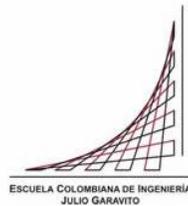


Maestría en Ingeniería Civil

Evaluación de la PTAR Tauramena

**Evelin de la Mercedes García Jara
Y
César Augusto Longas Jiménez**

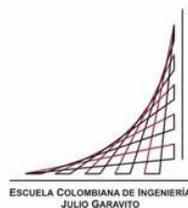
Bogotá, D.C., abril 27 - 2016



**Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente**

**Jairo Alberto Romero Rojas
Director**

Bogotá, D.C., abril 27 - 2016



La tesis de maestría titulada “Evaluación de la PTAR Tauramena”, Presentada por Evelin García Jara y César Augusto Longas Jiménez, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos hidráulicos y Medio Ambiente.

Director de la tesis

Jairo Alberto Romero Rojas

Jurado

María Carolina Romero

Jurado

Héctor Matamoros

Bogotá, D.C., 27 de abril de 2016

Dedicatoria

Esta tesis es parte de nuestra vida y comienzo de nuevos logros y triunfos en nuestras carreras profesionales, por esto, en primer lugar, la dedicamos a nuestras madres por su gran amor, dedicación y enseñanzas y sin lugar a duda, a nuestros tres hijos Mónica, Paula y César que son el motor de nuestras vidas, y el impulso para seguir adelante, logrando cada día más un escalón en nuestra profesión, y ser ejemplo y poder disfrutar de los resultados de cada uno de los logros obtenidos.

Agradecimientos

La vida se encuentra llena de retos y uno de ellos es la carrera profesional. Al vernos inmersos dentro de ella, no hemos dado cuenta que más allá de ser un reto, es una base de entendimiento del área en el que estamos inmersos, para lo concerniente a la vida y nuestro futuro.

Agradecemos a la Universidad por habernos aceptado ser parte de ella, así como también a mis maestros que brindaron sus conocimientos y apoyo.

Nuestros agradecimientos al ingeniero Jairo Alberto Romero Rojas por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, por orientarnos para sacar nuestro tema adelante.

RESUMEN

El sistema (Ilustración 1) pertenece a un tratamiento biológico conformado por dos trenes en paralelo de Lagunas de Estabilización, compuesto por: sistema de pretratamiento, dos lagunas Anaerobias, dos lagunas Facultativas y dos lagunas de maduración. El ingreso del caudal a la planta se realiza por medio de una cámara de entrada en donde se conectan las descargas finales del sistema de alcantarillado, compuesto por dos redes paralelas de tubería de 24". A continuación, el flujo pasa a una estructura de control de excesos, que controla el caudal que debe entrar al tratamiento y vierte los excesos, directamente al efluente de la planta. Continúa con dos rejillas en serie a lo ancho de un canal de conducción y a una canaleta Parshall; posteriormente se tiene un desarenador de dos cámaras en paralelo, seguido del sistema de pretratamiento antiguo y de uno nuevo, el cual consta de cámara de llegada, cámara de repartición, sistema de cribado y desarenador. Después del pretratamiento el caudal pasa a un sifón que se encarga de alimentar cada tren de lagunas Anaerobias, facultativa y maduración. Y finalmente pasa a la cámara de salida del efluente. (Longas Jimenéz, 2015)

1 Contenido

Capítulo 1	1
Introducción.....	1
Capítulo 2.....	3
Componentes de la PTAR Tauramena.	3
2.1 Cámara de entrada.....	5
2.2 Rejilla.....	5
2.3 Canaleta Parshall.	7
2.4 Desarenador.....	8
2.5 Cámara de llegada antigua.....	9
2.6 Cámara de repartición.	10
2.7 Cámara de cribado.	11
2.8 Desarenadores - No. 1 y No. 2.	11
2.9 Lagunas Anaerobias.....	13
2.10 Lagunas facultativas.....	15
2.11 Lagunas de maduración.	17
2.12 Efluente.....	19
2.13 Lecho de secados de lodos.	21
2.14 Infraestructura.	21
Capítulo 3.....	23
Antecedentes	23
Capítulo 4.....	25
Normas de vertimiento	25
4.1 Tasas retributivas.	26
Capítulo 5.....	29
Parámetro de diseño	29
5.1 Población base para proyecciones.	29
5.1.1 Nivel de complejidad.....	30

5.1.2	Proyecciones de población.....	31
	Análisis poblacional del casco urbano de Tauramena.....	31
5.1.3	Método Aritmético.....	31
5.1.4	Método Geométrico.....	33
5.1.5	Método Exponencial:.....	34
5.1.6	Tasa de crecimiento seleccionada.....	36
5.1.7	Población flotante.....	39
5.1.8	Capacidad económica del municipio.....	41
5.1.9	Período de diseño.....	43
5.2	Dotación.....	44
5.2.1	Dotación Neta Máxima.....	44
5.3	Cálculo de caudales.....	46
5.3.1	Caudal medio diario Q_{md}	46
5.3.2	Factor de mayoración (F).....	48
5.3.3	Caudal máximo horario (Q_{MH}).....	48
5.3.4	Conexiones erradas (Q_{ce}).....	48
5.3.5	Infiltración (Q_{inf}).....	49
5.3.6	Caudal de diseño de la PTAR ($Q_{DT PTAR}$).....	50
Capítulo 6.....		53
Metodología De Trabajo.....		53
Generación del plan de muestreo.....		54
Caracterización físico química y microbiológica.....		55
6.1	Características físicas de las lagunas.....	55
6.2	Aforos en la PTAR.....	55
6.3	Resultados de DBO y DQO.....	56
6.4	Resultados de oxígeno disuelto.....	59
6.5	Resultados de temperatura.....	61
6.6	Resultados de pH.....	63
6.7	Resultados de sólidos suspendidos totales.....	64
6.8	Resultados de grasas y aceites.....	65
6.9	Resultados de coliformes totales.....	66
Capítulo 7.....		68
	Análisis de resultados.....	68

7.1	Eficiencias porcentuales de DBO.....	68
7.2	Eficiencias obtenidas en DQO.	68
7.3	Eficiencias obtenidas en sólidos suspendidos totales (SST).....	69
7.4	Eficiencias obtenidas en grasas y aceites.....	69
7.5	Eficiencias obtenidas en coliformes totales.....	70
7.6	Análisis de la laguna Anaerobia.....	70
7.6.1	Situación Actual.....	71
7.6.2	Ambos trenes de lagunas	71
7.7	Análisis de la laguna facultativa.	72
7.7.1	Situación Actual.....	72
7.7.2	Ambos trenes de lagunas.	73
7.8	Análisis de la laguna de maduración.....	74
7.8.1	Situación Actual.....	74
7.8.2	Ambos trenes de lagunas.	75
7.9	Resumen análisis de DBO, DQO, SST, Grasas y Aceites y Coliformes Totales.	76
7.10	Caracterización y análisis de resultados de la fuente receptora.....	76
7.10.1	Aforo fuente receptora.	77
7.10.2	Resultados de DBO en la fuente receptora.....	78
7.10.3	Resultados de DQO en la fuente receptora.	79
7.10.4	Resultados de SST en la fuente receptora.	80
7.10.5	Resultados de grasas y aceites en la fuente receptora.	81
7.10.6	Resultados de pH en la fuente receptora.....	82
7.10.7	Resultados de oxígeno disuelto en la fuente receptora.....	83
7.10.8	Resultados de temperatura en la fuente receptora.	84
7.10.9	Resultados de coliformes totales en la fuente receptora.....	85
Capítulo 8.....		86
Planteamiento de alternativas		86
8.1.1	Alternativas de Solución.	86
8.1.2	Requisitos de diseño	86
Capítulo 9.....		104
Recomendaciones de operación y mantenimiento.....		104
9.1	Cámara de entrada.....	104
9.1.1	Operación.....	105

9.1.2	Mantenimiento.....	105
9.2	Rejillas.....	105
9.2.1	Operación.....	106
9.2.2	Mantenimiento.....	106
9.3	Canaleta Parshall.....	107
9.3.1	Operación.....	107
9.3.2	Mantenimiento.....	108
9.4	Desarenador.....	108
9.4.1	Operación.....	109
9.4.2	Mantenimiento.....	109
9.5	Cámara de llegada.....	110
9.6	Cámara de repartición.....	111
9.7	Cámara de cribado.....	111
9.7.1	Operación.....	112
9.7.2	Mantenimiento.....	112
9.8	Desarenadores No.1 y No. 2.....	113
9.8.1	Operación.....	113
9.8.2	Mantenimiento.....	113
9.9	Lagunas primarias.....	114
9.10	Lagunas secundarias.....	115
9.11	Lagunas de terciarias.....	116
9.12	Efluente.....	118
9.13	Lecho de secado de lodos.....	118
9.14	Infraestructura servicios y complementarios.....	119
9.14.1	Operación.....	119
9.14.2	Mantenimiento.....	120
9.14.3	Lecho de secado.....	121
Capítulo 10.....		122
Conclusiones y Recomendaciones.....		122
Referencias.....		125

ÍNDICE DE FIGURAS

Foto 1. Cámara de Entrada.....	5
Foto 2. Rejillas Pre- Tratamiento.....	7
Foto 3. Segundo Sistema de Rejillas	7
Foto 4. Canaleta Parshall.....	8
Foto 5. Desarenador	8
Foto 6. Entrada y salida del desarenador	9
Foto 7. Cámara de llegada.....	10
Foto 8. Cámara de Repartición	10
Foto 9. Cámara de cribado.....	11
Foto 10. Desarenador 1 y 2.....	12
Foto 11. Estructura de control de caudales Desarenador 1	12
Foto 12. Válvulas de caudal de salida del desarenador No.2 y Cámaras de repartición de caudal hacia las Lagunas Anaerobias	13
Foto 13. Lagunas Anaerobias	14
Foto 14. Canal de repartición, entrada del caudal proveniente del desarenador No.2	14
Foto 15. Estructuras de Extracción de lodos	14
Foto 16. Lagunas Facultativas, se observa el sistema de aireación fuera de servicio.....	16
Foto 17. Estructura de Entrada a las Lagunas.....	16
Foto 18. Canal de Entrada a las Lagunas.....	16
Foto 19. Vertedero y Tubería de Salida	17
Foto 20. Sistema de Aireación, Control Eléctrico del Sistema y Eje.....	17
Foto 21. Lagunas de Maduración.....	18
Foto 22. Canales de Entrada	18
Foto 23. Vertedero de Salida	19
Foto 24. Sistema de Aireación Laguna de Maduración Norte, el cual se encuentra fuera de servicio	19
Foto 25. Cámaras del Efluente.....	20
Foto 26 Recepción de Aguas Tratadas y By-Pass, segunda Estructura de Paso.....	20
Foto 27. Escalinatas	20
Foto 28. Lecho de secado de Lodos	21
Foto 29. Caseta Operatoria y Laboratorio.....	22
Foto 30. Planta Generadora de Energía	22
Foto 31. Caseta de Herramienta y Vía de Acceso a la PTAR	22
Foto 32. Compuertas cámara de entrada	104
Foto 33. By-Pass Caudal de Excesos y Acumulación de Arenas.....	106
Foto 34. Desarenador con acumulación de arenas	109
Foto 35. Acumulación de arenas en Secciones By- Pass	110
Foto 36. Válvulas de cámara de repartición.....	111
Foto 37. Rejillas de Cribado	112
Foto 38. Sólidos en Desarenador y Rejillas	113
Foto 39. Laguna Anaerobia No.1	115
Foto 40. Laguna Anaerobia No.2. Fuera de servicio por trabajos de desenlode	115
Foto 41. Lagunas Facultativas, se observa los equipos de aireación fuera de servicio en la laguna No.1, la laguna No.2 está fuera de servicio.	116
Foto 42. Canales de entrada y salida	116

Foto 43. Obstrucción en canales y aparición de Vegetación	117
Foto 44. Cámaras del Efluente.....	118
Foto 45. Estructura de Lecho de Lodos	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de flujo PTAR Tauramena.....	3
Ilustración 2. Planta de la PTAR Tauramena.....	4
Ilustración 3. Estructuras de control de excesos, rejillas de cribado y desarenador nuevo	6
Ilustración 4. Población Vs Habitantes.....	30
Ilustración 5. Proyección de Población con diferentes Métodos.....	37
Ilustración 6. Área superficial de cada laguna	55
Ilustración 7. Caudal en L/s Vs Fecha de toma de muestra	56
Ilustración 8. Resultados de DBO en los diferentes puntos de muestreo de la PTAR	57
Ilustración 9. Resultados de DQO en los diferentes puntos de muestreo de la PTAR.....	58
Ilustración 10. Resultados de OD en los distintos puntos de muestreo el día 18/09/2015	60
Ilustración 11. Resultados de OD en los distintos puntos de muestreo el día 21/09/2015	60
Ilustración 12. Resultados de OD en los distintos puntos de muestreo el día 23/09/2015	61
Ilustración 13. Resultados de temperatura en los distintos puntos de muestreo el día 18/09/2015	62
Ilustración 14. Resultados de temperatura en los distintos puntos de muestreo el día 21/09/2015	62
Ilustración 15. Resultados de temperatura en los distintos puntos de muestreo el día 23/09/2015	63
Ilustración 16. Resultados de sólidos suspendidos totales.....	65
Ilustración 17. Resultados de grasas y aceites.....	66
Ilustración 18. Resultados de Coliformes Totales.....	67
Ilustración 19. Aforos en la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga.....	77
Ilustración 20. Resultados de DBO de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga.....	78
Ilustración 21. Resultados de DQO de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga.....	79
Ilustración 22. Resultados de SST de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga.....	80
Ilustración 23. Resultados de grasas y aceites de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga.....	81
Ilustración 24. Resultados de pH de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga.....	82
Ilustración 25. Resultados de OD de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga.....	83
Ilustración 26. Resultados de temperatura de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga.....	84
Ilustración 27. Resultados de coliformes totales de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga.....	85
Ilustración 28. Proceso de remoción de DBO, en una laguna aireada	87
Ilustración 29. Esquema de la alternativa No.1	88

Ilustración 30. Esquema de la alternativa No.2.....	88
Ilustración 31. Canaleta Parshall.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Objetivos de calidad para la quebrada La Portana.....	28
Tabla 2.Datos de población DANE Municipio de Tauramena.....	29
Tabla 3. Asignación del nivel de complejidad	30
Tabla 4. Métodos de Proyección.....	31
Tabla 5.Tasa de crecimiento Aritmético	32
Tabla 6. Tasa de crecimiento Método geométrico	33
Tabla 7. Tasa de crecimiento Método Exponencial	34
Tabla 8. Tasas Medias de crecimiento %	35
Tabla 9. Resumen tasa Crecimiento	36
Tabla 10. Proyección de Población.....	38
Tabla 11. Población flotante para el año 2015 del casco urbano, municipio de Tauramena	39
Tabla 12. Población total para el año 2040 del casco urbano, municipio de Tauramena	39
Tabla 13. Proyección de población permanente y flotante del casco urbano, municipio de Tauramena	40
Tabla 14. Parámetros capacidad económica	42
Tabla 15. Nivel de complejidad	43
Tabla 16. Asignación del periodo de Diseño.....	43
Tabla 17. Nivel de complejidad Tauramena.....	43
Tabla 18. Determinación de la Dotación Neta Máxima.....	44
Tabla 19. Dotación Neta Máxima	44
Tabla 20.Consumos típicos y totales según uso.....	45
Tabla 21. Cálculo del caudal doméstico	47
Tabla 22. Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial	49
Tabla 23. Valores de infiltración según el nivel de complejidad	50
Tabla 24. Caudales de diseño de la PTAR	51
Tabla 25. Caudales de Diseño para la optimización de la PTAR	52
Tabla 26. Características de las lagunas	55
Tabla 27. Aforo de caudales en la PTAR en la Canaleta Parshall	56
Tabla 28. Medición de DBO (mg/L) en cada Laguna.....	57
Tabla 29. Medición de DQO (mg/L)	58
Tabla 30. Biodegradabilidad del agua Residual DQO/DBO	58
Tabla 31. Medición de Oxígeno Disuelto mg/L	59
Tabla 32. Resultados de T °C	61
Tabla 32. Registro de pH	64
Tabla 34. Resultados de Sólidos Suspendidos Totales.....	64
Tabla 35. Resultados de Grasas y Aceites en mg/L.....	65
Tabla 36. Resultados de Coliformes totales en NMP/100 mL	66
Tabla 37. Eficiencias porcentuales de DBO.....	68
Tabla 38. Eficiencias porcentuales en DQO	68
Tabla 39. Eficiencias porcentuales en SST	69
Tabla 40. Eficiencias porcentuales en Grasas y Aceites	69

Tabla 41. Eficiencias Porcentuales en Coliformes Totales	70
Tabla 42. Cálculo de cargas de la laguna Anaerobia	71
Tabla 43. Cálculo de cargas de la laguna Anaerobia	72
Tabla 44. Cálculo de cargas de la laguna Facultativa	73
Tabla 45. Cálculo de cargas de la laguna facultativa.....	74
Tabla 46. Cálculo de cargas de la laguna de Maduración	75
Tabla 47. Cálculo de cargas de la laguna de Maduración	75
Tabla 48. Resumen Análisis de DBO, DQO, SST, Grasas y aceites y Coliformes Totales	76
Tabla 49. Resultados de Caudal (m ³ /d) en la fuente receptora	77
Tabla 50. Resultados de DBO (mg/L) en la fuente receptora	78
Tabla 51. Resultados de DQO (mg/L) en la fuente receptora	79
Tabla 52. Resultados de SST (mg/L) en la fuente receptora.....	80
Tabla 53. Resultados de Grasas y Aceites (mg/L) en la fuente receptora	81
Tabla 54. Resultados de pH en la fuente receptora.....	82
Tabla 55. Resultados de Oxígeno Disuelto (mg/L) en la fuente receptora	83
Tabla 56. Resultados de Temperatura (°C) en la fuente receptora	84
Tabla 57. Resultados de Coliformes Totales (NMP/100mL) en la fuente receptora	85
Tabla 58. Cálculos de la laguna primaria aireada aerobia.....	90
Tabla 59. Laguna secundaria Facultativa	93
Tabla 60. Laguna de Maduración.....	94
Tabla 61. Laguna primaria aireada aerobia	95
Tabla 62. Laguna secundaria aireada facultativa	98
Tabla 63. Laguna terciaria.....	101

Capítulo 1

Introducción

Los vertimientos de la PTAR, del casco urbano del municipio de Tauramena, no cumplen con objetivos de calidad exigidos por la autoridad ambiental regional CORPORINOQUIA, establecidos para la quebrada La Portana, fuente receptora. Por lo anterior la Procuraduría Ambiental, demandó al municipio de Tauramena, a la Empresa de Servicios Públicos del Departamento “ACUATODOS S.A. E.S.P.”, y a CORPORINOQUIA, ante el tribunal administrativo de Casanare y en consecuencia el tribunal, dicta un fallo obligando a las entidades relacionadas a tomar correctivos.

