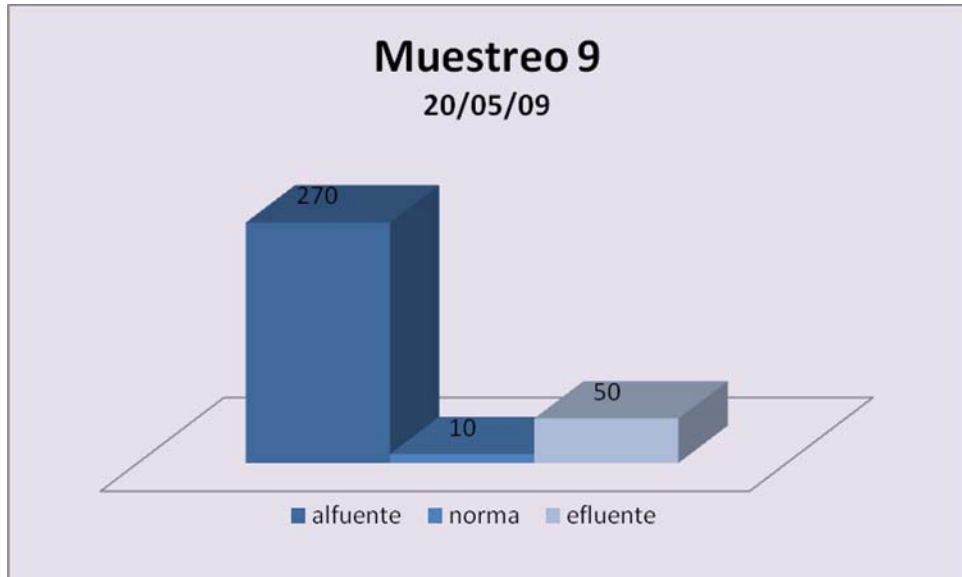


Gráfico E.22. DBO del muestreo 9 Vs Norma.

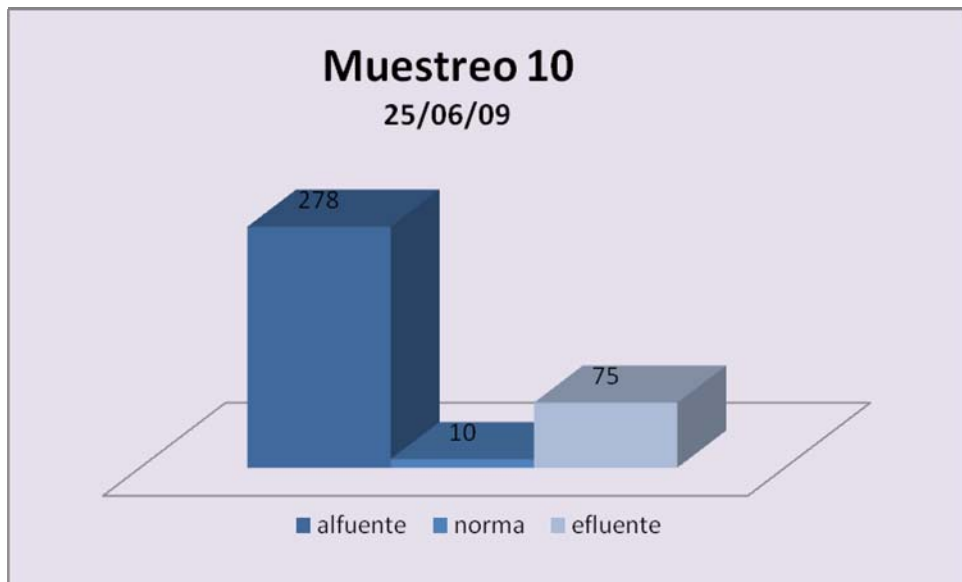


Gráfico E.23. DBO del muestreo 10 Vs Norma.

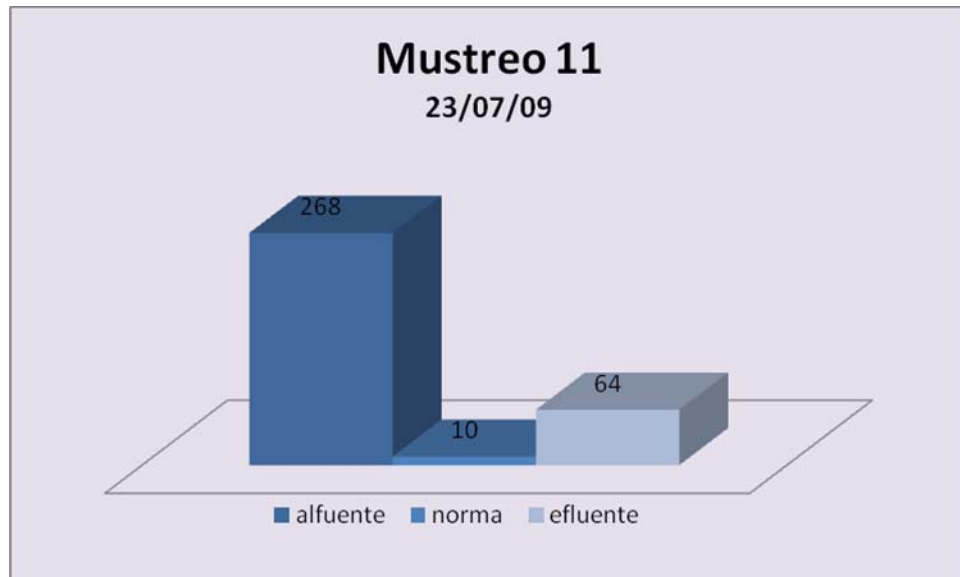


Gráfico E.24. DBO del muestreo 11 Vs Norma.

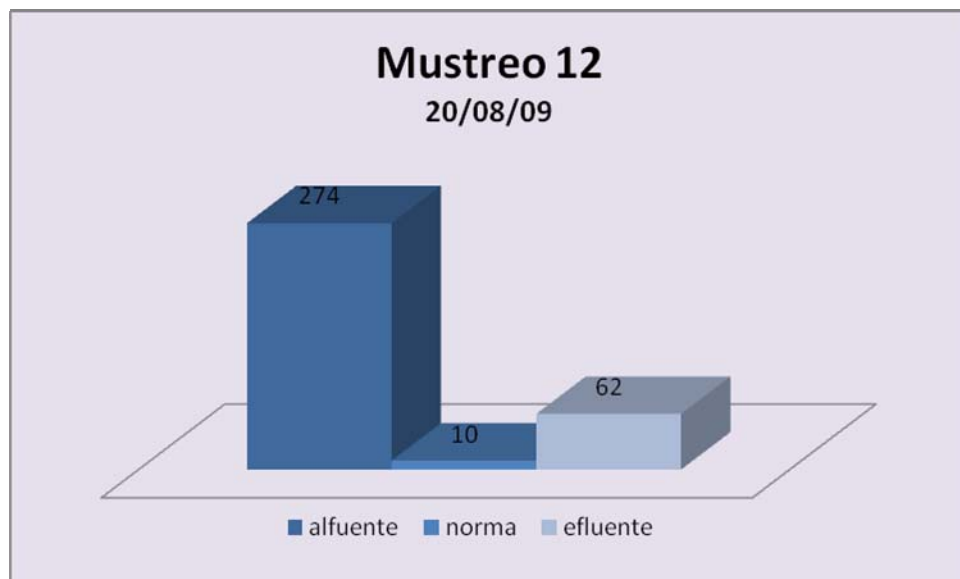


Gráfico E.25. DBO del muestreo 12 Vs Norma.