En el presente trabajo inicialmente se realizó una descripción detallada de cada componente de la PTAR, luego se establecieron los parámetros de diseño, para evaluar la PTAR, posteriormente, se evalúa el funcionamiento de las lagunas de estabilización, evaluando las eficiencias actuales en remoción de DBO, DQO, SST, y coliformes fecales totales en cada laguna, y finalmente se plantearon alternativas de solución para la optimización de las lagunas de estabilización.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Tauramena se encuentra localizada a 1,6 kilómetros del casco urbano, en la vereda Aceite Alto; recibe el agua residual doméstica generada en el casco urbano del municipio, al igual que las aguas de la planta de beneficio animal y las correspondientes a la vereda Cabañas. El efluente del sistema de tratamiento es vertido a la Quebrada La Portana.

La planta de tratamiento se encuentra conformada por dos trenes en paralelo de lagunas de estabilización, las cuales están compuestas por: sistema de pre - tratamiento, lagunas Anaerobias, lagunas facultativas y lagunas de maduración. El sistema cuenta con lecho de secado de lodos.

La entrada del caudal a la planta se realiza por medio de una cámara de entrada en donde se conectan las descargas finales del sistema de alcantarillado, compuestas por dos redes paralelas de 24", en PVC y en concreto respectivamente. A continuación, el flujo pasa a una estructura de control de excesos, que controla el caudal que debe entrar al tratamiento y vierte los excesos, directamente al efluente de la planta. Continúa con dos rejillas en serie a lo ancho de un canal de conducción y a una canaleta Parshall; posteriormente se tiene un desarenador de dos cámaras en paralelo, seguido del sistema de pretratamiento antiguo y de uno nuevo, el cual consta de cámara de llegada, cámara de repartición, sistema de cribado y desarenador. Después del pretratamiento el caudal pasa a un pozo que se encarga de alimentar cada tren de lagunas Anaerobias, facultativa y maduración. Y finalmente pasa a la cámara de salida del efluente. (Longas Jiménez, 2015).

Capítulo 2.

En este capítulo se describen los componentes de la PTAR de Tauramena, en la ilustración_1, se presenta el diagrama de flujo de la operación y en la ilustración 2, la distribución en planta de sus componentes

Componentes de la PTAR Tauramena.

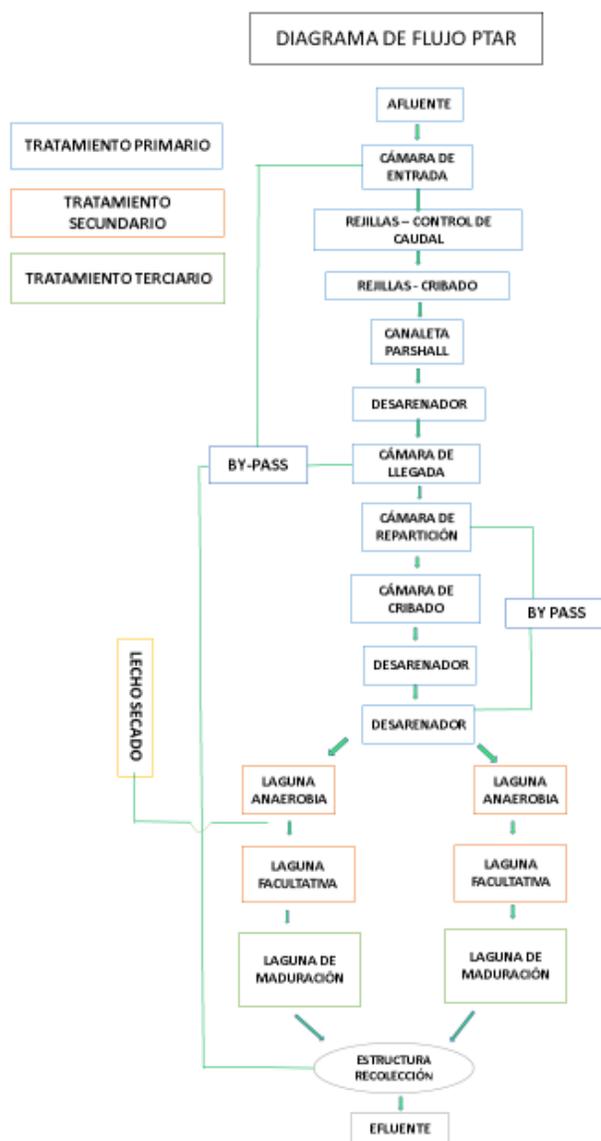


Ilustración 1. Diagrama de flujo PTAR Tauramena

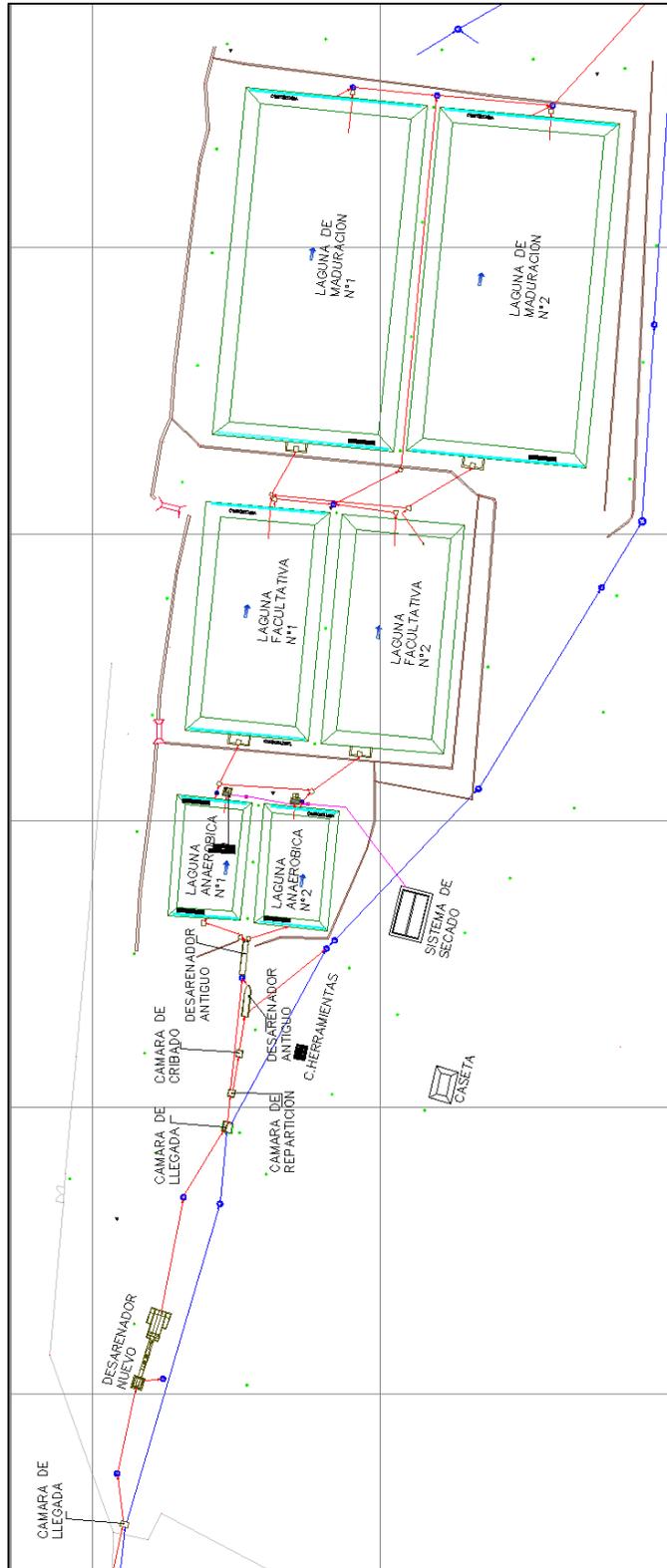


Ilustración 2. Planta de la PTAR Tauramena

2.1 Cámara de entrada

La cámara de entrada es una estructura en concreto con un área de 2,2 x 2,8 m, que tiene la función de recibir, combinar y homogeneizar, el caudal para el inicio del tratamiento de las descargas finales del sistema de alcantarillado (recibe 2 tuberías de 24" en PVC y en concreto respectivamente). Cuenta con escalera de acceso en uno de sus costados y una reja de protección que sirve de tapa construida en varilla. (Longas Jimenéz, 2015)



Foto 1. Cámara de Entrada.

2.2 Rejilla.

La planta de tratamiento cuenta con dos pares de rejillas gruesas de limpieza manual; El primer par de rejillas cumple la función de control de caudales de la planta; las AR ingresan a través de un canal 1.2 m de ancho y 0.39 m de altura, cuando las aguas del canal sobrepasan la altura del canal las aguas son vertidas por las rejillas de cribado de control de flujo y el segundo par de rejillas cumple la función de remover material grueso, generalmente flotante, contenidos en el agua residual cruda, que puede obstruir o dañar bombas, tuberías y equipos de la planta de tratamiento e interferir con la buena operación de los procesos de tratamiento. (Longas Jimenéz, 2015)

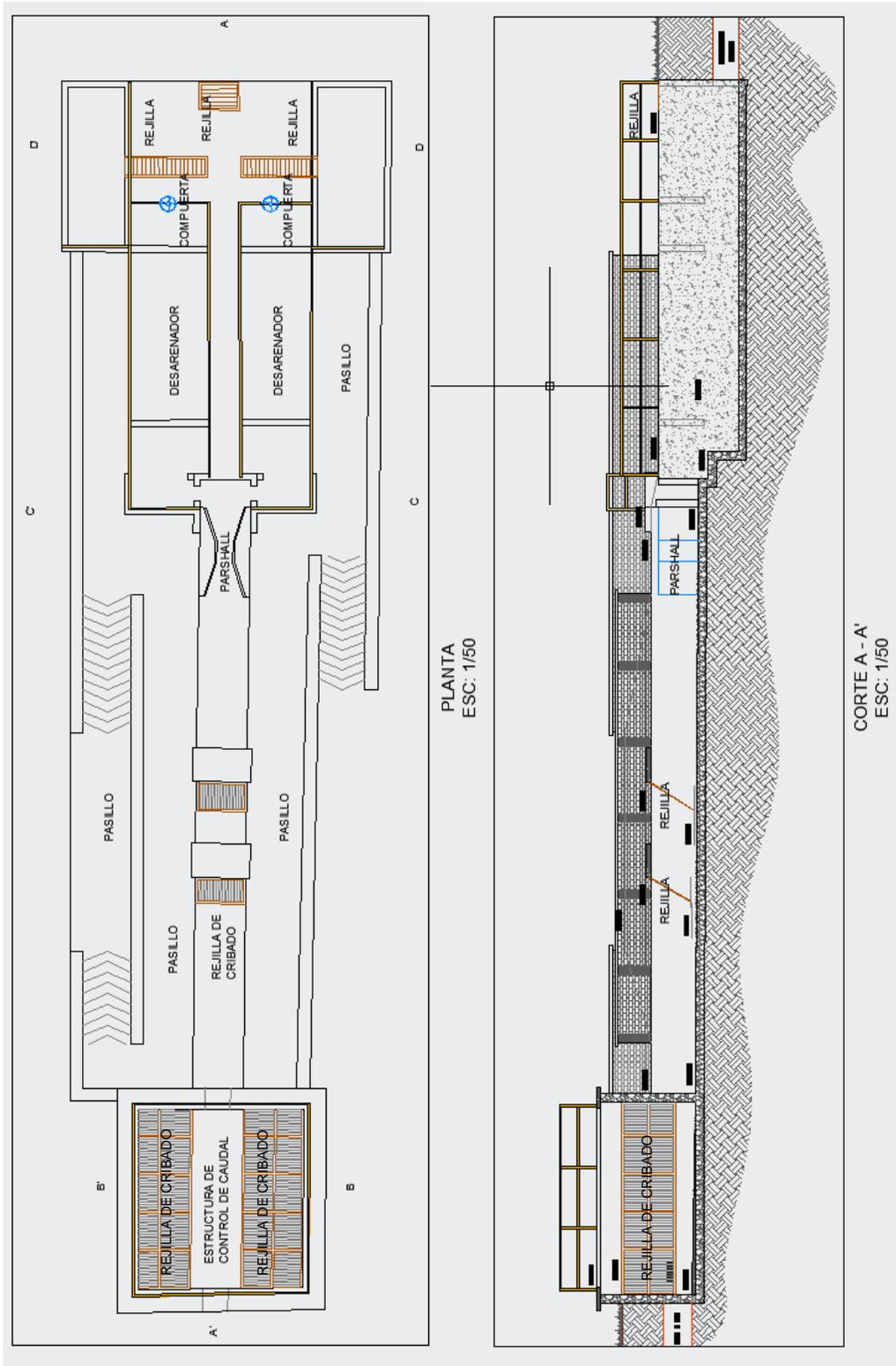


Ilustración 3. Estructuras de control de excesos, rejillas de cribado y desarenador nuevo



Foto 2. Rejillas Pre- Tratamiento



Foto 3. Segundo Sistema de Rejillas

2.3 Canaleta Parshall.

Estructura construida en Poliéster reforzado de fibra de vidrio, con un ancho de garganta de 22,9 cm - 9"), la canaleta trabaja dentro de un rango de 2,55 a 251,9 L/s. La función de esta estructura es permitir la medición del caudal de ingreso a la planta, para control operativo y toma de registros. Y su ecuación (Arboleda Valencia, 2000) de caudal es la siguiente:

$$Q = 0,535 H_a^{1,53}$$

En donde, Caudal, Q en m³/s

Altura de lámina de agua en la sección B de la canaleta Parshall, H_a en m.



Foto 4. Canaleta Parshall

2.4 Desarenador.

El tratamiento primario lo compone un desarenador cuya estructura hidráulica es de forma rectangular alargada de flujo horizontal, encargada de la remoción de material discreto. El sistema de desarenado opera en dos secciones en paralelo, lo cual, es adecuado para las labores de mantenimiento. El sistema cuenta a la entrada y salida con elementos para el control de flujo, en la entrada una compuerta manual que interrumpe el paso de agua hacia cualquiera de los tanques de desarenado, y en la salida existen dos compuertas de vástago ascendente, manipuladas mediante volante.

La estructura está construida en concreto reforzado con un área superficial de 18,51m², un volumen de 27 m³. (Longas Jiménez, 2015)



Foto 5. Desarenador



Foto 6. Entrada y salida del desarenador

2.5 Cámara de llegada antigua.

La cámara de llegada antigua es una estructura en concreto reforzado de forma irregular de 9,2 m² de área, que corresponde a la entrada del sistema antiguo de pre-tratamiento. A esta cámara llegan las aguas procedentes del desarenador y del By-Pass; la función de esta estructura, es controlar los caudales y permitir que excesos no evacuados inicialmente ingresen a la línea de Bypass. Esta estructura permite sacar de servicio el nuevo sistema de pretratamiento para labores de mantenimiento. Habitualmente la línea que proviene del desarenador permanece abierta, está se regula mediante una válvula tipo compuerta de vástago ascendente en la entrada y otra en la salida de igual condición; por otra parte, en la sección que llega el By-Pass sirve de estructura de paso, en la entrada no cuenta con ningún tipo de control pues este se regula únicamente con una válvula tipo compuerta a la salida.

Estructura cuenta con escaleras de acceso y cuatro válvulas tipo compuerta de vástago ascendente para el control de caudales. (Longas Jimenéz, 2015)



Foto 7. Cámara de Llegada

2.6 Cámara de repartición.

La cámara de repartición, sistema antiguo de pre-tratamiento, consta de una cámara de repartición de caudal, que tiene la función de permitir el paso directo a los desarenadores No. 1 y No. 2 de manera independiente, facilitando así el mantenimiento del desarenador No. 1 sin suspender el flujo. Esta estructura opera mediante dos válvulas tipo compuerta de vástago ascendente que dan continuidad hacia la cámara de cribado y/o hacia el desarenador No.1; actualmente ésta sirve de estructura de paso y se mantiene abierta la válvula que dirige las aguas hacia la estructura de cribado, que a su vez conecta al desarenador No. 1, permaneciendo la línea que lleva al desarenador No. 2 completamente cerrada.

La arquitectura de esta estructura es en concreto reforzado cuyas dimensiones son de 2,2x2,2 m, cuenta con escalinatas de acceso para mantenimiento, dos válvulas tipo compuerta. (Longas Jimenéz, 2015)



Foto 8. Cámara de Repartición

2.7 Cámara de cribado.

Estructura es en concreto reforzado de 2,1 x 2,3 m, cuenta con rejillas gruesas, con una pendiente vertical de 58° en acero; las cuales se limpian de forma manual. Su función es la de separar material grueso de agua residual. (Longas Jimenéz, 2015)



Foto 9. Cámara de cribado

2.8 Desarenadores - No. 1 y No. 2.

El tratamiento primario, compuesto por el desarenador No. 1, al que le ingresan las aguas de la cámara de cribado; esta estructura cuenta en la entrada con un sistema de cribado conformado por rejillas ubicadas a lado y lado de las paredes de la estructura, en forma inclinada, las cuales sirven para verter los caudales de exceso por rebose disponiendo estas aguas al By-Pass. El desarenador cuenta con dos secciones para la sedimentación de arenas. La estructura cuenta con dos pares de válvulas tipo compuerta en la entrada y en la salida de cada sección, operando completamente abiertas. (Longas Jimenéz, 2015)

Al desarenador No.2 fluyen las aguas provenientes de la cámara de repartición y las provenientes del desarenador (1), la estructura cuenta con dos secciones, cada una de las cuales, en la entrada cuenta con un sistema de cribado. Esta estructura adicionalmente cumple la función de repartir los caudales a las lagunas anaerobias, descargando las aguas a cajas de repartición; este desarenador cuenta con dos válvulas tipo compuerta en la salida para regular los caudales que descargan hacia las lagunas. Actualmente las compuertas se encuentran completamente abiertas para que la distribución sea homogénea.

La construcción de las estructuras es en concreto reforzado, de forma rectangular alargada, de flujo horizontal de tipo convencional. El desarenador No. 1 tiene 21 m² y el desarenador No.2 tiene 20 m² de área. Al ser el segundo desarenador la estructura encargada de repartir y conducir los caudales hacia las cámaras repartidoras de las lagunas anaerobias, es necesario que esta estructura opere en buenas condiciones y así evitar una mala repartición de caudales hacia las lagunas. (Longas Jiménez, 2015).



Foto 10. Desarenador 1 y 2



Foto 11. Estructura de control de caudales Desarenador 1



Foto 12. Válvulas de caudal de salida del desarenador No.2 y Cámaras de repartición de caudal hacia las Lagunas Anaerobias

2.9 Lagunas Anaerobias.

La planta cuenta con dos lagunas anaerobias que trabajan en paralelo, cada una de estas lagunas tiene un área aproximada de 940 m² y una profundidad de 4,5 m; cuentan con una geo-membrana de alta densidad que evita infiltración y ex filtración de aguas desde y hacia las lagunas. Los caudales son entregados mediante un canal ubicado a lo ancho de las lagunas, el efluente de estas lagunas es captado igualmente por un vertedero ubicado en gran parte del ancho de las lagunas, pero en el extremo opuesto, el cual conduce las aguas a una cámara de recolección que las transporta hacia las lagunas facultativas; junto a la estructura de salida de cada laguna existe un cárcamo para la instalación de una motobomba para la extracción de lodos provenientes de las lagunas.

Las dos lagunas cuentan con una baranda metálica la cual proporciona seguridad a los visitantes y operarios.