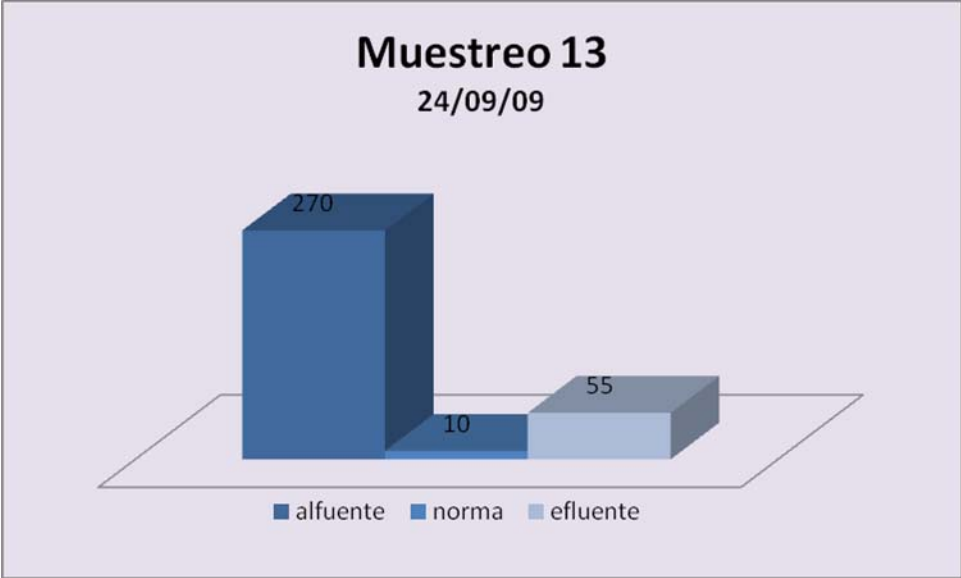


Gráfico E.26. DBO del muestreo 13 Vs Norma.

ST Vs NORMA

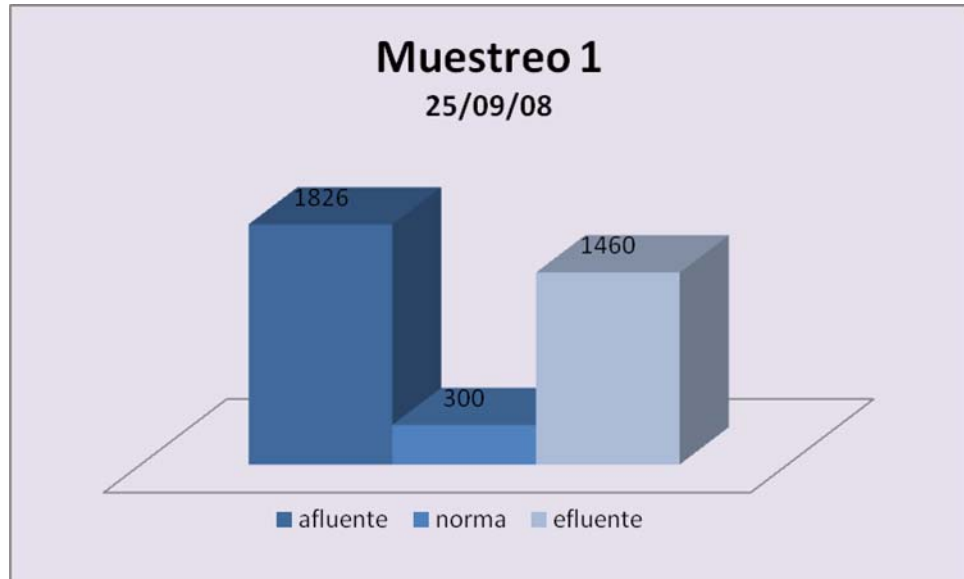


Gráfico E.27. ST del muestreo 1 Vs Norma.

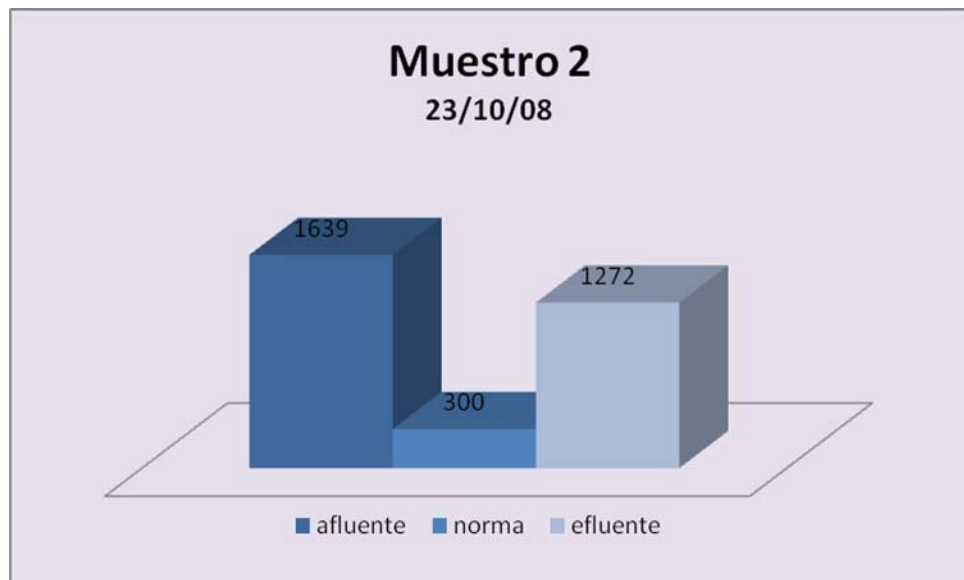


Gráfico E.28. ST del muestreo 2 Vs Norma.

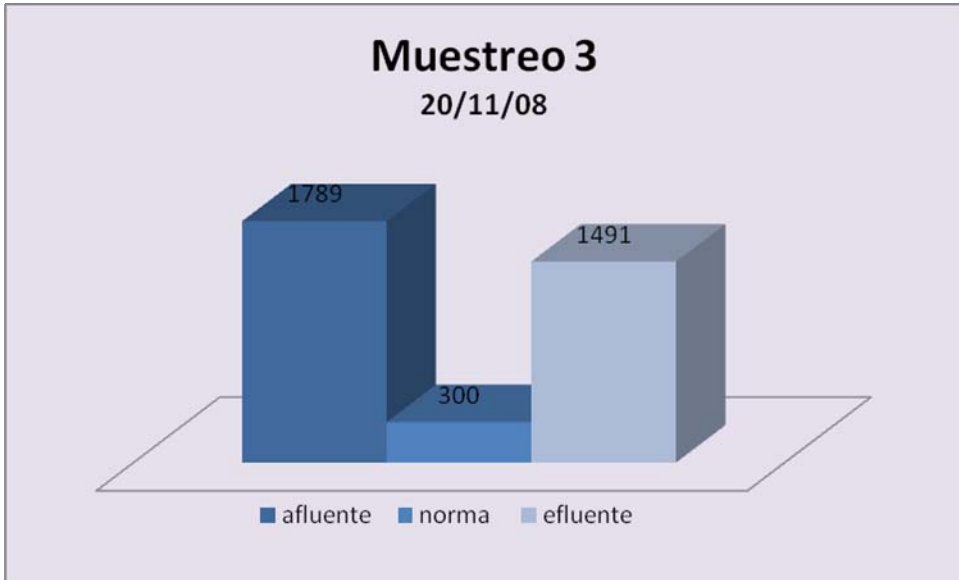


Gráfico E.29. ST del muestreo 3 Vs Norma.