Las lagunas son reguladas mediante una válvula tipo compuerta de vástago ascendente (cada laguna cuenta con este tipo de sistema de control). (Longas Jimenéz, 2015)



Foto 13. Lagunas Anaerobias



Foto 14. Canal de repartición, entrada del caudal proveniente del desarenador No.2



Foto 15. Estructuras de Extracción de lodos

2.10 Lagunas facultativas.

En el tratamiento secundario se encuentra un tren de dos lagunas facultativas lagunas que funcionan en una combinación de medio aerobio y anaerobio, que operan en paralelo con un área aproximada de 3.360 m² y una profundidad de 2,0 m, cada una cuentan con una geo-membrana de alta densidad que evita infiltración y ex filtración de aguas desde y hacia las lagunas. Los efluentes de las lagunas anaerobias llegan a unas cámaras las cuales entregan las aguas a cada laguna facultativa, pasando por un sistema de tabiques para la reducción de la velocidad.

La entrega de agua a las lagunas es mediante un vertedero o canal que se encuentra construido a lo ancho de las lagunas; de igual forma a la salida se encuentra un canal que recibe las aguas y las conduce hacia la cámara de tránsito que lleva el agua a lagunas de maduración. Es importante resaltar que la laguna del costado sur o No.2 no cuenta con el vertedero en el afluente ni en el efluente de la laguna, sino que, el sistema permite que el agua entrante pase por dos canales hacia las lagunas y las aguas tratadas son captadas por una tubería de 12". (Longas Jimenéz, 2015)

Las lagunas son reguladas mediante una válvula tipo compuerta de vástago ascendente (cada laguna cuenta con este tipo de sistema de control).

Las lagunas facultativas se les adicionó un sistema de aireación para mejorar las condiciones de eficiencia de remoción, el cual consta de diez (10) agitadores mecánicos con hélice con motores de 5 HP a 1.800 RPM que van soportados sobre una estructura de flotación con hélice y distribuidos en dos hileras de cinco (5) aireadores para cada laguna; sin embargo, el sistema de aireación está fuera de servicio por falta de mantenimiento. (Longas Jimenéz, 2015)



Foto 16. Lagunas Facultativas, se observa el sistema de aireación fuera de servicio.



Foto 17. Estructura de Entrada a las Lagunas



Foto 18. Canal de Entrada a las Lagunas



Foto 19. Vertedero y Tubería de Salida

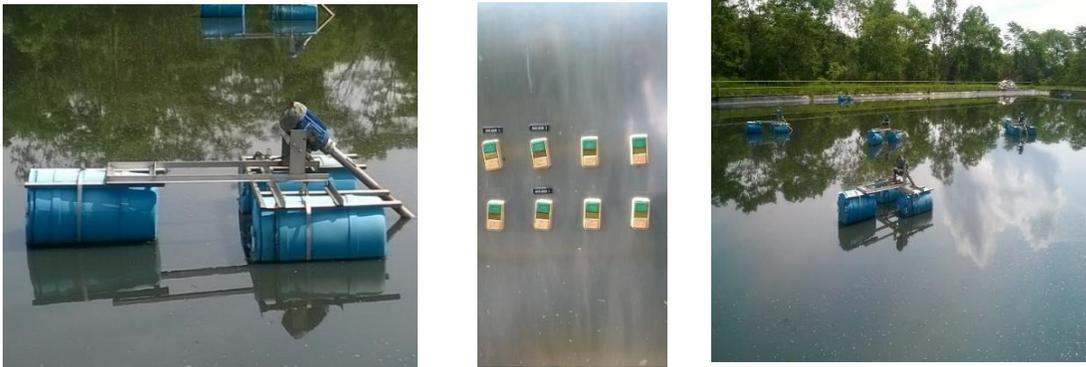


Foto 20. Sistema de Aireación, Control Eléctrico del Sistema y Eje

2.11 Lagunas de maduración.

Finalizando el proceso de depuración de aguas residuales se encuentran dos lagunas de maduración las cuales complementan el tren de lagunas (promoviendo la destrucción de patógenos, virus, parásitos), estas lagunas operan en paralelo y ocupan un área aproximada de 7.875 m² y una profundidad media de 1,5 m, cuentan con una geomembrana de alta densidad que evita infiltración y ex filtración de aguas desde y hacia las lagunas; en el sistema existe una estructura que reparte el caudal por un canal ubicado en casi el total del ancho de la laguna y de igual forma existe un canal o vertedero el cual recibe las aguas tratadas por las lagunas al final del proceso, estas estructuras son en concreto reforzado.

Las lagunas del costado norte o No.1 cuentan con dos (2) equipos de aireación iguales a los encontrados en las lagunas facultativas. Al igual que es las lagunas facultativas, los equipos de aireación se encuentran fuera de servicio por falta de mantenimiento.

Las lagunas son operadas mediante válvulas tipo compuerta en la entrada como en la salida para controlar los caudales y realizar cualquier labor operativa en las lagunas. (Longas Jiménez, 2015)



Foto 21. Lagunas de Maduración



Foto 22. Canales de Entrada



Foto 23. Vertedero de Salida



Foto 24. Sistema de Aireación Laguna de Maduración Norte, el cual se encuentra fuera de servicio

2.12 Efluente.

Para disponer las aguas tratadas en la fuente receptora, estas fluyen hacia una estructura de recolección que tiene la función de combinar los caudales de descarga del sistema de tratamiento, con los caudales que puedan provenir del By-pass. Posteriormente el caudal pasa a una segunda estructura que tiene la función de disminuir la energía del fluido causada por las altas pendientes del terreno. Finalmente, el caudal es transportado a un canal escalonado abierto, que a medida que transporta el flujo a la fuente permite la aireación del fluido. Esta escalinata aumenta el nivel de oxígeno disuelto del efluente, por contacto directo del flujo con la atmósfera. Las cajas de recolección y mezcla, son en

mampostería (ladrillo) con un revestimiento interno en pañete, y las escalinatas son en concreto. (Longas Jimenéz, 2015)

Foto 25. Cámaras del Efluente



Foto 26 Recepción de Aguas Tratadas y By-Pass, segunda Estructura de Paso



Foto 27. Escalinatas

2.13 Lecho de secados de lodos.

Dentro del sistema se ha dispuesto un espacio dispuesto para el secado de lodos y arenas, los cuales son dispuestos por los operarios luego de realizar el mantenimiento. A esta estructura de 146 m² llegan residuos provenientes de todas las estructuras de tratamiento. Estos residuos son acumulados y neutralizados con cal. La estructura cubierta está conformada por una losa de piso en donde se disponen los sólidos, cerramiento en mampostería y ventilaciones adecuadas. (Longas Jimenéz, 2015)



Foto 28. Lecho de secado de Lodos

2.14 Infraestructura.

Actualmente el terreno donde se encuentra construida la planta cuenta con un cerramiento en malla, una caseta para almacenamiento de herramienta y demás utensilios necesarios para las labores de la planta, una caseta que sirve de albergue para el operario o celador, dispone de un espacio para laboratorio; la planta cuenta con una planta de energía a gas para alimentar el sistema de aireación de las lagunas facultativas, tiene vías de acceso internas en material común, sistema de alumbrado, servicio de agua potable y evacuación de aguas servidas hacia la planta. (Longas Jimenéz, 2015)



Foto 29. Caseta Operatoria y Laboratorio



Foto 30. Planta Generadora de Energía



Foto 31. Caseta de Herramienta y Vía de Acceso a la PTAR

Capítulo 3

Antecedentes

La planta de tratamiento del Municipio de Tauramena se encuentra localizada a 1,6 kilómetros del casco urbano, en la vereda Aceite Alto; recibe el agua residual doméstica generada en el casco urbano del municipio al igual que las aguas de la planta de beneficio animal y las correspondientes a la vereda Cabañas, el efluente del sistema de tratamiento es vertido a la Quebrada La Portana. La PTAR fue construida en 1999. (Longas Jimenéz, 2015)

Sobre el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio se desarrollaron estudios referentes a:

Manejo Ambiental de las Obras para la Optimización de las Lagunas de Estabilización, contrato ejecutado por el Consorcio SAFING, para el año 2005, con la finalidad de “Formular mecanismos que permitan prevenir, eliminar, minimizar o compensar los posibles daños que se pueden causar al medio físico – biótico, así como proteger las zonas de interés humano y ecológico en el área de influencia del proyecto de construcción”. (Consorcio Safing, 2005)

Diagnóstico y Diseño para mejorar las condiciones de Tratamiento de las Aguas Residuales del Casco Urbano del Municipio de Tauramena, desarrollado mediante contrato de consultoría No. 284 de 2009, ejecutado por el Ing. Carlos Alfonso Andrade Ortiz. En este documento se describe el funcionamiento hidráulico actual de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Tauramena, generando la descripción de las estructuras que componen el tren de tratamiento eficiencia de remoción actual de la planta. (2009)

El diseño de Estación de Bombeo de Aguas Residuales para el sector Costado Sur Barrio El Centro y Las Villas (Urbanización Siglo XXI) para Optimizar el funcionamiento del Alcantarillado Sanitario de este sector, desarrollado en septiembre de 2007, mediante

contrato de consultoría No. 154-07, el cual fue adoptado y se construyó la estación de bombeo conocida actualmente como E.B.T., la cual bombea 19 L/s aproximadamente con ciclos de arranque de 10 por hora. Se encuentra localizado sobre la carrera 12 en la vía alterna a Monterrey, la cual recibe las aguas residuales provenientes de los barrios Centro (parte sur) y Villas (Urbanización Siglo XXI); ésta estación impulsa las aguas residuales al colector P87 ubicado sobre la Cra 12 con CII 2; El diseño de la estación de bombeo fue proyectado hasta el año 2032.

Capítulo 4

Normas de vertimiento

Resolución 0631 de 2015. Emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, “por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”. (Santos Calderón, 2012)

Decreto 77 de 1987 o estatuto de descentralización administrativa, responsabiliza a los municipios de la prestación de los servicios de suministro de agua potables, alcantarillado, matadero, aseo público y plazas de mercado; y asigna al Ministerio de Salud la función de controlar y vigilar la calidad del agua para consumo humano y los sistemas de disposición de aguas residuales y desechos sólidos. (Barco, 1987)

Según la resolución No.200.15.05.0422 del 14 junio 2005 Por medio de la cual se conoce un permiso de vertimiento de aguas Residuales, el director General de la corporación Corporinoquia. En uso de sus facultades legales y estatutaria a través de Resolución N° 0560 de 08 de noviembre de 1996, otorgó Licencia Ambiental al Municipio de Tauramena Departamento de Casanare, para la construcción del Alcantarillado Sanitario y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales. (Piragauta Rodriguez, 2005)

El director General de la corporación Autónoma Regional de la Orinoquía Corporinoquia en uso de sus atribuciones constitucionales, legales y reglamentarias otorga la Resolución No. 200.41.09.0373 del 31 de marzo 2009 Por medio de la cual se aprueba el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos presentado por la Empresa Municipal de Servicios Públicos Domiciliarios de Tauramena S.A. E.S. P del Municipio de Tauramena Casanare.

4.1 Tasas retributivas.

Se crearon con el fin de cobrar una retribución por la contaminación producida al verter los residuos líquidos en una fuente superficial.

DECRETO 2811 DE 1974. Por el cual se dicta el Código de Recursos Naturales renovables y de protección del Medio Ambiente. Fue el primero en establecer el concepto de tasas retributivas. (López Michelsen, 1974)

"Artículo 18. La utilización directa o indirecta de la atmósfera, de los ríos, arroyos, lagos y aguas subterráneas, y de la tierra y el suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades lucrativas, podrá sujetarse al pago de tasas retributivas del servicio de eliminación o control de las consecuencias de las actividades nocivas expresadas. (López Michelsen, Artículo 18 del decreto 2811/74, 1974)

Ley 99 de 1993. Emitida por el Congreso de la República con la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente. Reglamente el cobro de las tasas retributivas.

"Artículo 42. Tasas Retributivas y Compensatorias. La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas". (Gaviria Trujillo, 1993).

Parágrafo. Las tasas retributivas y compensatorias solamente se aplicarán a la contaminación causada dentro de los límites que permite la ley, sin perjuicio de las sanciones aplicables a actividades que excedan dichos límites".

Decreto 901 de 1997. Emitido por el Ministerio del Medio Ambiente. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas. Se derivan las resoluciones 273 y 372 del ministerio que fijan los montos para DBO5 y SST.

Decreto 3100. Emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Derogó el 901. (Uribe Vélez, 2003)

Decreto 3440. Emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Se modifica el Decreto 3100 y se deroga el inciso final del artículo 8, el artículo 11 y el inciso 2 del artículo 30 del decreto 3100. (Uribe Vélez, Decreto 3440/2004, 2004)

Decreto 2667 de 2012: Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. Este decreto deroga todas las normas que le sean contrarias, en especial los Decretos 3100 de 2003 y 3440 de 2004. (Santos Calderón, 2012)

Decreto 1076 de 2015. Emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”. Libro 2. Régimen Reglamentario del Sector Ambiente. Parte 1. Disposiciones generales. Título 9. Instrumentos financieros, económicos y tributarios. Capítulo 7. Tasas retributivas por vertimientos puntuales de agua.

En la Tabla 1, se muestran los objetivos calidad planteados por la Autoridad Ambiental competente CORPORINOQUIA.

Tabla 1. Objetivos de calidad para la quebrada La Portana

TRAMO	PARÁMETROS	UNIDAD	QUEBRADA LA PORTANA	OBJETIVOS DE CALIDAD
			50 m aguas arriba	
TRAMO 1-2	OD	mg/L	7	≥ 5
	DBO ₅	mg/L	4	≤ 5
	SST	mg/L	111	0-50
	GRASAS Y ACEITES	mg/L	8	≤ 1
	COLIF.TOTALES	NMP/100mL	9,21E+04	≤ 20000
	T	°C	26	$T(2^{\circ}-3^{\circ}) \leq T_{\text{ambiente}}$
	PH	UND	6,61	5-9
TRAMO	PARÁMETROS	UNIDAD	QUEBRADA LA PORTANA	OBJETIVOS DE CALIDAD
			50 m aguas abajo	
TRAMO 2-3	OD	mg/L	7	≥ 5
	DBO ₅	mg/L	19	≤ 20
	SST		80,5	AUSENTES
	GRASAS Y ACEITES	mg/L	8	≤ 1
	COLIF.TOTALES	NMP/100mL	1,40E+06	≤ 20000
	PH	UND	7,2	6-9
	T	°C	26,33	$T(2^{\circ}-3^{\circ}) \leq T_{\text{ambiente}}$

Fuente: CORPORINOQUIA

Capítulo 5

En este capítulo se evalúa la población, la dotación bruta, la demanda de agua y los aportes al sistema de alcantarillado con el fin de determinar la capacidad real de las lagunas de estabilización a lo largo del periodo de diseño.

Parámetro de diseño

Los parámetros de diseño corresponden a los establecidos en el Reglamento Técnico de Agua Potable RAS 2000 y sus decretos reglamentarios, los cuales se relacionan a continuación: (Ministerio de desarrollo económico, 2000).

- Resolución MAVDT No. 1096 del 17/11/2000 por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS”.
- Resoluciones 424 de 2001, 668 de 2003 y 2320 de 2009, por las cuales se modifican algunos artículos de la Resolución No. 1096 del 2.000.

5.1 Población base para proyecciones.

La población actual que se presenta se basa en las proyecciones de población del DANE, y los datos del Sisben.

Tabla 2. Datos de población DANE Municipio de Tauramena

AÑO	POBLACIÓN (habitantes)		
	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN CABECERA	POBLACIÓN RESTO
1964	4.699	374	4.325
1973	5.188	621	4.567
1985	6.893	1.016	5.877
1993	5.882	2.660	3.222
2005	19.247	10.153	9.094

Fuente: DANE - Censo año 2005

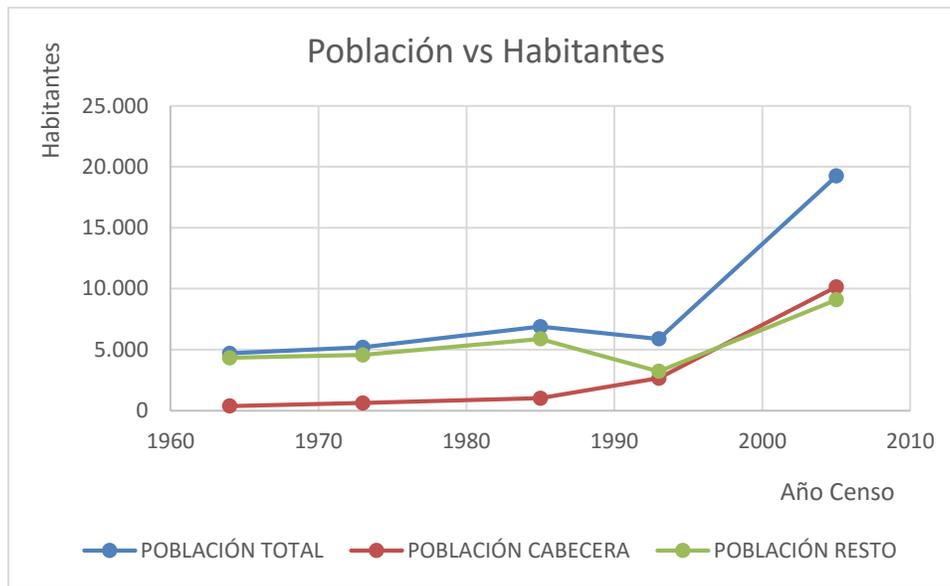


Ilustración 4. Población Vs Habitantes

5.1.1 Nivel de complejidad.

El nivel de complejidad del sistema se establece con base en el número de habitantes en la zona urbana del municipio proyectada al periodo de diseño o su capacidad económica o el grado de exigencia técnica que se requiera para adelantar el proyecto, de acuerdo con lo establecido en el siguiente cuadro. (Ministerio de desarrollo económico, 2000)

Tabla 3. Asignación del nivel de complejidad

NIVEL DE COMPLEJIDAD	POBLACIÓN EN LA ZONA URBANA (habitantes)	CAPACIDAD ECONÓMICA DE LOS USUARIOS
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 – 12.500	Baja
Medio - Alto	12.501 – 60.000	Media
Alto	> 60.000	Alta

Fuente: RAS 2000

5.1.2 Proyecciones de población.

Análisis poblacional del casco urbano de Tauramena

De acuerdo a la Tabla B.2.1. del RAS 2000, los métodos a emplear para el cálculo de la tasa de crecimiento de acuerdo al nivel de complejidad, se presentan en el cuadro siguiente; igualmente los métodos a emplear para el Municipio de Tauramena corresponden a los métodos aritmético, geométrico, exponencial porque se encuentra en un nivel de complejidad Medio, también se presenta en el mismo cuadro. (Ministerio de desarrollo económico, 2000).

Tabla 4. Métodos de Proyección

MÉTODO POR EMPLEAR	NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA			
	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Aritmético, Geométrico y Exponencial	X	X		
Aritmético + Geométrico + Exponencial + otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X
MUNICIPIO	NIVEL DE COMPLEJIDAD		MÉTODO A EMPLEAR	

Fuente: RAS 2000. Tabla B.2.1.