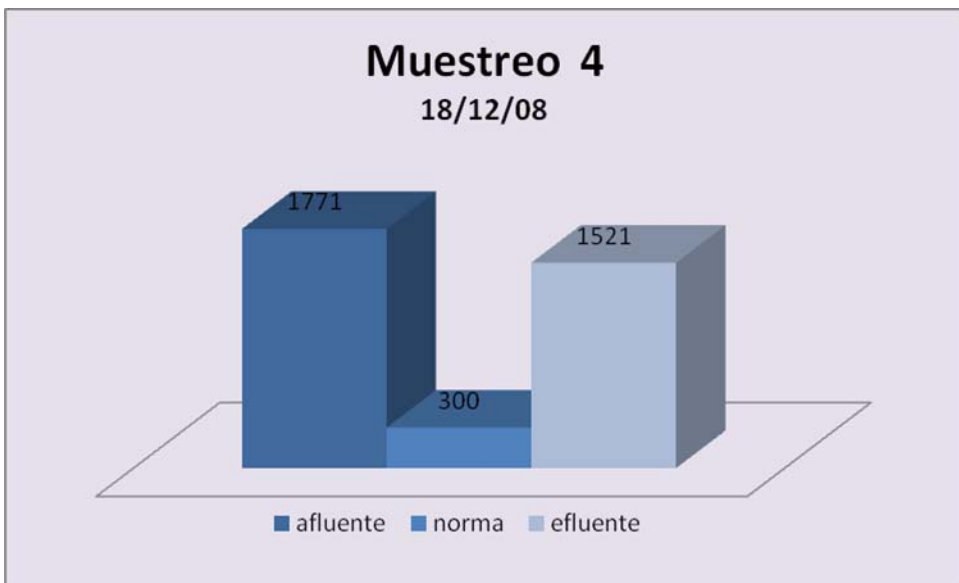


Gráfico E.30. ST del muestreo 4 Vs Norma.

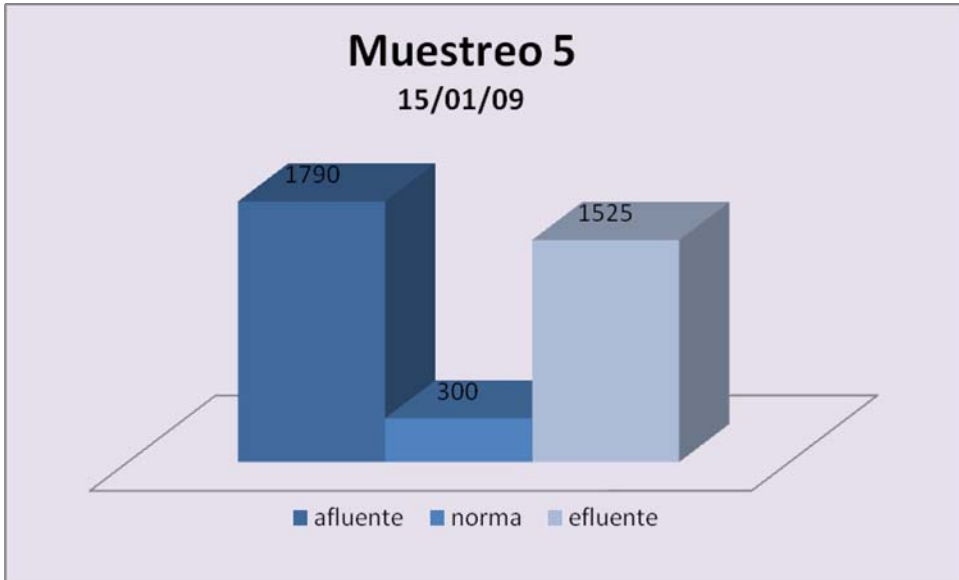


Gráfico E.31. ST del muestreo 5 Vs Norma.

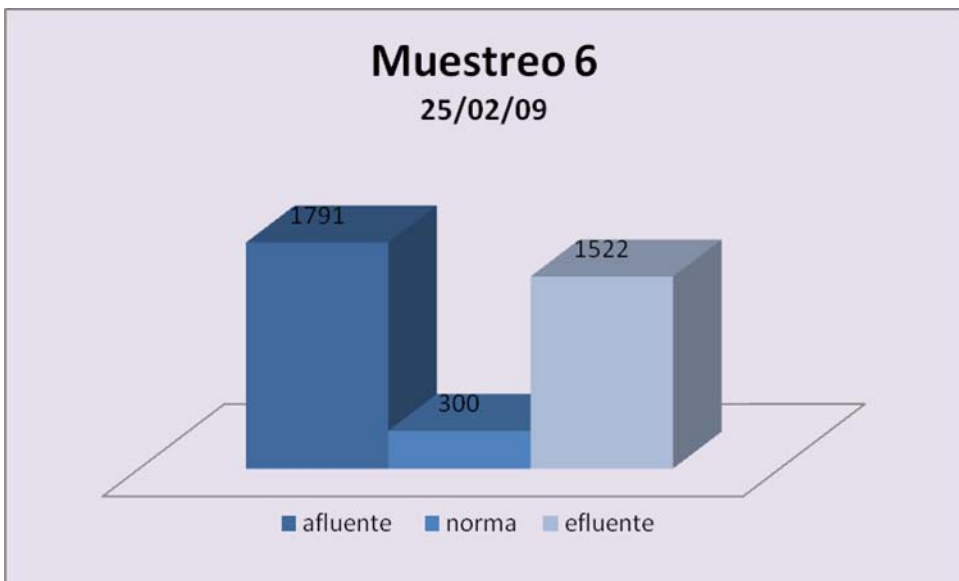


Gráfico E.32. ST del muestreo 6 Vs Norma.

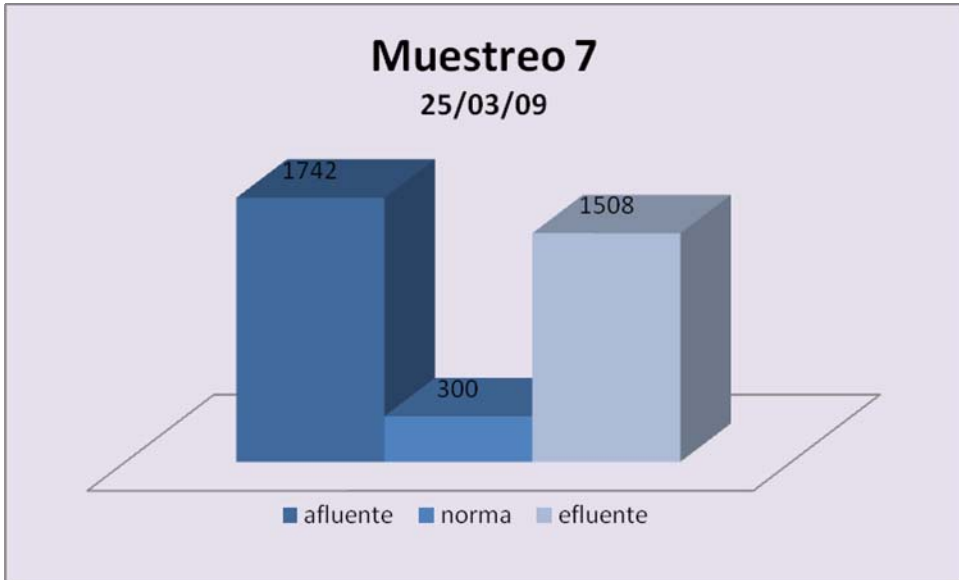


Gráfico E.33. ST del muestreo 7 Vs Norma.

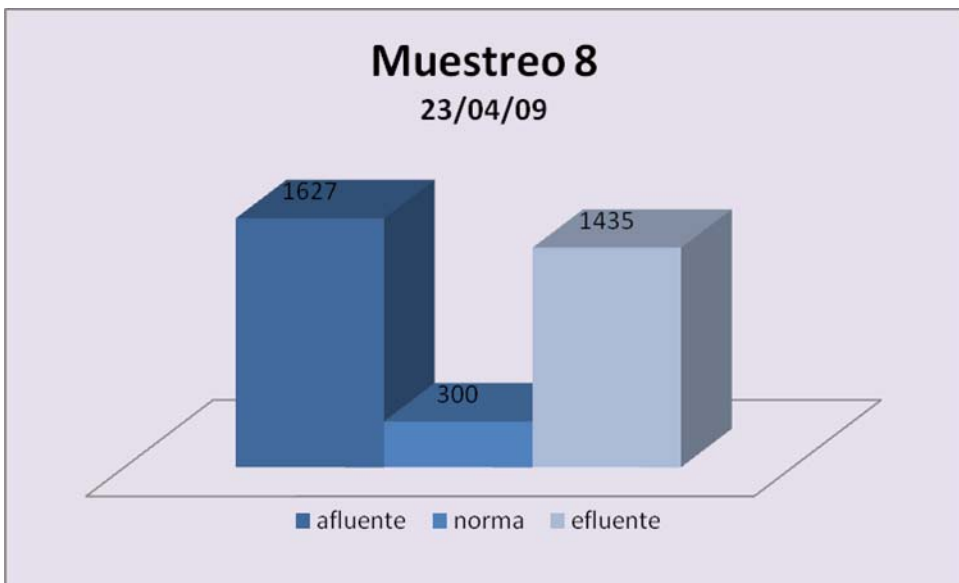


Gráfico E.34. ST del muestreo 8 Vs Norma.

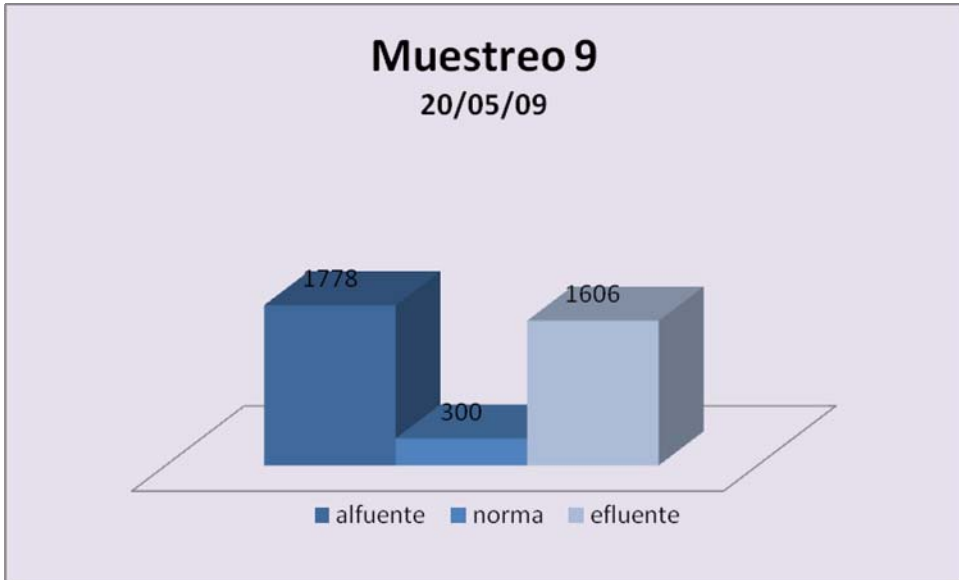


Gráfico E.35. ST del muestreo 9 Vs Norma.

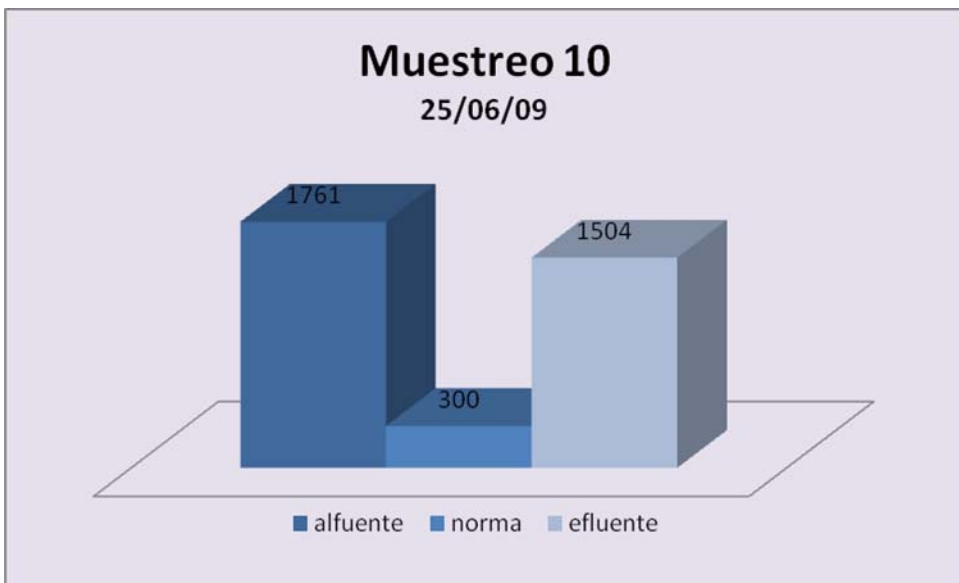


Gráfico E.36. ST del muestreo 10 Vs Norma.