De acuerdo a lo establecido en el capítulo B.2 del RAS 2000, se tienen las siguientes fórmulas para los diferentes métodos a emplear en las proyecciones de Población:

5.1.3 Método Aritmético.

Para el caso específico del casco urbano del Municipio de Tauramena, de acuerdo con los datos de censo de Población obtenemos las tasas de crecimiento de población que se presentan en el cuadro siguiente.

Tabla 5. Tasa de crecimiento Aritmético

AÑO DEL CENSO	MODELO ARITMÉTICO			
	CABECERA	DIFERENCIA POBLACIÓN	DIFERENCIA AÑOS	TASA INTERCENSAL (hab/año)
1964	374	247	9	27
1973	621			
1973	621	395	12	33
1985	1.016			
1985	1.016	1.644	8	206
1993	2.660			
1993	2.660	7.493	12	624
2005	10.153			
1964	374	9.779	41	239
2005	10.153			

El Método Aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + P_{uc} - P_{ci} T_{uc} - T_{ci} (T_f - T_{uc})$$

Donde,

- Pf: población (hab) correspondiente al año para el que se quiere proyectar
- Puc: población (hab) correspondiente al último año censado con información,
- Pci: población (hab) correspondiente al censo inicial con información,
- Tuc: año correspondiente al último año censado con información,
- Tci: año correspondiente al censo inicial con información,
- Tf: año al cual se quiere proyectar la información

Como se puede observar en la tasa intercensal la población en el casco urbano entre los años 1964 y 1993 tiene una tendencia de crecimiento suave, a partir del 1993 al censo del año 2005 el aumento de población es significativo, esto se debe básicamente al descubrimiento de campos de explotación y el desarrollo de la industria en el petróleo en el municipio.

El crecimiento aritmético para el casco urbano del municipio de Tauramena para el periodo analizado es de 239 hab/año.

5.1.4 Método Geométrico.

Para el caso específico del casco urbano del Municipio de Tauramena de acuerdo con los datos de censo de Población obtenemos las tasas de crecimiento de población que se presentan en el cuadro siguiente.

Tabla 6. Tasa de crecimiento Método geométrico

AÑO DEL CENSO	MODELO GEOMÉTRICO			
	CABECERA	Puc/Pci	Tuc-Tci	TASA DE CRECIMIENTO (R)
1964	374	1,66	9	5,80%
1973	621			
1973	621	1,64	12	4,19%
1985	1.016			
1985	1.016	2,62	8	12,78%
1993	2.660			
1993	2.660	3,82	12	11,81%
2005	10.153			
1964	374	27,15	41	8,38%
2005	10.153			

El Método Geométrico es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es:

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

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}} - 1$$

En este método se observan tasas intercensales variables, con un crecimiento promedio entre 4.2% y 12.8%. Este método establece utilizar un censo inicial y un censo final con información, y en Tauramena estos dos datos corresponden al año de 1973 y 1993 respectivamente, por lo anterior, adoptamos como tasa de crecimiento la correspondiente al periodo 1964- 2005 y que corresponde a 8.38%.

5.1.5 Método Exponencial:

Tabla 7. Tasa de crecimiento Método Exponencial

AÑO DEL CENSO	MODELO EXPONENCIAL				
	CABECERA	Ln Pc	ln P _f - ln P _{ci}	Tuc-Tci	TASA DE CRECIMIENTO k (%)
1964	374	5,92	0,51	9	5,63%
1973	621	6,43			
1973	621	6,43	0,49	12	4,10%
1985	1.016	6,92			
1985	1.016	6,92	0,96	8	12,03%
1,93	2.660	7,89			
1993	2660	7,89	1,34	12	11,16%
2005	10.153	9,23			
1964	374	5,92	3,30	41	8,05%
2005	10.153	9,23			
TASA PROMEDIO					8,20%

La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su

aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} \times e^{k(T_f - T_{ci})}$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Donde:

Pcp: población del censo posterior,

Pca: población del censo anterior,

Tcp: año correspondiente al censo posterior,

Tca: año correspondiente al censo anterior

Ln: logaritmo natural o neperiano.

En este método se observan tasas intercensales variables, pero siempre positivas. Este método establece utilizar la tasa promedio intercensal de los censos disponibles y para este caso la tasa promedio corresponde a 8.20 %. Tasa media anuales de crecimiento exponencial (%), por quinquenio, para el departamento de Casanare.

Tabla 8. Tasas Medias de crecimiento %

Periodo	Tasas medias de crecimiento (%)	
	Exponencial	Geométrico
2005-2010	1,95%	1,97%
2010-2015	1,81%	1,83%
2015-2020	1,69%	1,70%

Fuente: DANE

5.1.6 Tasa de crecimiento seleccionada.

En el cuadro siguiente presentamos un resumen de las tasas de crecimiento con los métodos de proyección, así como el dato de población para el año 2005, del DANE, con el fin de analizar las tasas de crecimiento para este municipio.

Tabla 9. Resumen tasa Crecimiento

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TASA DE CRECIMIENTO		POBLACIÓN AÑO 2005 (habitantes)
Aritmético	239	hab/año	
Geométrico	8,38%		
Exponencial	8,20%		
DANE (proyección)	1,69%		10.153

La proyección del DANE tiene un crecimiento exponencial del 1,69% entre el periodo comprendido entre el 2015 y el 2020. La proyección aritmética tiene un crecimiento de 239 hab/año y las proyecciones geométrica y exponencial plantean crecimientos de 8,38% y 8,2% respectivamente.

En el cuadro y figura siguiente se presenta la proyección de población con los tres métodos y la proyección del DANE 2015-2020; las proyecciones aritméticas y geométricas inician con el censo DANE año 2005 que para este municipio corresponde a 10.153 habitantes.

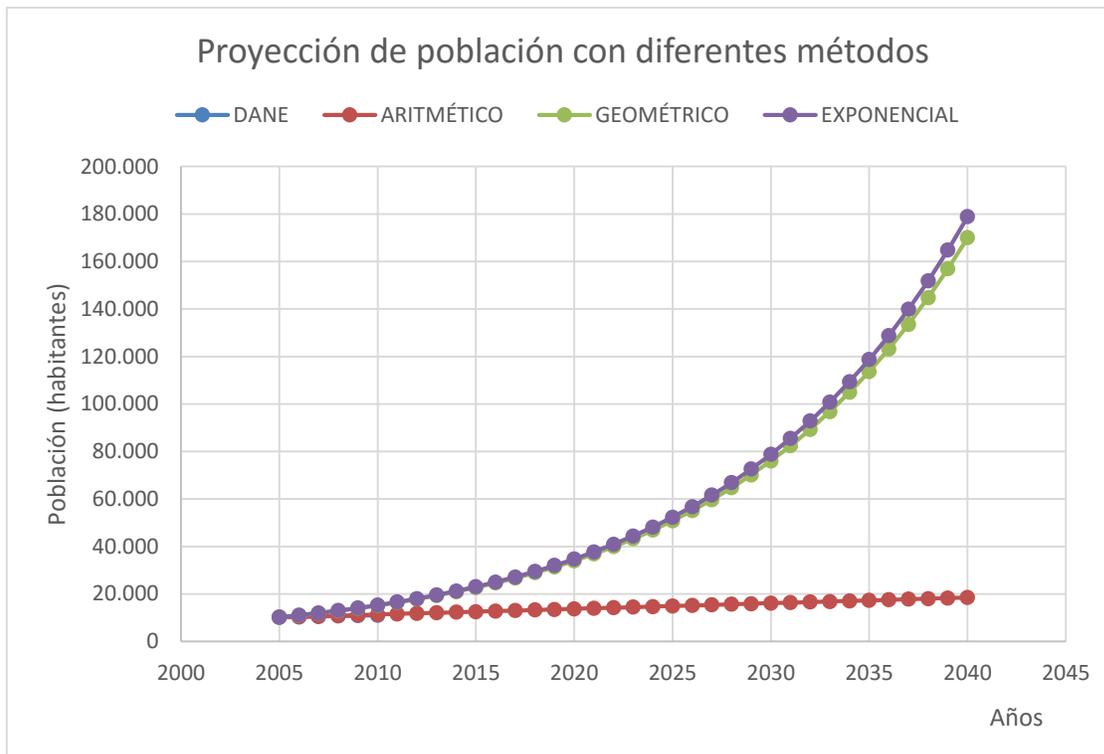


Ilustración 5. Proyección de Población con diferentes Métodos

Como se puede observar la proyección aritmética tiene un crecimiento similar al DANE y para el año 2015 la proyección aritmética con 12.034 y 12.538 habitantes respectivamente. Mientras que con las proyección geométrica y exponencial dan unos crecimientos de 22.713 y 23.044 habitantes respectivamente.

Utilizando los métodos anteriores a continuación presentamos las proyecciones de población para el casco urbano del municipio de Tauramena con las tres metodologías.

Tabla 10. Proyección de Población

AÑO	POBLACIÓN				CONSULTOR
	DANE	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO	EXPONENCIAL	ADOPTADOS
2005	10.153	10.153	10.153	10.153	10.153
2006	10.327	10.392	11.004	11.020	10.327
2007	10.504	10.630	11.927	11.962	10.504
2008	10.684	10.869	12.927	12.983	10.684
2009	10.867	11.107	14.011	14.092	10.867
2010	11.054	11.346	15.186	15.296	11.054
2011	11.243	11.584	16.459	16.602	11.243
2012	11.436	11.823	17.839	18.020	11.436
2013	11.632	12.061	19.335	19.560	11.632
2014	11.832	12.300	20.956	21.230	11.832
2015	12.034	12.538	22.713	23.044	12.034
2016	12.241	12.777	24.618	25.012	12.410
2017	12.451	13.015	26.682	27.148	12.451
2018	12.664	13.254	28.919	29.467	12.664
2019	12.881	13.492	31.344	31.984	12.881
2020	13.102	13.731	33.972	34.716	13.102
2021	13.327	13.969	36.821	37.681	13.327
2022	13.555	14.208	39.908	40.900	13.555
2023	13.788	14.446	43.255	44.393	13.788
2024	14.024	14.685	46.882	48.185	14.024
2025	14.264	14.923	50.813	52,301	14.264
2026	14.509	15.162	55.073	56.768	14.509
2027	14.758	15.400	59.691	61.617	14.758
2028	15.011	15.639	64.696	66.880	15.011
2029	15.268	15.877	70.121	72.593	15.268
2030	15.530	16.116	76.000	78.793	15.530
2031	15.796	16.354	82.373	85.524	15.796
2032	16.067	16.593	89.280	92.829	16.067
2033	16.343	16.831	96.766	100.758	16.343
2034	16.623	17.070	104.880	109.364	16.623
2035	16.908	17.308	113.674	118.705	16.908
2036	17.198	17.547	123.205	128.844	17.198
2037	17.492	17.785	133.536	139.849	17.492
2038	17.792	18.024	144.733	151.795	17.792
2039	18.097	18.262	156.868	164.760	18.097
2040	18.408	18.501	170.022	178.833	18.408

Teniendo en cuenta la proyección del DANE, y las proyecciones establecidas por los tres métodos utilizados, considera conveniente utilizar la proyección exponencial con las tasas de crecimiento propuesta por el DANE, creemos que la explosión demográfica que tuvo el municipio dentro de los años 1993 al 2005, se debió al descubrimiento de petróleo en el municipio y a la instalación de la explotación de los campos petroleros. Pero una vez desarrollados los campos de explotación el municipio volverá a crecer con las tasas de crecimiento propuestas por el DANE.

5.1.7 Población flotante

Para el caso del municipio de Tauramena estimaremos un 10% de la población, como población flotante, lo cual es, característico de una población pequeña de un gran dinamismo económico.

Tabla 11. Población flotante para el año 2015 del casco urbano, municipio de Tauramena

Año	POBLACIÓN (HAB)
2015	1.203

Tabla 12. Población total para el año 2040 del casco urbano, municipio de Tauramena

POBLACIÓN AÑO 2040	HABITANTES
Población permanente	18.408
Población flotante	1.800
Población total	20.207

Tabla 13. Proyección de población permanente y flotante del casco urbano, municipio de Tauramena

AÑO	POBLACIÓN PERMANENTE	POBLACIÓN FLOTANTE	POBLACIÓN TOTAL
2015	12.034	1.203	13.238
2016	12.241	1.227	13.468
2017	12.451	1.251	13.702
2018	12.664	1.275	13.939
2019	12.881	1.299	14.180
2020	13.102	1.323	14.425
2021	13.327	1.347	14.673
2022	13.555	1.370	14.926
2023	13.788	1.394	15.182
2024	14.024	1.418	15.442
2025	14.264	1.442	15.706
2026	14.509	1.466	15.975
2027	14.758	1.490	16.247
2028	15.011	1.514	16.524
2029	15.268	1.537	16.806
2030	15.530	1.561	17.091
2031	15.796	1.585	17.381
2032	16.067	1.609	17.676
2033	16.343	1.633	17.975
2034	16.623	1.657	18.279
2035	16.908	1.680	18.588
2036	17.198	1.704	18.902
2037	17.492	1.728	19.221
2038	17.792	1.752	19.544
2039	18.097	1.776	19.873
2040	18.408	1.800	20.207

5.1.8 Capacidad económica del municipio

Para definir la capacidad económica de los usuarios se utilizarán los siguientes parámetros que definen la capacidad del Municipio:

1. Desempeño Fiscal
2. Ingreso Per cápita
3. NBI
4. Categoría del Municipio

DESEMPEÑO FISCAL

Los rangos establecidos por el Departamento Nacional de Planeación son los siguientes para el Desempeño Fiscal:

Mayor a 95%	cumplimiento óptimo (Alto)
80% – 95%	cumplimiento alto (Medio Alto)
50% - 80%	cumplimiento medio (Medio)
Menor a 50%	incumplimiento (Bajo)
Igual a 0	Sin información.

INGRESO PER CÁPITA

Igualmente, el ingreso per cápita y las necesidades básicas insatisfechas se analizaron, teniendo en cuenta el promedio nacional, así:

Ingreso per cápita del Municipio, mayor al 150% del promedio nacional	Alto
Ingreso per cápita del Municipio, entre el 120% y el 150%	Medio Alto
Ingreso per cápita del Municipio, entre el 90% y el 120%	Medio
Ingreso per cápita del Municipio, menores al 90%	Bajo

El promedio nacional de las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), son del orden del 20%, teniendo en cuenta este porcentaje, se analizó la clasificación del nivel complejidad del municipio de acuerdo a la siguiente tabla:

NBI < 20%	Alto
NBI entre el 20% - 30%	Medio Alto
NBI entre el 30% - 40%	Medio
NBI > 40%	Bajo

CATEGORIA DEL MUNICIPIO

Las categorías de los Municipios, se clasifican en cinco (5), siendo la categoría 6, la correspondiente a aquellos municipios, con menores condiciones económicas y sociales, por lo tanto, se tendrá en cuenta la siguiente tabla así:

Categorías 1, 2 y 3	Alto
Categoría 4	Medio Alto
Categoría 5	Medio
Categoría 6	Bajo

Con esta combinación de información se efectuó el siguiente cuadro que indica la Capacidad económica del Municipio.

Tabla 14. Parámetros capacidad económica

PARÁMETRO	TAURAMENA	NACIONAL	NIVEL DE COMPLEJIDAD
Desempeño Fiscal (1)	77.29	62.10	Medio
NBI (2)	30.16	19.66	Medio
Ingreso Per cápita tributario (miles de \$) (3)	619.80	317.70	Alto
Categoría del Municipio (4)	5		Medio
Nivel de complejidad	MEDIO		

Fuente: (1) Desempeño fiscal DNP 2013

(2) DANE 2011

(3) DNP 2013

(4) DANE 2005

Luego de analizar el nivel de complejidad por capacidad económica y por población se obtiene el nivel de complejidad definitivo para el Municipio de Tauramena, el cual, se presenta en el cuadro siguiente:

Tabla 15. Nivel de complejidad

MUNICIPIO	POBLACIÓN	Nivel complejidad x Población	Nivel complejidad x Cap. Econ.	Nivel definitivo
	AÑO 2040			
Tauramena	20.207	MEDIO-ALTO	MEDIO	MEDIO

Fuente: El Consultor

5.1.9 Período de diseño

Con base en lo establecido en la Resolución No. 2320 del 27 de noviembre de 2009, el periodo de diseño se define según el nivel de complejidad del sistema, tal como se indica en el siguiente cuadro. (Costa Posada, 2009)

Tabla 16. Asignación del periodo de Diseño

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	PERÍODO DE DISEÑO MÁXIMO
Bajo, Medio y Medio Alto	25 años
Alto	30 años

Fuente. Resolución No. 2320 del 27 de noviembre de 2009

Tabla 17. Nivel de complejidad Tauramena

MUNICIPIO	POBLACIÓN	Nivel complejidad x Población
	AÑO 2041	
Tauramena	20.207	MEDIO

Fuente: RAS 2000

Como el nivel de complejidad definido para el sistema es Medio, su periodo máximo de diseño será de 25 años.

5.2 Dotación.

5.2.1 Dotación Neta Máxima.

Para estimar la dotación neta para el uso residencial se tiene en cuenta el siguiente cuadro que contiene las dotaciones netas máximas por habitante, basadas en el nivel de complejidad y el clima. (Costa Posada, 2009)

Tabla 18. Determinación de la Dotación Neta Máxima

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA PARA POBLACIONES CON CLIMA FRIO O TEMPLADO* (L/hab-día)	DOTACIÓN NETA MÁXIMA PARA POBLACIONES CON CLIMA CALIDO (L/hab-día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio Alto	125	135
Alto	140	150

Fuente. Resolución No. 2320 del 27 de noviembre de 2009

(*) Poblaciones Clima Frio a Templado son aquellas ubicadas a una altura superior a 1.000 msnm.

(**) Poblaciones Clima Cálido son aquellas ubicadas a una altura inferior o igual a 1.000 msnm.

De conformidad con el cuadro anterior, la dotación neta del municipio para uso doméstico es la siguiente:

Tabla 19. Dotación Neta Máxima

MUNICIPIO	NIVEL COMPLEJIDAD (DEFINITIVO)	ALTURA (m.s.n.m.)	CLIMA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/hab-día)
Tauramena	Medio	420	Cálido	125

Con base en la información sobre establecimientos de uso comercial e institucional recogida en el municipio, el siguiente cuadro muestra los consumos típicos por actividad.