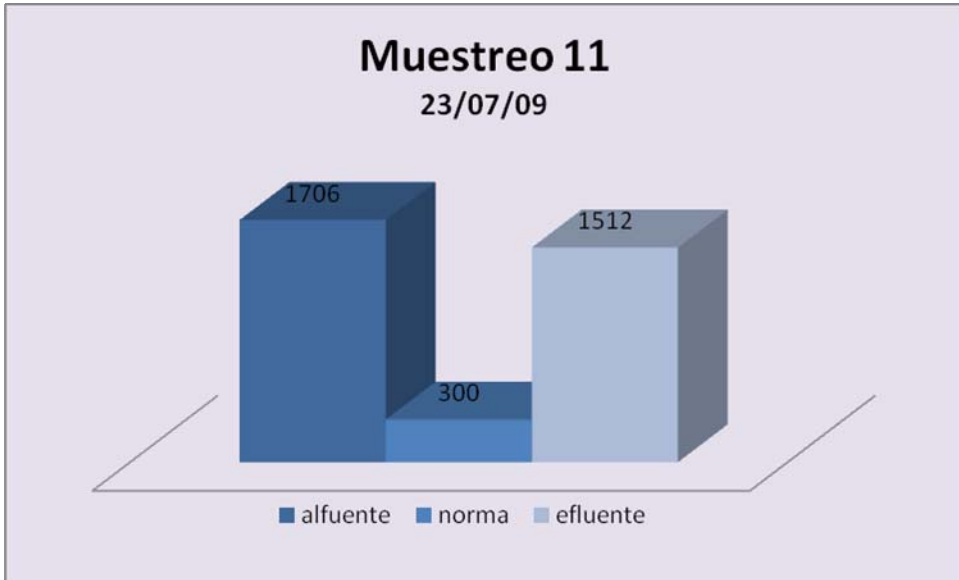


Gráfico E.37. ST del muestreo 11 Vs Norma.

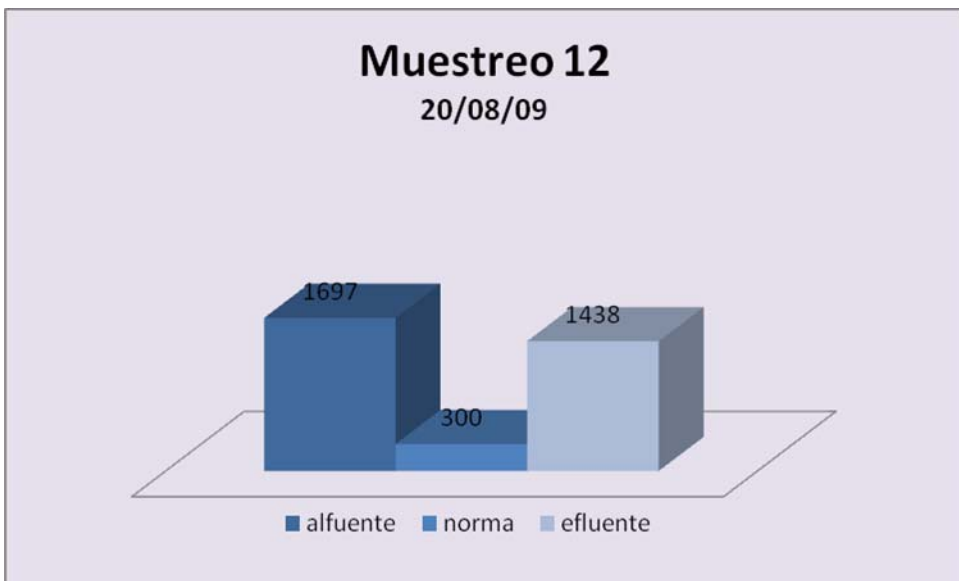


Gráfico E.38. ST del muestreo 12 Vs Norma.

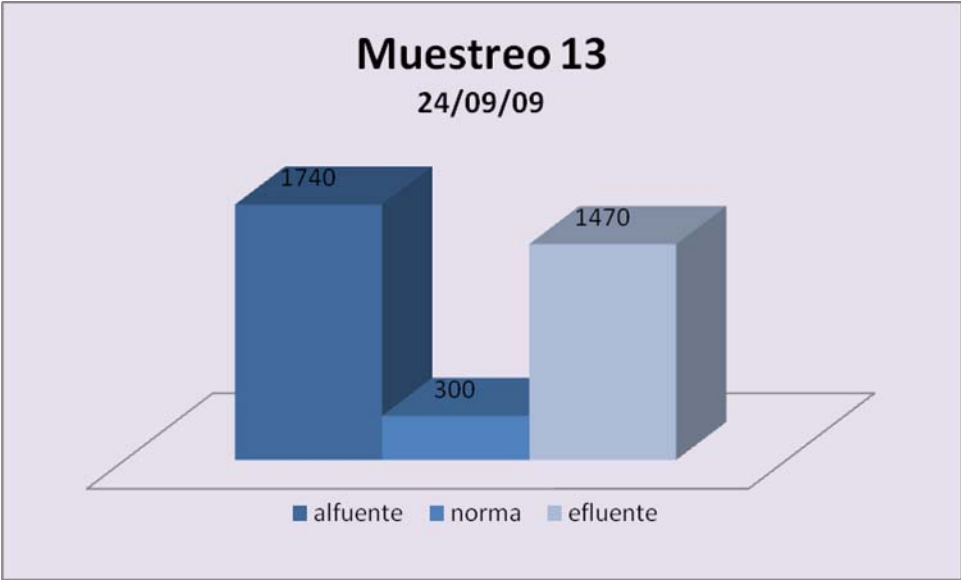


Gráfico E.39. ST del muestreo 13 Vs Norma.

ANEXO F



Fig. f.1



Fig.f.2



Fig. f.3



Fig. f.4

Figuras f.1, f.2, f.3, f.4. Laguna de aireación y maduración colapsada



Fig. f.5



Fig. f.6



Fig. f.7



Fig f.8

Figuras f.5, f.6, f.7, f.8. Laguna sin suministro eléctrico



Fig. f.9



Fig. f.10



Fig. f.11



Fig f12.

Figuras f.9, f.10, f.11, f.12. Aireadores en mal estado



Fig. f.13



Fig. f.14

Figuras f.13, f.14. Tanque de cloración.

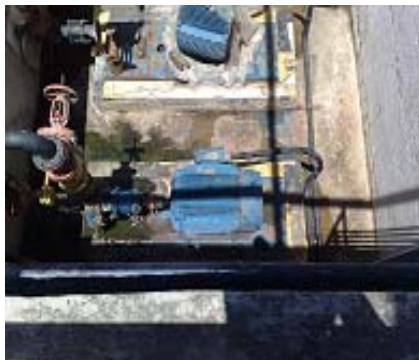


Fig. f.15



fig. f16

Figuras f.15, f.16 Bombas del tanque de cloración.

ANEXO G

DISEÑO DE TANQUE SEDIMENTADOR

TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

Se asume que todo el lodo que sale de las lagunas (mayoritariamente el lodo activado) no tiene toda la aireación que necesita, ya que los aereadores no funcionan todos. Solo dos aereadores funcionando. El sistema esta colapsado se necesita agua clarificada para riego. La producción de sólidos totales es excesiva a la salida del efluente. Se puede como medida de emergencia, construir el sedimentador sin recirculación, los lodos se secarán y podrán servir para abono. Se debe construir el sistema de sacado de lodos.

$$Q_{prom} = \frac{50L/seg * 86400 \text{ seg/día}}{1000L/ m^3} \quad Q_{prom2009} = 4.320 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tasa volumétrica de carga para el 2009

$$V_{LR} = \frac{S_o * Q_{prom}}{V_{tot}} = \frac{\frac{242,92mg}{L} * 4.320 \frac{m^3}{día}}{26.550m^3}$$

$$V_{LR} = 39.526 \frac{mg}{L * día} = 39.526 \frac{g}{m^3 * día}$$

Eficiencia actual de remoción de DBO₅ para el 2009

$$E = \left(\frac{242,92 - 68,38}{242,92} \right) * 100 \quad E = 71,85\% \quad \text{trabajando sólo dos aereadores}$$

El sistema de lagunas actualmente trabaja a un 71,85% de eficiencia en la remoción de la DBO₅. Con esto se demuestra que reparando los aireadores, no hay necesidad de diseñar y construir otra laguna. Ahora se debe calcular la remoción de Sólidos Suspending Totales.