Tabla 20. Consumos típicos y totales según uso

Consumos típicos y totales de los sectores Comercial e Institucional					
Uso		L/día	Unidad	l/hab-día	
Comercial	Hotel (por habitación)	500	165	6,23	
	Consultorios	500	7	0,26	
	Oficinas dentales	1000	3	0,23	
	Templos religiosos	50	200	0,76	
	Restaurantes (comidas)	4	1840	0,56	
	Lavadero de carros	400	20	0,60	
	Farmacias, almacenes y graneros	90	289	1,96	
Dotación Neta Comercial				10,60	
Industrial	Alojamiento	Bovinos	42	12	0,04
		Porcinos	4	12	0,00
	Matadero	Bovinos	500	12	0,45
		Porcinos	300	4	0,09
	Planta lechera	1.5	100	0,01	
Dotación Neta Industrial				0,60	
Institucional	Hospital (por cama)	400	20	0,60	
	Colegios	40	4088	12,35	
	Ancianato	40	90	0,27	
Dotación Neta Institucional				13,23	

La dotación neta máxima l/hab-día para población residente sería:

$D \text{ Neta Máxima} = D \text{ Neta Doméstica} + D \text{ Neta Comercial} + D \text{ Neta Institucional} + D \text{ neta industrial}$

$D \text{ Neta Máxima} = 125 + 10,60 + 0,60 + 13,23 = 149,43$

$D \text{ Neta Máxima} = \mathbf{149,43}$ L/hab.d para población residente

Con respecto a la dotación neta máxima para la población flotante, teniendo en cuenta que la mayoría de la población se hospeda en viviendas familiares, se considerará como un 60% de la dotación neta máxima para la población residente obtenida anteriormente, por no ser una población que requiera de todos los consumos que se tuvieron en cuenta en la dotación doméstica, de esta manera tenemos:

D Neta Máxima = D Neta Doméstica * 60%

D Neta Máxima = **89,66** L/hab.d para población flotante

5.3 Cálculo de caudales

5.3.1 Caudal medio diario Q md

El caudal medio diario Q md, es el caudal medio calculado para la población proyectada incluyendo la población flotante con sus ajustes teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{P \times D_{neta}}{86400} + \frac{P_{flotante} \times D_{neta\ flotante}}{86400}$$

En donde,

Q_{md}	= Caudal medio diario
P	= Población
$P_{flotante}$	= Población flotante
D_{neta}	= Dotación neta
$D_{neta\ flotante}$	= Dotación neta para la población flotante

Tabla 21. Cálculo del caudal doméstico

AÑO	POBLACIÓN RESIDENTE			POBLACIÓN FLOTANTE			TOTAL	
	D _{neto} (l/hab-d)	Población (hab)	Qd (l/s)	D _{neto} (l/hab-d)	Población (hab)	Qmd (l/s)	Población (hab)	Qmd total (l/s)
2015	149,43	12.034	20,81	89,7	1.203	1,25	13.238	22,06
2016	149,43	12.241	21,17	89,7	1.227	1,27	13.468	22,44
2017	149,43	12.451	21,53	89,7	1.251	1,30	13.702	22,83
2018	149,43	12.664	21,90	89,7	1.275	1,32	13.939	23,23
2019	149,43	12.881	22,28	89,7	1.299	1,35	14.180	23,63
2020	149,43	13.102	22,66	89,7	1.323	1,37	14.425	24,03
2021	149,43	13.327	23,05	89,7	1.347	1,40	14.673	24,45
2022	149,43	13.555	23,44	89,7	1.370	1,42	14.926	24,87
2023	149,43	13.788	23,85	89,7	1.394	1,45	15.182	25,29
2024	149,43	14.024	24,25	89,7	1.418	1,47	15.442	25,73
2025	149,43	14.264	24,67	89,7	1.442	1,50	15.706	26,17
2026	149,43	14.509	25,09	89,7	1.466	1,52	15.975	26,61
2027	149,43	14.758	25,52	89,7	1.490	1,55	16.247	27,07
2028	149,43	15.011	25,96	89,7	1.514	1,57	16.524	27,53
2029	149,43	15.268	26,41	89,7	1.537	1,60	16.806	28,00
2030	149,43	15.530	26,86	89,7	1.561	1,62	17.091	28,48
2031	149,43	15.796	27,32	89,7	1.585	1,64	17.381	28,96
2032	149,43	16.067	27,79	89,7	1.609	1,67	17.676	29,46
2033	149,43	16.343	28,26	89,7	1.633	1,69	17.975	29,96
2034	149,43	16.623	28,75	89,7	1.657	1,72	18.279	30,47
2035	149,43	16.908	29,24	89,7	1.680	1,74	18.588	30,99
2036	149,43	17.198	29,74	89,7	1.704	1,77	18.902	31,51
2037	149,43	17.492	30,25	89,7	1.728	1,79	19.221	32,05
2038	149,43	17.792	30,77	89,7	1.752	1,82	19.544	32,59
2039	149,43	18.097	31,30	89,7	1.776	1,84	19.873	33,14
2040	149,43	18.408	31,84	89,7	1.800	1,87	20.207	33,70

5.3.2 Factor de mayoración (F).

El factor de mayoración para estimar el caudal máximo horario, con base en el caudal medio diario, tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. El valor del factor disminuye en la medida en que el número de habitantes considerado aumente, pues el uso del agua se hace cada vez más heterogéneo y la red de colectores puede contribuir cada vez más a amortiguar los flujos. La variación del factor de mayoración debe ser estimada a partir de mediciones de campo. Sin embargo, esto no es factible en muchos casos, por lo cual es necesario estimarlo con base en relaciones aproximadas, para lo cual adoptamos $F^1=1.40$.

5.3.3 Caudal máximo horario (Q_{MH}).

El caudal máximo horario, es la base para establecer el caudal de diseño de una red de colectores de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. El caudal máximo horario del día máximo se estima a partir del caudal final medio diario, multiplicándolo por el factor de mayoración (F).

$$Q_{MH} = Q_{md} \times F$$

En donde,

- Q_{MH} = Caudal máximo horario
- Q_{md} = Caudal medio diario
- F = factor de mayoración

5.3.4 Conexiones erradas (Q_{ce}).

¹ Nota. Recuperado del párrafo D.3.2.4. del Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, RAS 2000.

Deben considerarse los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones de bajantes de tejados y patios. Estos aportes son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias.

Tabla 22. Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	APORTE (L/s*ha)
BAJO Y MEDIO	0,2
MEDIO ALTO Y ALTO	0,1

Con base en el RAS 2000, para el nivel medio de complejidad se asume un coeficiente de aporte por conexiones erradas

$Q_{ce} =$	0,10	L/s*ha
AREA =	221,0	Ha
$Q_{ce} =$	22	L/s

5.3.5 Infiltración (Q_{inf}).

Es inevitable la infiltración de aguas subsuperficial a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario, principalmente freáticas, a través de fisuras en los colectores, en juntas ejecutadas deficientemente, en la unión de colectores con pozos de inspección y demás estructuras, y en éstos cuando no son completamente impermeables. Su estimación debe hacerse en lo posible a partir de aforos en el sistema, en horas cuando el consumo de agua es mínimo, y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de los colectores, las dimensiones, estado y tipo de colectores, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de pozos de inspección y demás estructuras, y su calidad constructiva. El diseñador debe minimizar los aportes por infiltración.

Tabla 23. Valores de infiltración según el nivel de complejidad

NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	INFILTRACIÓN ALTA (L/s-ha)	INFILTRACIÓN MEDIA (L/s-ha)	INFILTRACIÓN BAJA (L/s-ha)
Bajo y Medio	0,15-0,4	0,1-0,3	0,05-0,2
Medio Alto y Alto	0,15-0,4	0,1-0,3	0,05-0,2

Con base en el RAS 2000, para el nivel medio de complejidad se asume un coeficiente de aporte por caudal de infiltración

$Q_{inf} =$	0,10	L/s*ha
AREA =	221,0	ha
$Q_{inf} =$	22,10	l/sg

5.3.6 Caudal de diseño de la PTAR (QDT PTAR).

El caudal medio afluente a la planta es la base para el diseño de los componentes biológicos del sistema de tratamiento, está dado como la sumatoria del caudal medio de aguas residuales más el caudal de infiltración, más el caudal de conexiones erradas y el caudal institucional, así:

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CE}$$

En donde,

Q_{DT} = Caudal de diseño total

Q_{MH} = Caudal máximo horario

Q_{INF} = Caudal de infiltración

Q_{CE} = Caudal de infiltración

Tabla 24. Caudales de diseño de la PTAR

AÑO	Q md total	F	Q MH (l/s)	Área	Q ce (l/s)	Q inf (l/s)	Q Diseño	
							l/s	m³/d
2015	22,06	1,40	30,89	141,48	14,15	14,15	59,18	5.119
2016	22,44	1,40	31,42	143,89	14,39	14,39	60,20	5.207
2017	22,83	1,40	31,96	146,33	14,63	14,63	61,23	5.296
2018	23,23	1,40	32,52	148,82	14,88	14,88	62,28	5.387
2019	23,63	1,40	33,08	151,35	15,13	15,13	63,35	5.479
2020	24,03	1,40	33,65	153,92	15,39	15,39	64,43	5.573
2021	24,45	1,40	34,22	156,54	15,65	15,65	65,53	5.669
2022	24,87	1,40	34,81	159,20	15,92	15,92	66,65	5.765
2023	25,29	1,40	35,41	161,91	16,19	16,19	67,79	5.864
2024	25,73	1,40	36,02	164,66	16,47	16,47	68,95	5.964
2025	26,17	1,40	36,63	167,46	16,75	16,75	70,12	6.066
2026	26,61	1,40	37,26	170,30	17,03	17,03	71,32	6.169
2027	27,07	1,40	37,90	173,20	17,32	17,32	72,54	6.274
2028	27,53	1,40	38,54	176,14	17,61	17,61	73,77	6.381
2029	28,00	1,40	39,20	179,14	17,91	17,91	75,03	6.490
2030	28,48	1,40	39,87	182,18	18,22	18,22	76,31	6.601
2031	28,96	1,40	40,55	185,28	18,53	18,53	77,61	6.713
2032	29,46	1,40	41,24	188,43	18,84	18,84	78,93	6.827
2033	29,96	1,40	41,94	191,63	19,16	19,16	80,27	6.943
2034	30,47	1,40	42,66	194,89	19,49	19,49	81,63	7.061
2035	30,99	1,40	43,38	198,20	19,82	19,82	83,02	7.181
2036	31,51	1,40	44,12	201,57	20,16	20,16	84,43	7.303
2037	32,05	1,40	44,87	205,00	20,50	20,50	85,87	7.427
2038	32,59	1,40	45,63	208,49	20,85	20,85	87,32	7.553
2039	33,14	1,40	46,40	212,03	21,20	21,20	88,81	7.682
2040	33,70	1,40	47,19	220,97	22,10	22,10	91,38	7.904

Para el diseño se tendrá en cuenta la vida útil de los equipos mecánicos, la cual se estima de cinco años, esto da cinco fases o etapas de inversión. La tabla 22, muestra el caudal con que debe estar operando la PTAR.

Tabla 25. Caudales de Diseño para la optimización de la PTAR

FASE	AÑO	Q Diseño	
		l/s	m ³ /d
FASE 1	2020	64,43	5.573
FASE 2	2025	70,12	6.066
FASE 3	2030	76,31	6.601
FASE 4	2035	83,02	7.181
FASE 5	2040	91,38	7.904

Capítulo 6

El presente capítulo, relaciona los resultados de laboratorio obtenidos del análisis fisicoquímico y bacteriológico al que se sometieron las muestras de agua recolectadas en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales del municipio de Tauramena, y en el caño la Portana.

Los muestreos para evaluar los sistemas de tratamiento de agua residual, se establecen cuando por exigencias medioambientales es necesario conocer la carga contaminante que se vierte a un cuerpo de agua y para determinar la eficiencia del sistema en remoción de carga. En este sentido, las evaluaciones aproximadas se concentrarán fundamentalmente en la determinación de parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales (SST), Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura, pH y Grasas y Aceites (GyA).

Metodología De Trabajo

El proceso de recolección de muestras fue realizado los días 18, 21 y 23 de septiembre de 2015 por personal de nuestro laboratorio, y cada día consistió en muestreos compuestos de 9 horas en la Canaleta Parshall (Entrada de la planta de tratamiento), en la salida de la Laguna Primaria (Laguna Anaerobia) , en la salida de la Laguna Secundaria (Laguna facultativa), en la salida de la Laguna de Maduración (salida del sistema de tratamiento), y en muestreos puntuales en los puntos 50 metros aguas arriba de la descarga (Caño la Portana) y 50 metros aguas abajo de la descarga de la PTAR sobre el Caño la Portana.

Una vez las muestras son ingresadas al laboratorio, se analizan bajo procedimientos estandarizados y validados según la publicación más reciente de “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, con el fin de ofrecer resultados concluyentes que faciliten a nuestros clientes la toma de decisiones en su campo de acción.

Generación del plan de muestreo

La descripción del plan de muestreo generado para la prestación del servicio se relaciona a continuación.

Planes de muestreo	18 de septiembre. 21 de septiembre. 23 de septiembre.
Tipo de muestra a recolectar	Muestras compuestas, con muestreo cada hora, de las 6:00 am a las 4:00 pm, en la Canaleta Parshall, en la Laguna Primaria, en la Laguna Secundaria, en la Laguna de Maduración.

Muestras simples y aforo de caudal en dos puntos, 50 metros aguas arriba de la descarga de la PTAR y 50 metros aguas abajo de la descarga de la PTAR, sobre el caño La Portana.

Medición de parámetros in situó (pH, Oxígeno disuelto y temperatura) a las 6:00 am y a las 4:00 pm en la Canaleta Parshall, la Laguna Primaria, en la Laguna Secundaria, en la Laguna de Maduración.

Caracterización físico química y microbiológica

6.1 Características físicas de las lagunas

La Tabla 26, muestra las condiciones físicas de las lagunas de estabilización.

Tabla 26. Características de las lagunas

DESCRIPCIÓN	AREAS (m ²)	PROFUNDIDAD (m)
LAGUNA ANAEROBIA (una laguna)	940	4,50
LAGUNA FACULTATIVA (una laguna)	3360	2,00
LAGUNA MADURACIÓN (una laguna)	7875	1,50

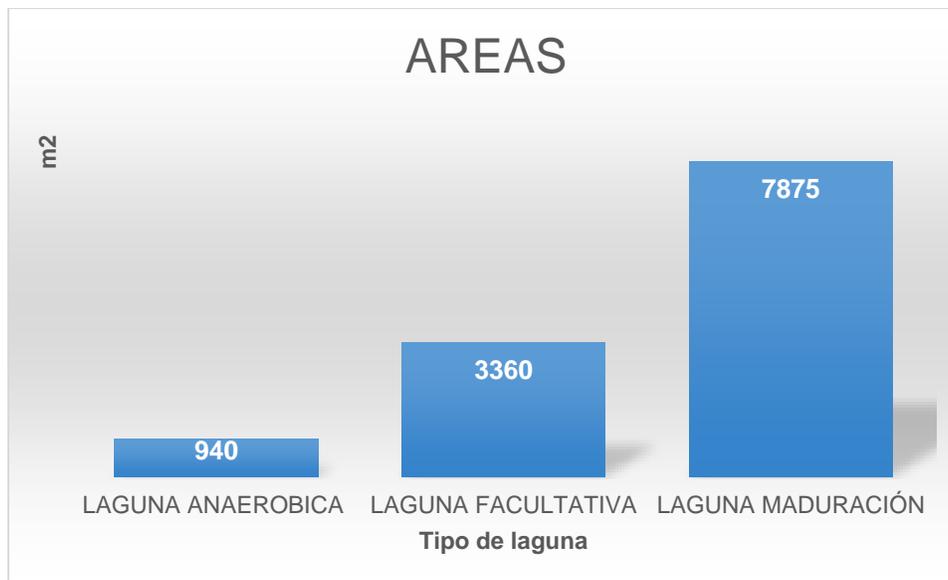


Ilustración 6. Área superficial de cada laguna

6.2 Aforos en la PTAR

La tabla 27, muestra los caudales promedio en los tres días de muestreo.

Tabla 27. Aforo de caudales en la PTAR en la Canaleta Parshall

Fecha	Q L/s	Q m ³ /d
18/09/2015	79,9	6.903
21/09/2015	103	8.865
23/09/2015	73	6.316
Promedio	85	7.361

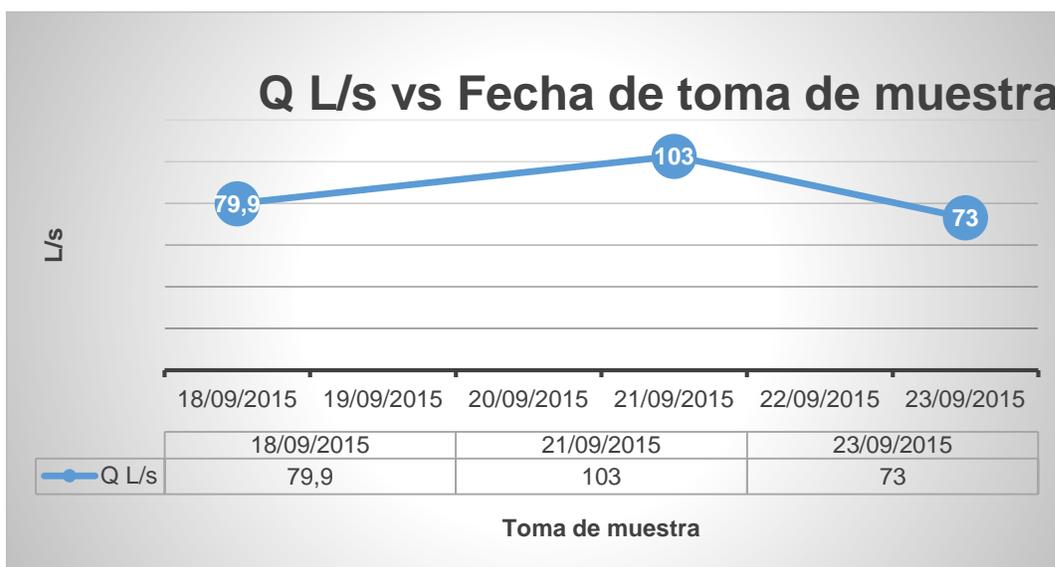


Ilustración 7. Caudal en L/s Vs Fecha de toma de muestra

De la Tabla 27, podemos deducir que el caudal promedio aforado de aguas residuales, para el año en curso, es de 85 Lps, que es superior a 61.25 Lps valor del caudal calculado, esto se debe a que en los días del aforo se produjeron lluvias en el casco urbano, lo que muestra el aporte de las aguas por infiltración y conexiones erradas al sistema de alcantarillado.

6.3 Resultados de DBO y DQO.

La Tabla 28, muestra los resultados obtenidos de DBO, en los diferentes efluentes de la PTAR, en los tres días de muestreo.

Tabla 28. Medición de DBO (mg/L) en cada Laguna

Fecha	Canaleta Parshall Punto 1	Laguna Anaerobia Punto 2	Laguna Facultativa Punto 3	Laguna Maduración Punto 4
18/09/2015	175	70	48	44
21/09/2015	112	76	69	86
23/09/2015	150	76	91	74
DBO (Promedio)	146	74	69	68

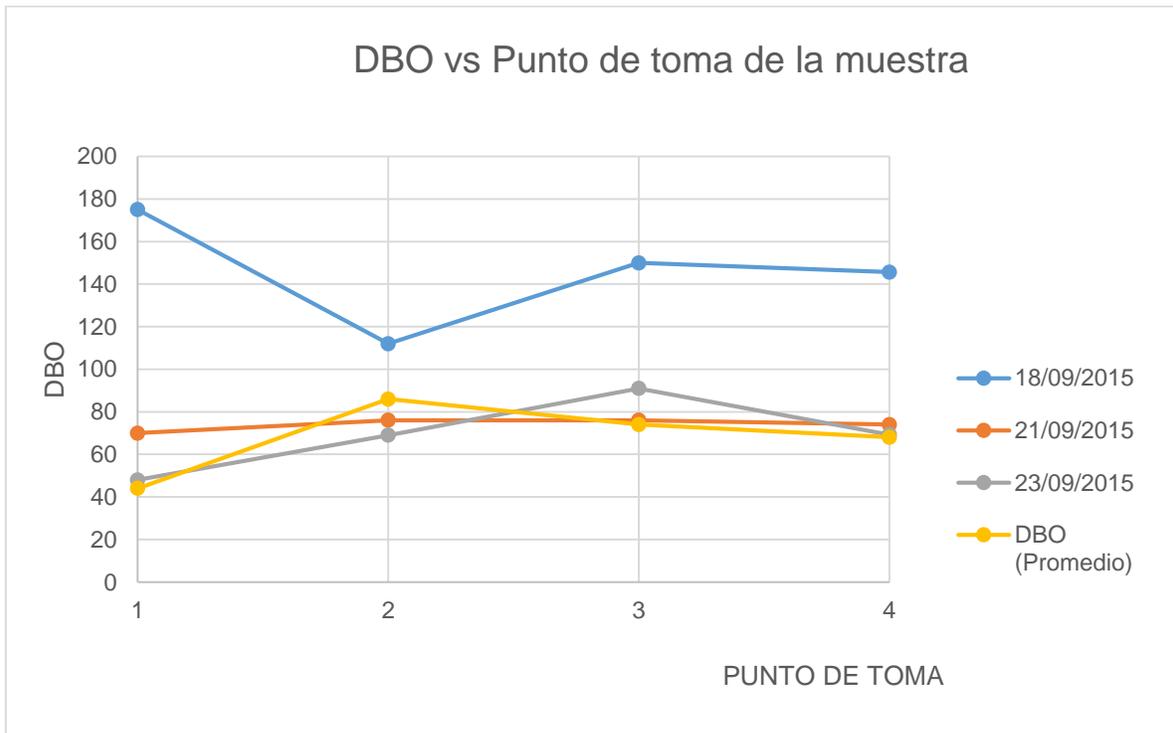


Ilustración 8. Resultados de DBO en los diferentes puntos de muestreo de la PTAR

La Tabla 29, muestra los resultados obtenidos de DQO, en los diferentes efluentes de la PTAR, en los tres días de muestreo.

Tabla 29. Medición de DQO (mg/L)

Fecha	Canaleta Parshall Punto 1	Laguna Anaerobia Punto 2	Laguna Facultativa Punto 3	Laguna Maduración Punto 4
18/09/2015	343	155	133	140
21/09/2015	199	76	74	104
23/09/2015	184	89	106	153
DQO Promedio	242	107	104	132

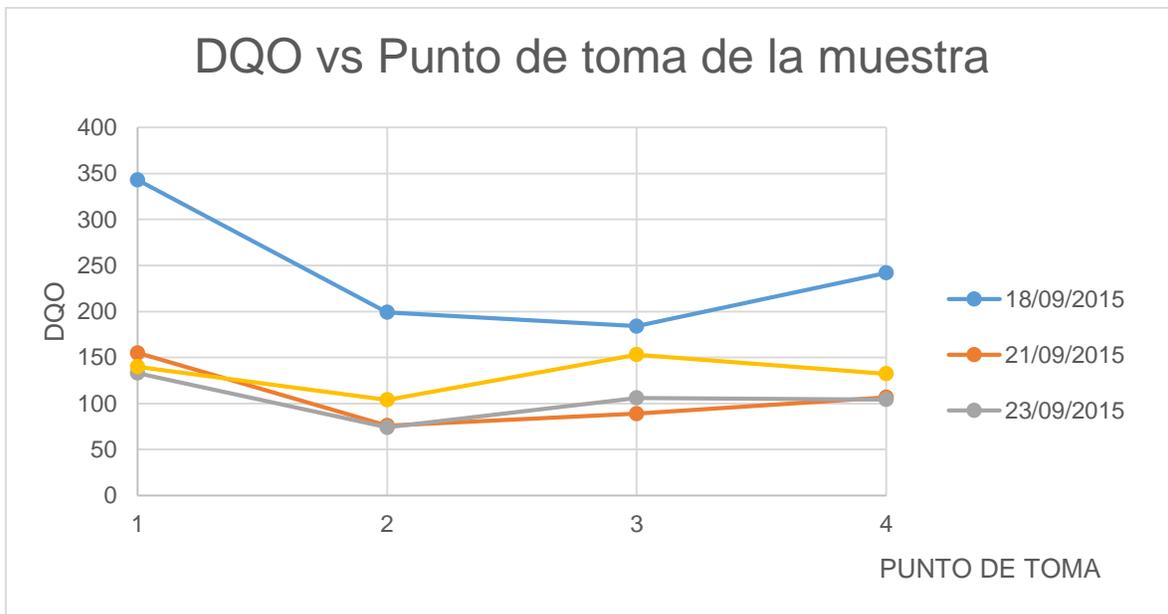


Ilustración 9. Resultados de DQO en los diferentes puntos de muestreo de la PTAR

La tabla 30, muestra el cálculo de la relación DQO/DBO y DBO/DQO

Tabla 30. Biodegradabilidad del agua Residual DQO/DBO

Parámetro	Canaleta Parshall	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Laguna Maduración
DQO/DBO	1,7	1,4	1,5	2
DBO/DQO	0,6	0,7	0,7	0,5

Según los resultados de la tabla 30, $DQO/DBO < 2$, $DBO/DQO > 0,5$, tenemos un efluente de fracción biodegradable alta, apta para el tratamiento biológico. (Romero Rojas, Principios de tratamiento de aguas residuales, 2000).

Los valores de DBO y DQO son indicativos de la biodegradabilidad de la materia contaminante. Generalmente en aguas residuales, un valor de la relación DBO/DQO menor de 0,5, se interpreta como un vertimiento de tipo inorgánico no biodegradable, así mismo, el vertimiento se garantiza como orgánico biodegradable, si dicho valor es mayor o igual 0,5 apto para tratamiento biológico. (Romero Rojas, Principios de tratamiento de aguas residuales, 2000).

6.4 Resultados de oxígeno disuelto.

La tabla 31 y la ilustración 10 muestra los resultados de OD, a las 6 am y a las 4 pm, para el 18 de septiembre de 2015 e indican valores de OD menores de 1 mg/L en las tres lagunas. En promedio, las tres lagunas exhiben OD mínimo a las 6:00 y, en las lagunas facultativas y de maduración buenas condiciones aerobias a las 16:00.

Tabla 31. Medición de Oxígeno Disuelto mg/L

Fecha	Hora	Canaleta Parshall Punto 1	Laguna Anaerobia Punto2	Laguna Facultativa Punto 3	Laguna Maduración Punto 4
18/09/2015	6	6,57	0,32	0,12	0,14
	16	3,56	0,27	0,09	0,95
21/09/2015	6	6,04	0,32	2,93	0,22
	16	3,4	0,11	0,22	12,96
23/09/2015	6	5,55	0,5	0,13	0,35
	16	1,85	0,12	10,6	11,25
OD (Promedio)	6	6,05	0,38	1,06	0,24
	16	2,94	0,17	3,64	8,39

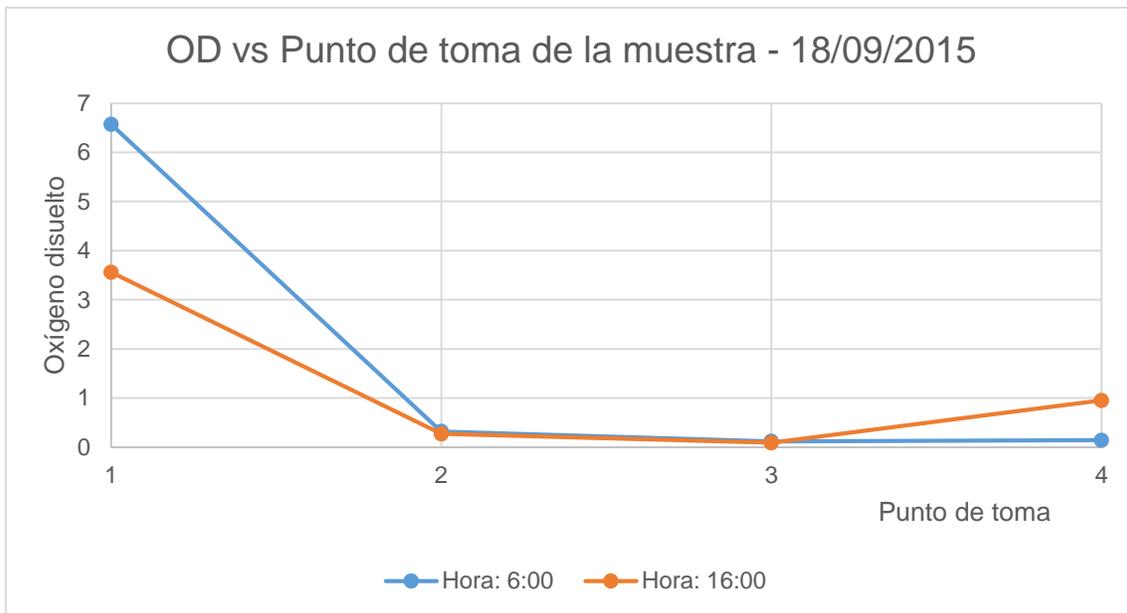


Ilustración 10. Resultados de OD en los distintos puntos de muestreo el día 18/09/2015

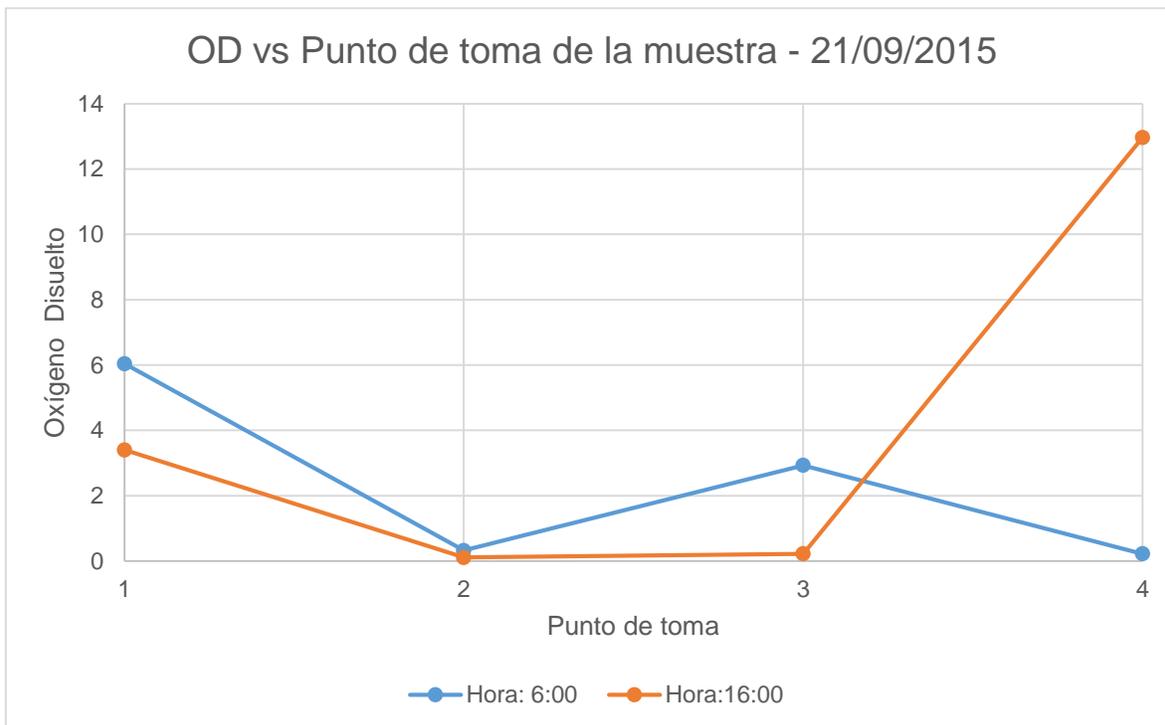


Ilustración 11. Resultados de OD en los distintos puntos de muestreo el día 21/09/2015

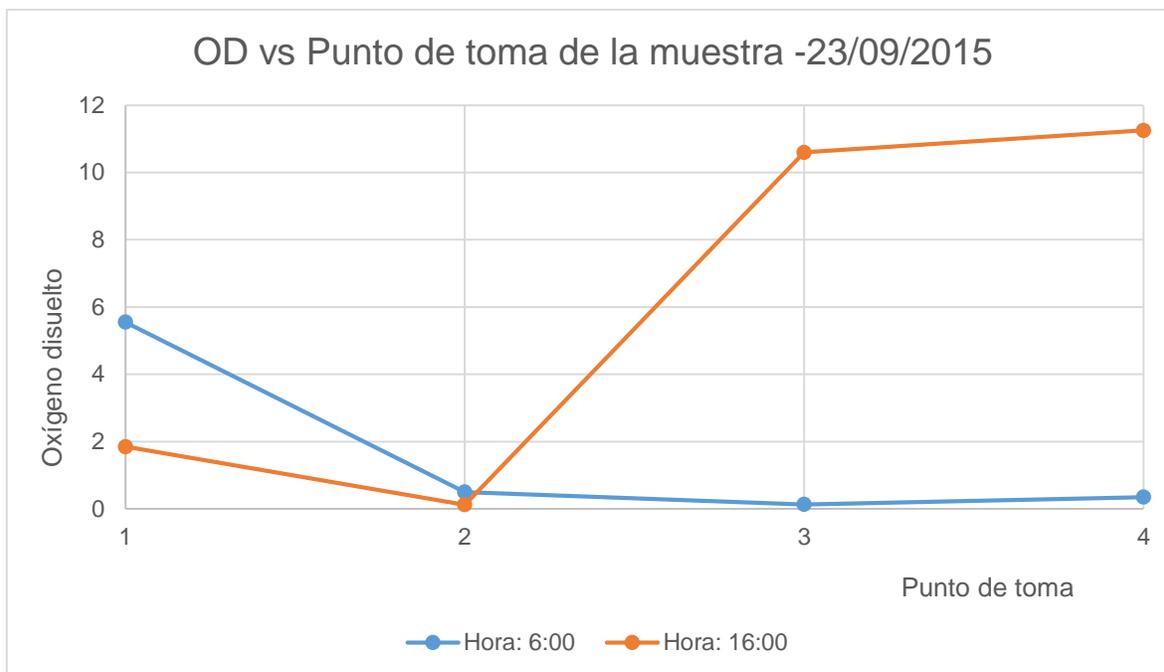


Ilustración 12. Resultados de OD en los distintos puntos de muestreo el día 23/09/2015

6.5 Resultados de temperatura.

La tabla 32, muestra los resultados de temperatura. Se observa una temperatura promedio de 26,48 °C para las 6:00 y de 29,8 °C para las 16: 00. Por esta razón se adoptó como Temperatura de diseño 26°C.

Tabla 32. Resultados de T °C

Fecha	HORA	Canaleta Parshall Punto 1	Laguna Anaerobia Punto 2	Laguna Facultativa Punto 3	Laguna Maduración Punto 4
18/09/2015	6	25.8	25.5	25.5	26.4
	16	31.8	27.2	27.2	31
21/09/2015	6	26.4	26	25.4	26
	16	27	27.9	30.3	33.3
23/09/2015	6	28.4	27.6	26.6	28.1
	16	28.5	29.1	32	32.1
T (promedio)	6	26.87	26.37	25.83	26.83
	16	29.10	28.07	29.83	32.13

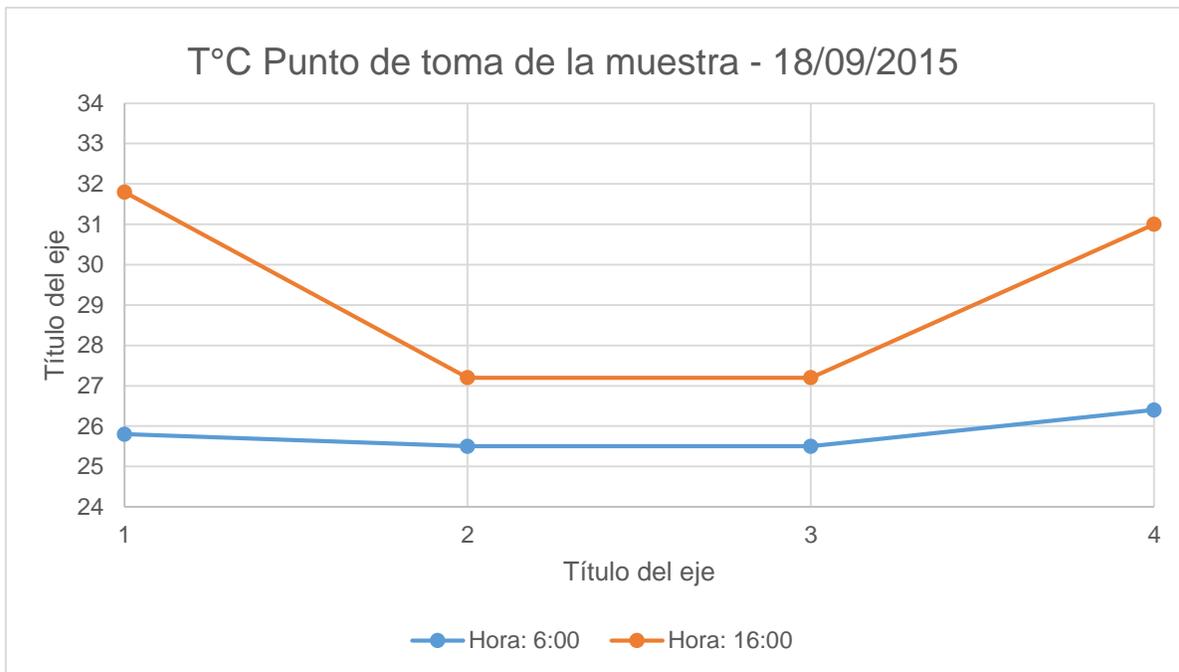


Ilustración 13. Resultados de temperatura en los distintos puntos de muestreo el día 18/09/2015