Temporada baja (verano)

$$SST_o = 130,23 \text{ mg/L}$$

$$SST_e = 88,85 \text{ mg/L}$$

$$E_{\text{remoc}} = \left(\frac{130,23 - 88,85}{130,23} \right) * 100 \quad E_{\text{remoc}} = 31,77\%$$

Temporada alta (invierno)

$$SST_o = 91 \text{ mg/L}$$

$$SST_e = 76 \text{ mg/L}$$

$$E_{\text{remoc}} = \left(\frac{91 - 76}{91} \right) * 100 \quad E_{\text{remoc}} = 16,48\%$$

La eficiencia de remoción de los Sólidos Suspending Totales es muy baja en temporada alta y período de lluvia que es en Julio del 2009, cuando es la peor condición para el sistema remueva los Sólidos Suspending Totales, por lo tanto se

recomienda el diseño y construcción de un sedimentador y un sistema de secado de lodos, que serían destinados a venta de abono orgánico. El afluyente saliente todavía tiene una alta tasa de sólidos disueltos para temporada baja (ver anexo A).

BASES DE DISEÑO

Dotación: 200 L/día*hab

$Q_{max} = 300 \text{ L/día*hab}$

$DBO_{5entrada} = 200 \text{ mg/L}$

$DBO_{5salida} = 10 \text{ mg/L}$

Dot: $200 \text{ L/día} * 60.000 = 12 \times 10^6 \text{ L/día}$

$Q_{max} = 12 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ caudal real para el 2015

Se debe tomar un caudal medio para el 2025 de 90 L/seg que es igual a 7776 m³/día con un caudal máximo de 213,81 L/seg.

$SS_i = 76 \text{ mg/L}$

$SS_e = 20 \text{ mg/L}$

$ST = 1706 \text{ mg/L}$

$DBO_5 = 242,50 \text{ mg/L}$

Se asume

$\theta = 1 \text{ día de tiempo de retención}$

Tirante = 1,2 m

El tanque se limpiara en 4 años

CALCULO DE DISEÑO

1.- Determinación de la masa de lodo que se acumulará en el estanque

$$\text{Masa: } (SSi - SSe) * Qm * (10^3 \text{ g/Kg})^{-1} * 365 \text{ día/año}$$

$$\underline{M = (242,50 - 20) \text{ gr/m}^3 * 7776 \text{ m}^3/\text{día} * 365 \text{ día/año}}$$
$$1000 \text{ gr/Kg}$$

$$M = 631.584,4 \text{ Kg/año (biomasa)}$$

Cálculo de la masa de sólidos volátiles y fijos adicionales por año

$$SSV = 0,42 * SST = 0,42 * 631.584,4 \text{ Kg/año}$$

$$SSV = 265.265,45 \text{ Kg/año}$$

Sólidos fijos = sólidos totales – sólidos volátiles

$$= (631.584,4 - 265.265,45) \text{ Kg/año} = 366.318,95 \text{ Kg/año}$$

2.- Determinación de la cantidad de lodo adicional por año y acumulados por 4 años

$$SSVT_{4 \text{ años}} = 0,42 + 0,4 * (4-1) * (SSV \text{ Kg/año})$$

$$SSVT_{4 \text{ años}} = 0,42 + 0,4 * 3 * 265.265,45 \text{ Kg/año}$$

$$SSVT_{4 \text{ años}} = 318.318,96 \text{ Kg/año}$$

Masa total de sólidos acumulados al final de los 4 años

$$SST = 318318,96 + 4 * 366318,95$$

$$SST = 1.783.594,76 \text{ Kg/4años}$$

3.- Dimensiones del estanque

$$T = Q/V = 7.776/12.000$$

$$V = 12.000 \text{ m}^3$$

La altura de los sedimentadores comerciales son aproximadamente 1,2m y la relación de ancho por largo se recomienda 2-3 : 1

$$A = 2*\text{largo} * \text{ancho} = 12.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancho} = 77,46 \text{ m} \sim 80 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 154,92 \text{ m} \sim 150 \text{ m}$$

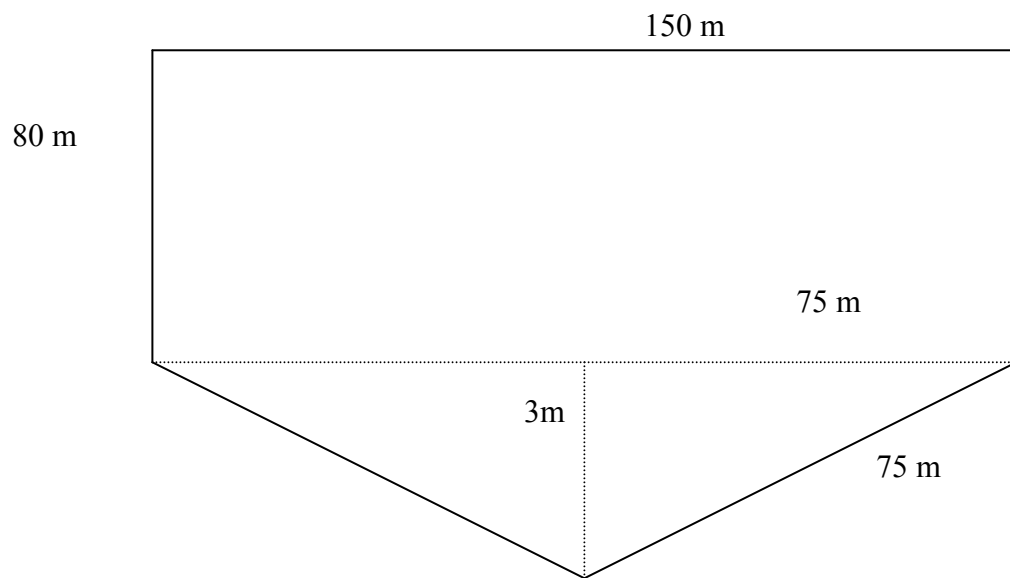
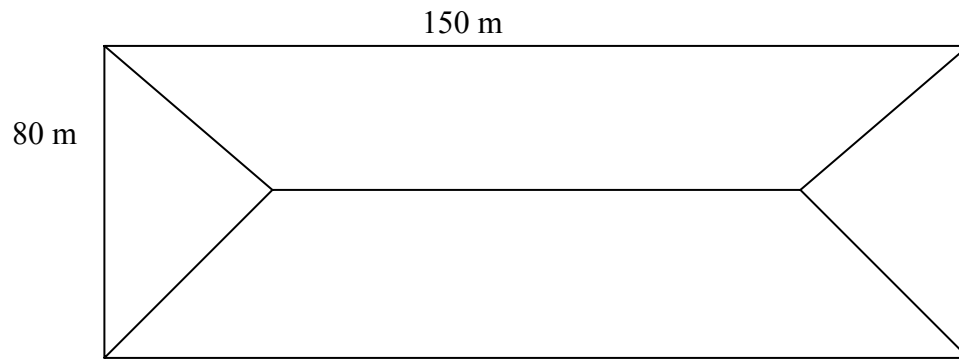
4.- Determinación de la profundidad requerida asumiendo que los sólidos depositados se compactaran a un valor de almacenaje del 15% y que la densidad de sólidos acumulados es 1,06 gr/cm³

$$297,97 \text{ Kg/m}^2 = 1,06*0,15*1000\text{Kg/m}^3$$

d,m

$$d = 297,27 / (1,06*0,15*1000) = 1,87 \text{ m}$$

Distancia requerida para el almacenaje de los lodos = $1,2+1,87 = 3,07 \text{ m} \sim 3 \text{ m}$