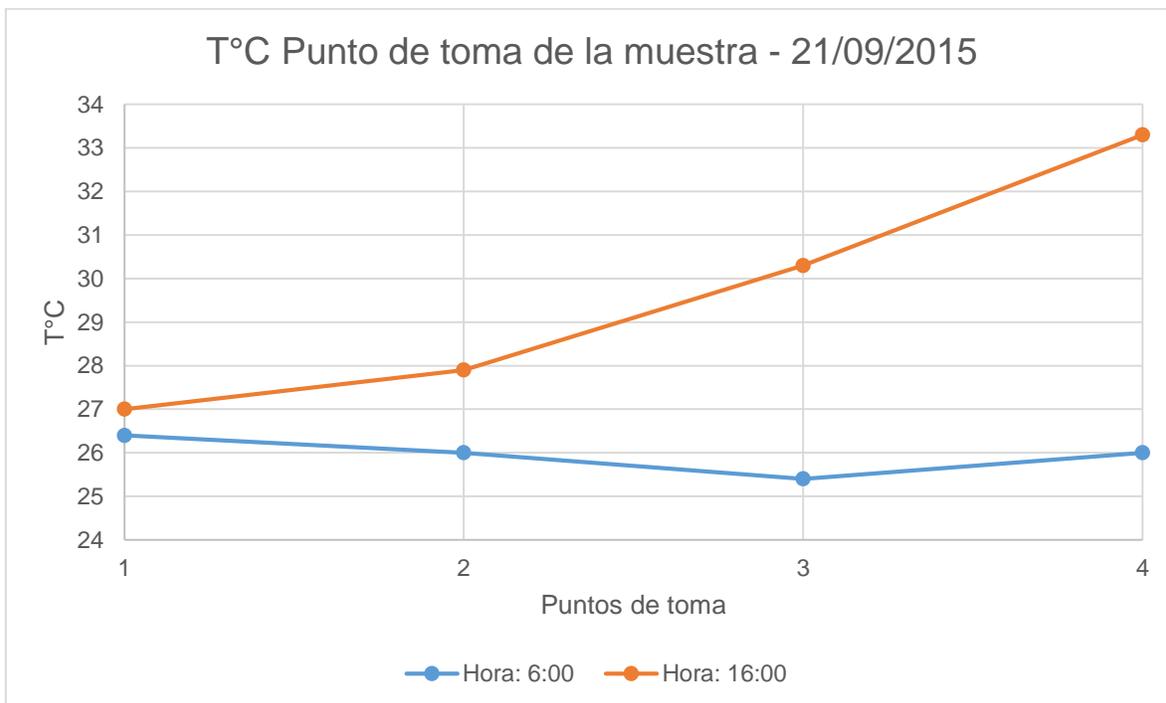


Ilustración 14. Resultados de temperatura en los distintos puntos de muestreo el día 21/09/2015

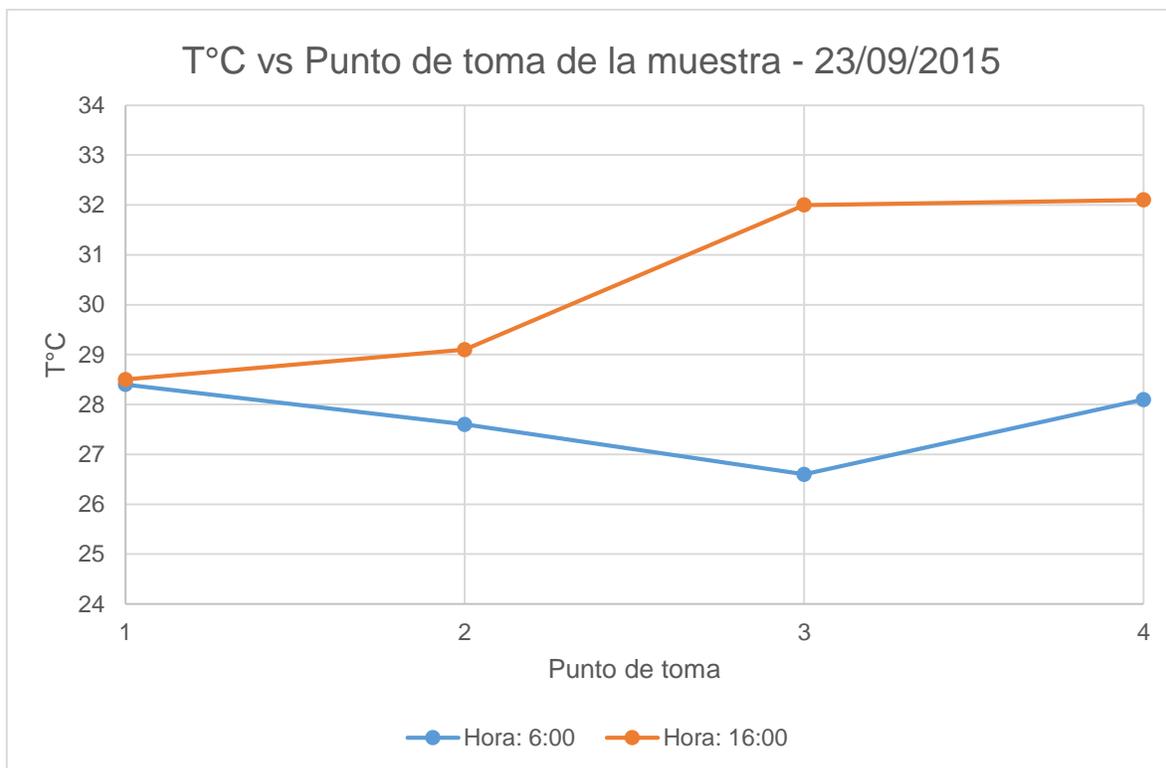


Ilustración 15. Resultados de temperatura en los distintos puntos de muestreo el día 23/09/2015

6.6 Resultados de pH.

La tabla 32, muestra los resultados de pH. Se observa un pH promedio a las 6:00, de 6,7 son aguas residuales acidas y para las 16: 00, se observa un pH de 7,2 en promedio lo que nos indica que son aguas residuales alcalinas. Los valores de pH están entre 6 a 9 unidades de pH, que de acuerdo a la resolución 631 de 2015, se encuentra dentro de los valores máximos permisibles para aguas residuales domésticas.

Tabla 33. Registro de pH

Fecha	HORA	Canaleta Parshall Punto 1	Laguna Anaerobia Punto 2	Laguna Facultativa Punto 3	Laguna Maduración Punto 4
18/09/2015	6	6,4	6,7	6,8	7,1
	16	7,8	6,8	7,0	7,3
21/09/2015	6	6,2	6,4	6,7	7,0
	16	8,1	6,8	6,5	6,5
23/09/2015	6	6,2	6,5	6,7	7,0
	16	7,5	6,6	7,5	7,8
pH (Promedio)	6	6,3	6,5	6,8	7,0
	16	7,8	6,7	7,0	7,2

6.7 Resultados de sólidos suspendidos totales.

La tabla 34, muestra los resultados obtenidos de sólidos suspendidos totales. Se observa que, el día 18/09/2015, el resultado de los sólidos suspendidos totales es de 154 mg/L, producto de las fuertes lluvias que se presentaron durante el día. Para los demás días de muestreo, el promedio de los sólidos suspendidos totales fue de 37 mg/L.

Tabla 34. Resultados de Sólidos Suspendidos Totales

Fecha	Canaleta Parshall Punto 1	Laguna Anaerobia Punto 2	Laguna Facultativa Punto 3	Laguna Maduración Punto 4
18/09/2015	154	63	51	51
21/09/2015	35	29	20	40
23/09/2015	60	34	30	48
SST (Promedio)	83	42	34	46

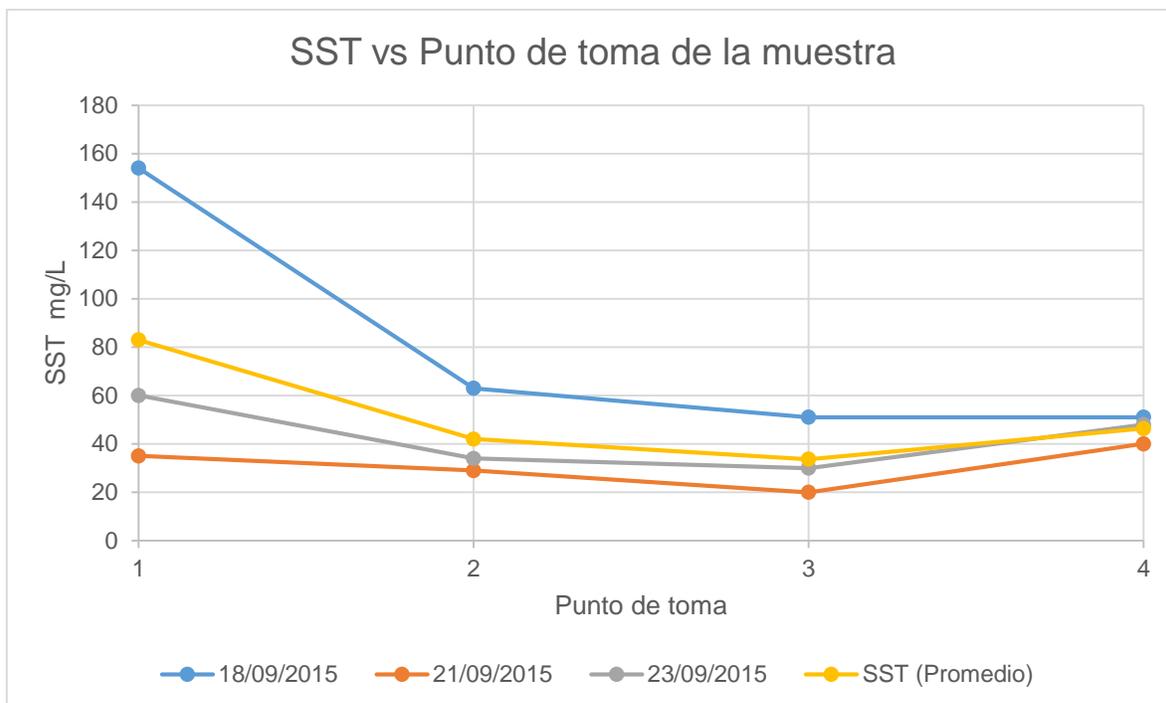


Ilustración 16. Resultados de sólidos suspendidos totales

6.8 Resultados de grasas y aceites.

La tabla 35, muestra los resultados obtenidos de Grasas y Aceites. Se observa que, a la PTAR ingresan en promedio 48 mg/L en promedio y registra en cada una de las lagunas 8 mg/L, que es mayor 1mg/L, lo cual no cumple con los objetivos de calidad exigidos por CORPORINOQUIA, para la quebrada La Portana.

Tabla 35. Resultados de Grasas y Aceites en mg/L

Fecha	Canaleta Parshall Punto 1	Laguna Anaerobia Punto 2	Laguna Facultativa Punto 3	Laguna Maduración Punto 4
18/09/2015	55,9	8	8	8
21/09/2015	44,0	8	8	8
23/09/2015	43,5	8	8	8
Grasas y Aceites (Promedio)	48,0	8	8	8

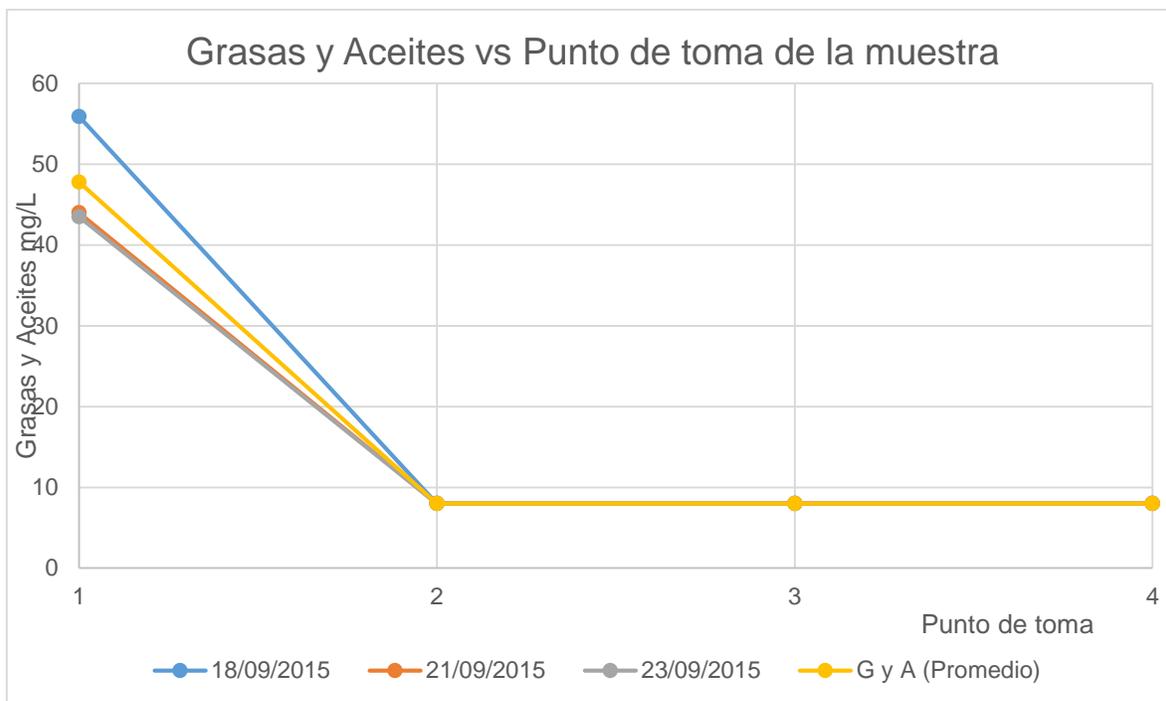


Ilustración 17. Resultados de grasas y aceites

6.9 Resultados de coliformes totales.

La tabla 36, muestra los resultados obtenidos en Coliformes totales. Se observa que los coliformes totales en el efluente de la laguna de maduración es de $9,05 \times 10^6$ NMP/100mL, mayor a los 20.000 NMP/100mL, exigidos en los objetivos de calidad para la quebrada La Portana por la Autoridad Ambiental Regional.

Tabla 36. Resultados de Coliformes totales en NMP/100 mL

Fecha	Canaleta Parshall Punto 1	Laguna Anaerobia Punto 2	Laguna Facultativa Punto 3	Laguna Maduración Punto 4
18/09/2015	1,01E+08	5,60E+07	2,85E+07	1,90E+07
21/09/2015	1,55E+08	3,42E+07	2,50E+07	4,10E+06
23/09/2015	2,42E+08	4,16E+07	1,85E+07	4,05E+06
Coliformes totales (Promedio)	1,66,E+08	4,39,E+07	2,40,E+07	9,05,E+06

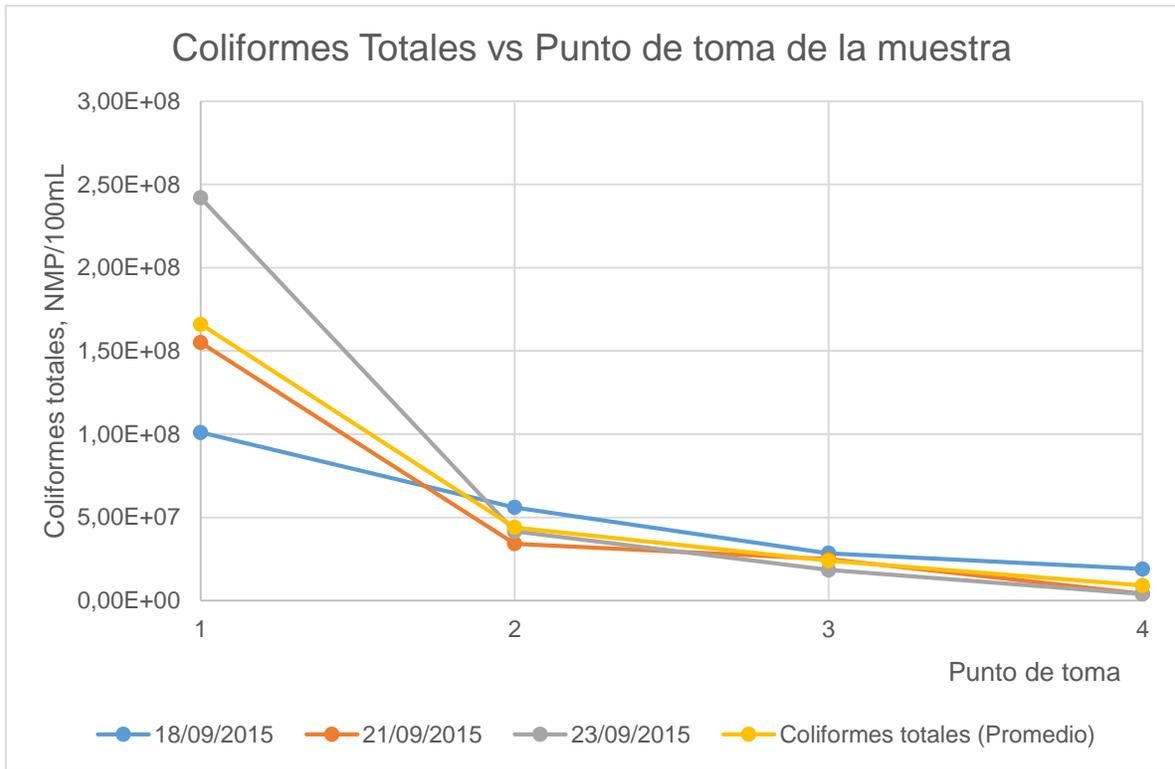


Ilustración 18. Resultados de Coliformes Totales

Capítulo 7

En este capítulo, se analizan los resultados de laboratorio, obtenidos de las muestras tomadas en los diferentes puntos de la PTAR.

Análisis de resultados

7.1 Eficiencias porcentuales de DBO

Tabla 37. Eficiencias porcentuales de DBO

Fecha	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Laguna Maduración	Total PTAR
18/09/2015	60%	31%	8%	75%
21/09/2015	32%	9%	-25%	23%
23/09/2015	49%	-20%	19%	51%
DBO Promedio	49%	6%	2%	53%

Los resultados obtenidos, en la Tabla 37, muestran que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Tauramena, tiene una eficiencia en remoción de DBO del 53%, por debajo del 80%, valor exigido por la autoridad ambiental.

7.2 Eficiencias obtenidas en DQO.

Tabla 38. Eficiencias porcentuales en DQO

Fecha	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Laguna Maduración	Total PTAR
18/09/2015	55%	14%	-5%	59%
21/09/2015	62%	3%	-41%	48%
23/09/2015	52%	-19%	-44%	17%
DQO Promedio	56%	2%	-27%	45%

Los resultados obtenidos, en la Tabla 38, muestran que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Tauramena, tiene una eficiencia en remoción de DQO del 45%, por debajo del 80%, que es lo exigido por la autoridad ambiental.

7.3 Eficiencias obtenidas en sólidos suspendidos totales (SST).

Tabla 39. Eficiencias porcentuales en SST

Fecha	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Laguna Maduración	Total PTAR
18/09/2015	59%	19%	0%	67%
21/09/2015	17%	31%	-100%	-14%
23/09/2015	43%	12%	-60%	20%
SST Promedio	49%	20%	-38%	44%

Los resultados obtenidos, en la Tabla 39, muestran que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Tauramena, tiene una eficiencia en remoción de SST del 44%, por debajo del 80%, que es lo exigido por la autoridad ambiental.

7.4 Eficiencias obtenidas en grasas y aceites.

Tabla 40. Eficiencias porcentuales en Grasas y Aceites

Fecha	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Laguna Maduración	% Eficiencia Total PTAR de Remoción
18/09/2015	86%	0%	0%	86%
21/09/2015	82%	0%	0%	82%
23/09/2015	82%	0%	0%	82%
Gracias y Aceites (Promedio)	83%	0%	0%	83%

Los resultados obtenidos, en la Tabla 40, muestran que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Tauramena, tiene una eficiencia en remoción de grasas y aceites del 83%.