ANEXO H



Fig. H1 aireador de flujo descendente de 80 hp



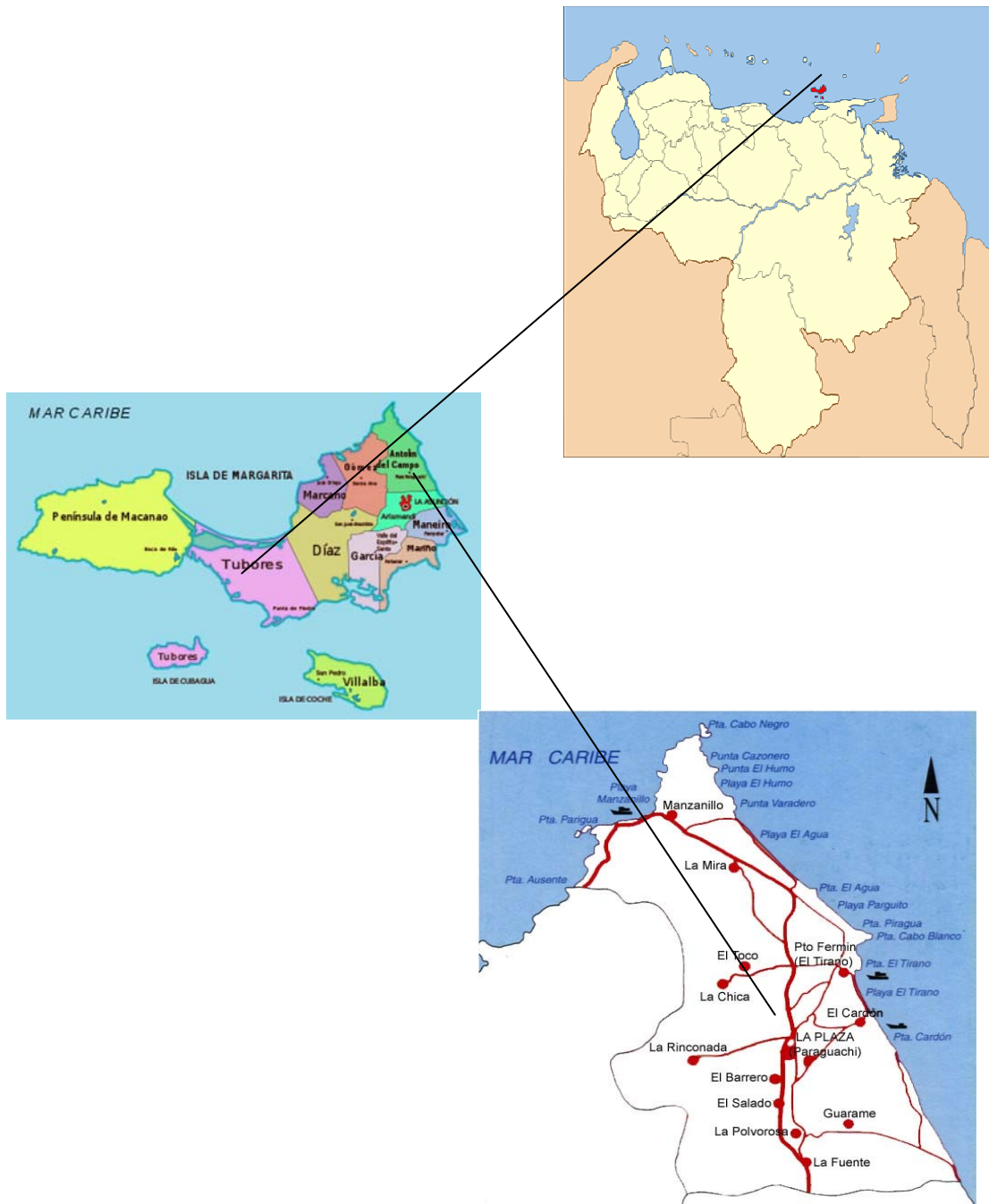
Fig. H2 aireador de flujo descendente de 80 hp

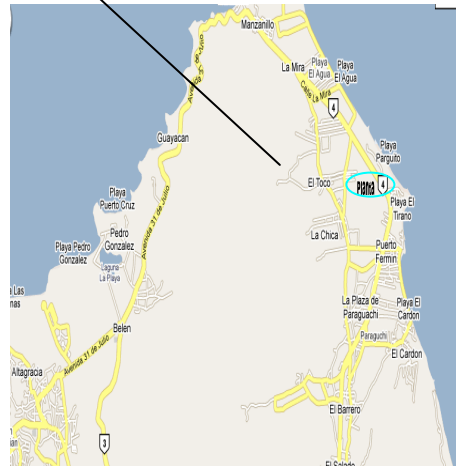
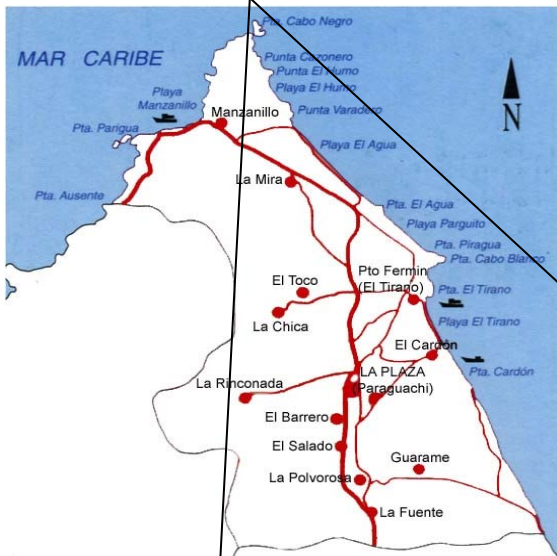


Fig. H3 Dosificador de hipoclorito de calcio de 1 hp de potencia.

ANEXO J

Ubicación relativa de la planta de tratamiento de aguas residuales Aricagua.





GLOSARIO

-Agua: Es un líquido incoloro, inodoro e insípido compuesto de los volúmenes de hidrogeno y de oxigeno. Es un recurso natural de vital importancia para el desarrollo de las actividades humanas.

-Agua Residual: Son aguas sucias procedentes de la lluvia, desagües domésticos y residuos industriales, peligrosos por los microbios, parásitos y productos químicos que contienen.

-Agua Residual Doméstica: Son los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, comercio o instituciones.

-Agua Servida: Son aquellas provenientes de la comunidad, industrias u orto abastecimiento, con contenidos de materiales disueltos y suspendidos.

-Afluente: Es un líquido que fluye hacia un espacio confinado. El afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales es el que entra a la misma para su depuración.

-Análisis: Descomposición, resumen, método que pasa de lo complejo a lo sencillo.

-Análisis Físicos: Sirven para determinar parámetros físicos, tales como: temperatura, sólidos suspendidos, etc.

-Análisis Químicos: Se utilizan para calcular parámetros químicos de las aguas residuales, tales como: DBO, SST, ST, etc.

-Análisis Bacteriológicos: Sirven para determinar los parámetros bacteriológicos de las aguas residuales, tales como: coliformes totales y fecales.

-Bacteria: Son microorganismos unicelulares diferenciado, poseen una cubierta rígida y se reproducen por fisión binaria en uno o más planos.

-Bacterias coliformes: Son bacterias que se encuentran en el tracto intestinal de loa animales de sangre caliente y que se usan como indicadores de contaminación si se encuentra en el agua

-Contaminación: Alteración del estado natural de un medio, tal como: los alimentos, el aire, el agua, el suelo, etc.; productos del agregado de sustancias extrañas (químicos, patógenos, aguas negras), que le confieren riesgo a la salud de los seres vivientes que entran en contacto con ese medio alterado.

-Contaminación del agua: Acción o efecto de introducir elementos compuestos o formas de energías capaces de modificar las condiciones del cuerpo de agua superficial o subterráneo.

-Caracterización: Evaluación de la calidad del agua en los aspectos físicos, químicos y biológicos.

-Coliformes Fecales: Bacterias de origen patógeno que se encuentran en el intestino del hombre y demás animales.

-Desechos: Es todo residuo de un proceso de transformación o de utilización, o toda sustancia, materia o en general todo bien mueble que se destine al abandono.

-Desechos Sólidos: Son todos los desechos que proceden de actividades humanas y animales, que son normalmente sólidos y se desechan como inútiles; pueden ser de origen domiciliario, industrial, comercial o agrícola.

-Desarenadores: Es un drenaje superficial que tiene como característica fundamental un depósito para la retención de arenas.

-Demanda Bioquímica de Oxígeno: Es la cantidad de oxígeno en mg/l que hace falta para descomponer (oxidar) la materia orgánica de un agua polucionada por acción bioquímica aerobia.

-Demanda Química: Es un ensayo que se realiza en el laboratorio que sirve para medir en conjunto, aquellas sustancias orgánicas susceptible de ser oxidados por diversos reactivos en diferentes condiciones.

-Estación de Bombeo: Instalación compuesta por equipos de bombeo con sus accesorios, protegidos del medio exterior con una edificación adecuada.

-Lagunas: Son excavaciones realizadas en un terreno para el tratamiento de aguas residuales.

-Lagunas de Estabilización: Son lagunas artificiales construidas para realizar el tratamiento de aguas residuales.

-Lagunas de Maduración: Son lagunas que se emplean en el tratamiento terciario con el objetivo de remover la DBO carbonácea.

-Lagunas Aerobias: Son aquellas que operan en presencia de oxígeno, y su profundidad varía entre 1m – 1.3m.

-Muestreo: Es un programa que se emprenden con el fin de obtener y datos necesarios para reportar el cumplimiento de las normas.

-Muestra Simple: Son aquellas que representa solamente las características del agua residual para el instante de muestreo.

-Muestra Compuesta: Son aquellas utilizadas para asegurar representatividad y detectar efectos de la descarga variable de los diferentes contaminantes.

-Oxígeno Disuelto: Es un parámetro biológico muy importante en el diseño, operación y evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

-Planta de Tratamiento: Conjunto de obras utilizadas con el propósito de descontaminar el agua proveniente de actividades de consumo cotidiano.

-Procesos Aerobios: Son Procesos en el tratamiento biológico que ocurre en presencia de oxígeno.

-pH: Es un parámetro químico inorgánico el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de ión hidrógeno.

-Sólidos Suspendidos: Es la medida de la cantidad de sólidos que se recogen en un filtro que cumple ciertas especificaciones.

-Tratamiento Aerobio: Es aquel en el que las bacterias utilizan el oxígeno disuelto para descomponer la materia orgánica.

-Tratamiento Preliminar: Es aquel que remueve los constituyentes que pueden causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores.

-Tratamiento Primario: Se refiere a la remoción parcial de los sólidos suspendidos u otro organismo patógeno mediante sedimentación.

-Tratamiento Secundario: Es un proceso que tiene por objetivo el tratamiento apropiado del resto del material suspendido o coloidal y biodegradable.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	Evaluación del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales con lagunas de oxidación Aricagua, Municipio Antolín Del Campo, Estado Nueva Esparta.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Tarache P, José	CVLAC: 14.633.594 EMAIL: jltarache80@hotmail.com
Gil G, Cristina	CVLAC: 16.037.320 EMAIL: cmg_82@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

- Evaluación.
- Funcionamiento
- Tratamiento
- Aguas residuales.
- lagunas

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Civil

RESUMEN (ABSTRACT):

En el año 1998 inicio su funcionamiento la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con Lagunas de Oxidación Aricagua, ubicada en el Municipio Antolín del Campo del Estado Nueva Esparta. Esta planta dispone de una capacidad máxima de 60 l/s., el tiempo de retención actual se estima en 21 días y sirve a una población de 20.325 habitantes, las aguas producidas por esta población son netamente residenciales y comerciales, debido a que este municipio esta dedicado al turismo, la pesca y la agricultura. En la actualidad, el agua residual tratada no emana la calidad esperada, lo que ha surgido la necesidad de realizar este trabajo; hacer una evaluación con la finalidad de determinar su funcionamiento. Para ello se realizó un muestreo que comprendió un lapso de un (1) año, donde se analizaron los caudales de entrada y de salida, la calidad física-química y bacteriológica como lo es: pH, DBO, SST, ST, SDT, Coliformes Totales y Fecales, Conductividad, Salinidad, Cloruros; tomando como marco comparativo los parámetros de diseño y de la Normas para la Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Aguas y Vertidos o Efluentes líquidos, publicada en la Gaceta Oficial nº 5021. La información recabada muestra un efluente del sistema de tratamiento con un déficit en los valores de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos, un deterioro en la planta física y equipos (planta eléctrica, sistema de bombeo, sistema de aireación y de cloración), dando como resultado un agua no apta para su empleo, es decir, en el riego de cultivos y ornamentos

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Guerra M. Oly.	ROL	CA	ASX	TU	JU
	CVLAC:	3.733.796			
	E_MAIL	Olyguerra1@cantv.net			
	E_MAIL				
Ghanem Ana	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	5.396.725			
	E_MAIL	anaghanem@hotmail.com			
	E_MAIL				
Araujo Francelia	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	8.026.290			
	E_MAIL	faraujobap@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	04	14
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Evaluación planta Aricagua.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: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Civil

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Civil

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 exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

AUTOR

Tarache Pericana, José

AUTOR

Gil García, Cristina

TUTOR

Guerra M. Oly

JURADO

Ghanem, Ana

JURADO

Araujo, Francelia.

Yasser Saab

POR LA SUBCOMISION DE TESIS