7.5 Eficiencias obtenidas en coliformes totales

Tabla 41. Eficiencias Porcentuales en Coliformes Totales

Fecha	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Laguna Maduración	% Eficiencia Total PTAR de Remoción
18/09/2015	45%	49%	33%	81%
21/09/2015	78%	27%	84%	97%
23/09/2015	83%	56%	78%	98%
Coliformes totales (Promedio)	74%	45%	62%	95%

Los resultados obtenidos, en la Tabla 41, muestran que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Tauramena, tiene una eficiencia en remoción de Coliformes totales del 95%, sin embargo, no se cumple con el máximo permitido que son 20.000 NMP/100mL, exigidos en los objetivos de calidad para la quebrada La Portana por la Autoridad Ambiental Regional.

7.6 Análisis de la laguna anaerobia.

Para el análisis de los resultados de la caracterización de las aguas residuales que ingresan a la PTAR, se tiene en cuenta dos escenarios: El primer escenario que llamamos “situación actual” corresponde funcionamiento encontrado de un solo tren lagunas de estabilización y el segundo escenario que llamamos “ambos trenes de lagunas”, corresponde al funcionamiento en paralelo de los dos trenes de lagunas, es decir al funcionamiento normal de la PTAR.

7.6.1 Situación Actual

En la tabla 42, se presentan los resultados obtenidos de Carga Orgánica Superficial, Carga Orgánica Volumétrica y Tiempo de retención, de la laguna anaerobia con el funcionamiento de un solo tren de lagunas.

Tabla 42. Cálculo de cargas de la laguna Anaerobia

Laguna Anaerobia						
Fecha	CO KgDBO/d	COS kgDBO/ha.d	COV gDBO/m ³ d		Θ Tiempo de retención, d	
			Obtenido	Criterio de diseño ²	Obtenido	Criterio de diseño ²
18/09/2015	483	5.141	114	<400	0,61	2 - 5
21/09/2015	674	7.167	159		0,48	
23/09/2015	480	5.106	113		0,67	
Promedio	546	5.805	129		0,59	

Con el funcionamiento de la planta con un solo tren de lagunas, se obtiene como resultado una carga orgánica volumétrica promedio de 129 gDBO/m³.d, menor de 400 gDBO/ m³. d valor recomendado, para lagunas Anaerobias, lo cual es aceptable; sin embargo, el tiempo de retención promedio es de 0,59 d, valor inferior al criterio recomendado de 2 a 5 días.

7.6.2 Ambos trenes de lagunas

En la tabla 43, se presentan los resultados obtenidos de Carga Orgánica Superficial, Carga Orgánica Volumétrica y Tiempo de retención, de las lagunas Anaerobias con el funcionamiento de los dos trenes de lagunas.

² Nota. Recuperado de la Tabla 6.8, Factores de diseño de lagunas anaeróbicas. Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales, Romero Rojas, 2008

Tabla 43. Cálculo de cargas de la laguna Anaerobia

Laguna Anaerobia						
Fecha	CO KgDBO/d	COS kgDBO/ha.d	COV gDBO/m ³ d		Θ Tiempo de retención, d	
			Obtenido	Criterio de diseño ³	Obtenido	Criterio de diseño ³
18/09/2015	483	2.570	57	<400	1,23	2-5
21/09/2015	674	3.584	80		0,95	
23/09/2015	480	2.553	57		1,34	
Promedio	546	2.902	64		1,17	

Con el funcionamiento de la planta con los dos trenes de lagunas, obtenemos como resultado una carga orgánica volumétrica promedio de 64 gDBO/m³.d, menor a los 400 gDBO/m³.d valor recomendado, para lagunas Anaerobias; sin embargo, el tiempo de retención promedio es de 1,17 días, lo cual es inferior al criterio de diseño recomendado, de 2 a 5 días.

7.7 Análisis de la laguna facultativa.

7.7.1 Situación Actual.

En la tabla 44, se presentan los resultados obtenidos de Carga Orgánica Superficial, Carga Orgánica Volumétrica y Tiempo de retención, de las lagunas facultativas con el funcionamiento de un solo tren de lagunas.

³ Nota. Recuperado de la Tabla 6.8, Factores de diseño de lagunas anaeróbicas. Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales, Romero Rojas, 2008

Tabla 44. Cálculo de cargas de la laguna Facultativa

Laguna Facultativa						
Fecha	CO KgDBO/d	COS kgDBO/ha.d		COV gDBO/m ³ d	Θ Tiempo de retención, d	
		Obtenido	Criterio de diseño ⁴		Obtenido	Criterio de diseño ⁵
18/09/2015	331	986	<400	49	0,97	5 - 30
21/09/2015	612	1.820		91	0,76	
23/09/2015	575	1.711		86	1,06	
Promedio	506	1.506		75	0,93	

Podemos observar que el resultado de carga orgánica superficial promedio de la laguna facultativa 1.506 kgDBO/ha.d, es mayor que el valor recomendado de diseño de 400 kgDBO/ha.d, y que el resultado obtenido de tiempo de retención promedio de 0,93 días es inferior a los valores recomendados para lagunas facultativas. Esto significa que la laguna facultativa esta sobrecargada.

7.7.2 Ambos trenes de lagunas.

En la tabla 45, se presentan los resultados obtenidos de Carga Orgánica Superficial, Carga Orgánica Volumétrica y Tiempo de retención, de las lagunas facultativas con el funcionamiento de los dos trenes de lagunas.

⁴ Recuperado de la figura 6.4. Para T=26°C, modelo de Mara. Relación entre la temperatura y la carga superficial en lagunas primarias facultativas. Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales. Romero Rojas, 2008.

⁵ Recuperado de la tabla 6.2. Características típicas de lagunas de estabilización. Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales. Romero Rojas, 2008.

Tabla 45. Cálculo de cargas de la laguna facultativa

Laguna Facultativa						
Fecha	CO KgDBO/d	COS kgDBO/ha.d		COV gDBO/m ³ d	Θ Tiempo de retención, d	
		Obtenido	Criterio de diseño ⁶		Obtenido	Criterio de diseño ⁷
18/09/2015	331	493	<400	25	1,95	5 - 30
21/09/2015	612	910		46	1,52	
23/09/2015	575	855		43	2,13	
Promedio	506	753		38	1,86	

Podemos observar que el resultado de carga orgánica superficial promedio de la laguna facultativa 753 kgDBO/ha.d, es mayor, que el valor recomendado de diseño de 400 kgDBO/ha.d, y que el resultado obtenido de tiempo de retención promedio de 1,86 días es inferior a los valores típicos para lagunas facultativas. Esto significa que las lagunas facultativas están sobrecargadas.

7.8 Análisis de la laguna de maduración.

7.8.1 Situación Actual.

En la tabla 46, se presentan los resultados obtenidos de Carga Orgánica Superficial, Carga Orgánica Volumétrica y Tiempo de retención, de las lagunas de maduración con el funcionamiento de un solo tren de lagunas.

⁶ Recuperado de la figura 6.4. Para T=26°C, modelo de Mara. Relación entre la temperatura y la carga superficial en lagunas primarias facultativas. Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales. Romero Rojas, 2008.

⁷ Recuperado de la tabla 6.2. Características típicas de lagunas de estabilización. Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales. Romero Rojas, 2008.

Tabla 46. Cálculo de cargas de la laguna de Maduración

Laguna Maduración						
Fecha	CO KgDBO/d	COS kgDBO/ha.d		COV gDBO/m ³ d	Θ Tiempo de retención, d	
		Obtenido	Criterio de diseño		Obtenido	Criterio de diseño
18/09/2015	304	386	<400	26	1,71	7 - 10
21/09/2015	762	968		65	1,33	
23/09/2015	467	593		40	1,87	
Promedio	511	649		43	1,64	

Podemos observar que el resultado de carga orgánica superficial promedio de la laguna de maduración 649 kgDBO/ha.d, es mayor, al valor recomendado de diseño de 400 kgDBO/ha.d, para lagunas facultativas y que el tiempo de retención promedio de 1,64 días, es inferior a los 7 a 10 días recomendados para lagunas de maduración. Esto significa que la laguna de maduración está sobrecargada.

7.8.2 Ambos trenes de lagunas.

En la tabla 47, se presentan los resultados obtenidos de Carga Orgánica Superficial, Carga Orgánica Volumétrica y Tiempo de retención, de las lagunas de maduración con el funcionamiento de los dos trenes de lagunas.

Tabla 47. Cálculo de cargas de la laguna de Maduración

Laguna Maduración						
Fecha	CO KgDBO/d	COS kgDBO/ha.d		COV gDBO/m ³ d	Θ Tiempo de retención, d	
		Obtenido	Criterio de diseño		Obtenido	Criterio de diseño
18/09/2015	304	193	<400	13	3,42	7 - 10
21/09/2015	762	484		32	2,67	
23/09/2015	467	297		20	3,74	
Promedio	511	325		22	3,28	

Podemos observar que el resultado de carga orgánica superficial promedio de la laguna de maduración 325 kgDBO/ha.d, satisface el valor recomendado de diseño de 400

kgDBO/ha.d, para lagunas facultativas mientras que el tiempo de retención promedio de 3,28 días es inferior a los 7 a 10 recomendados para lagunas de maduración. Esto significa que las lagunas de maduración están sobrecargadas hidráulicamente.

7.9 Resumen análisis de DBO, DQO, SST, Grasas y Aceites y Coliformes Totales.

Tabla 48. Resumen Análisis de DBO, DQO, SST, Grasas y aceites y Coliformes Totales

PARÁMETRO	FECHA TOMA DE MUESTREO			OBSERVACIÓN
	18/09/2015	21/09/2015	23/09/2015	
DBO (mg/L) afluente	175	112	150	Los valores de DBO entre 112 y 175 mg/L, indican que son aguas residuales débiles
DQO (mg/L) afluente	343	199	184	Los valores de DQO menores de 400 mg/L, indican que son básicamente aguas residuales domésticas
SST (mg/L) efluente	51	40	48	Los valores de SST son mayores a 40 mg/L, lo cual significa una baja eficiencia de la PTAR
GRASAS Y ACEITES (mg/L) efluente	8	8	8	Los valores de grasas y aceites son mayores a 1 mg/L lo cual significan que no se cumple con los objetivos de calidad para la quebrada La Portana exigidos por la entidad ambiental
COLIFORMES TOTALES (NMP/100 mL)	1,90,E+07	4,10,E+06	4,05,E+06	Los valores de Coliformes son mayores a 20.000 NMP/100 mL, lo cual significa no se cumple con los objetivos de calidad para la quebrada La Portana exigidos por la entidad ambiental.

En la tabla 48, se muestra los resultados de los análisis de DBO, DQO, SST, Grasas y aceites y Coliformes Totales del afluente a la PTAR.

7.10 Caracterización y análisis de resultados de la fuente receptora.

Se tomaron muestras del agua en la fuente receptora, 50 metros aguas arriba del vertimiento y 50 metros aguas abajo. Los resultados observados (Tabla 48 a 52) indican que en todos los casos el caudal del vertimiento es mayor que el caudal de la fuente

receptora, es decir la dilución es menor de 1, sin embargo, el incremento en DBO es, en todos los casos menor de 20 mg/L y despreciable en SST.

7.10.1 Aforo fuente receptora.

Tabla 49. Resultados de Caudal (m³/d) en la fuente receptora

Fecha	Aguas arriba		Aguas abajo		Aumento
	L/s	m ³ /d	L/s	m ³ /d	
18/09/2015	50,00	4.320	157,00	13.565	314%
21/09/2015	88,00	7.603	230,00	19.872	261%
23/09/2015	73,00	6.307	174,00	15.034	238%
Caudal (Promedio)	70,33	6.077	187,00	16.157	271%

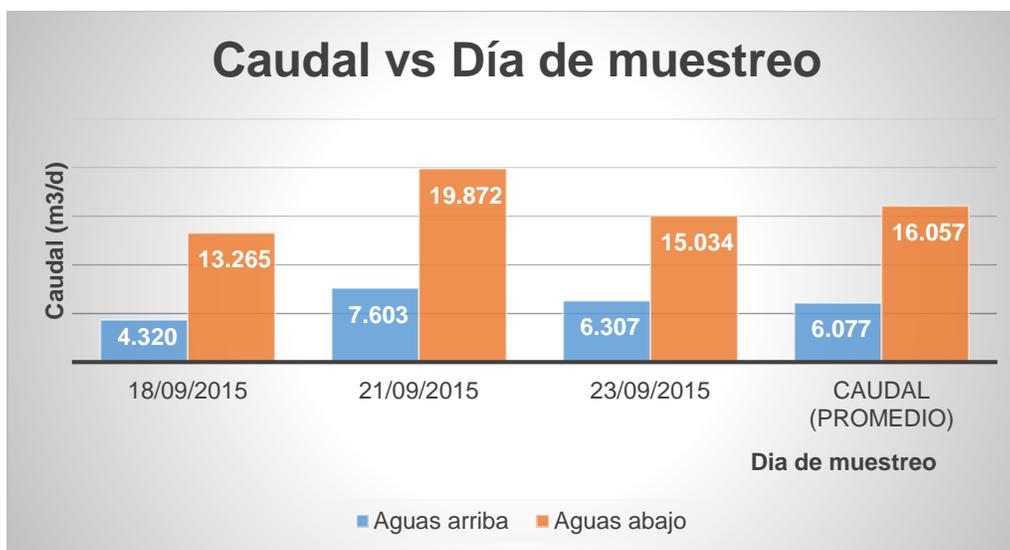


Ilustración 19. Aforos en la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga

Se observa en la Tabla 49 y en la ilustración 19, el caudal aguas arriba vs al caudal aguas abajo, un aumento del 271% en el caudal en la fuente receptora, debido a la descarga de las aguas residuales de la planta de tratamiento.

7.10.2 Resultados de DBO en la fuente receptora.

Tabla 50. Resultados de DBO (mg/L) en la fuente receptora

Fecha	Aguas arriba	Aguas abajo	Diferencia
18/09/2015	4,00	21,40	17,40
21/09/2015	4,00	11,00	7,00
23/09/2015	4,40	24,60	20,20
DBO (Promedio)	4,13	19,00	14,87

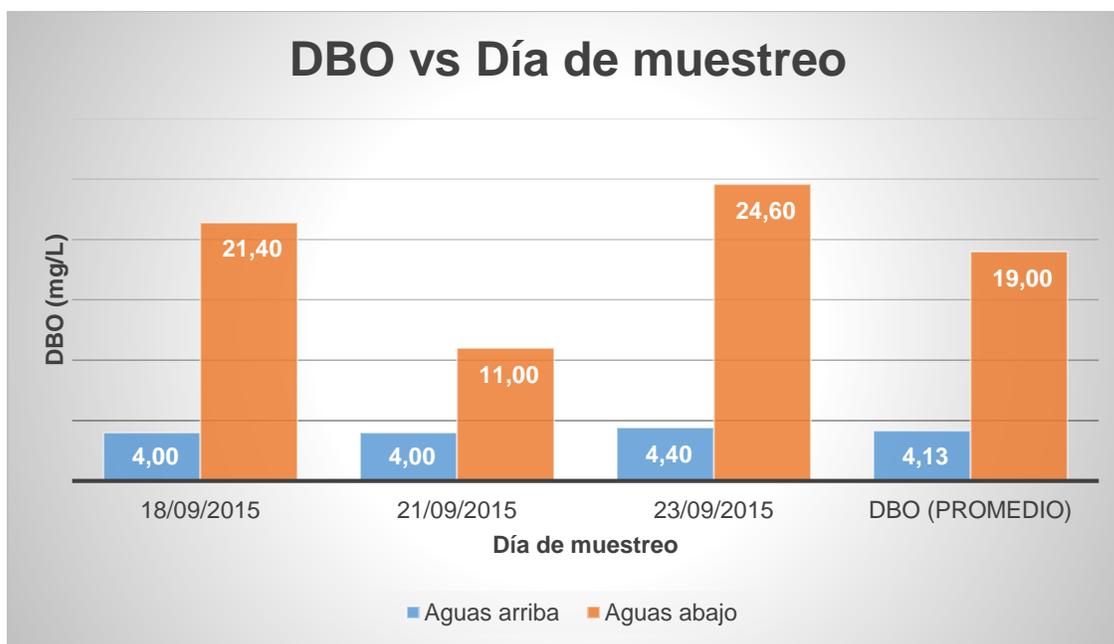


Ilustración 20. Resultados de DBO de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga

Se observa en la Tabla 50 y en la ilustración 20, que la DBO en promedio, antes de la descarga es de 4.13 y una vez se realiza la descarga de las aguas residuales la DBO es de 19, esto indica que, hay un aumento de 14.87 mg/L en la demanda biológica de oxígeno.

7.10.3 Resultados de DQO en la fuente receptora.

Tabla 51. Resultados de DQO (mg/L) en la fuente receptora

Fecha	Aguas arriba	Aguas abajo	Diferencia
18/09/2015	21,30	80,50	59,20
21/09/2015	20,00	31,80	11,80
23/09/2015	20,00	26,20	6,20
DQO (Promedio)	20,43	46,17	25,73

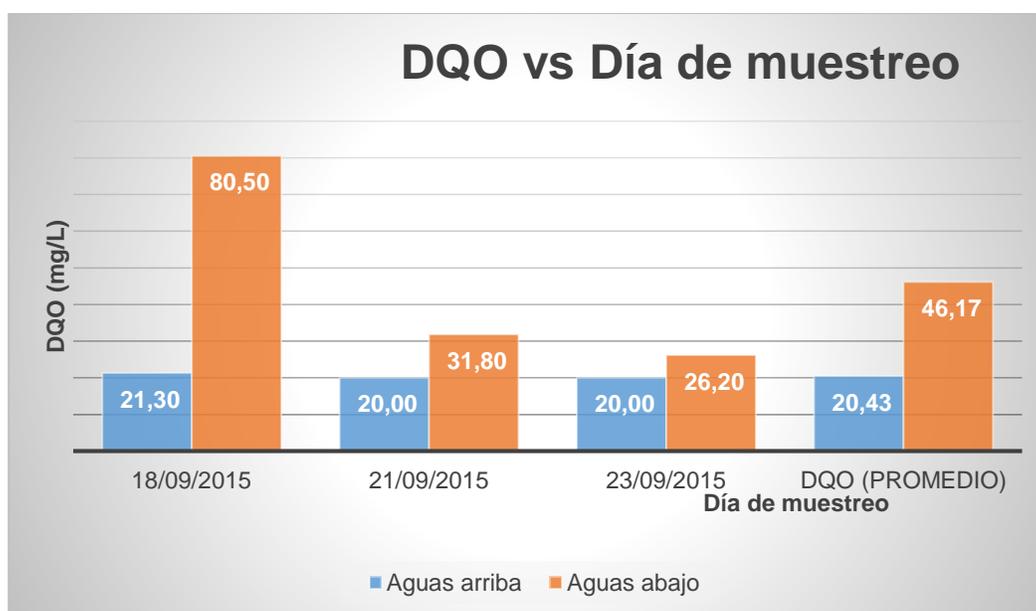


Ilustración 21. Resultados de DQO de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga

Se observa en la Tabla 51 y en la ilustración 21, que la DQO en promedio, antes de la descarga es de 20.43 y una vez se realiza la descarga de las aguas residuales la DQO es de 46.17, esto indica que, hay un aumento de 25.73 mg/L en la demanda química de oxígeno.

7.10.4 Resultados de SST en la fuente receptora.

Tabla 52. Resultados de SST (mg/L) en la fuente receptora

Fecha	Aguas arriba	Aguas abajo	Diferencia
18/09/2015	293,00	197,00	96,00
21/09/2015	20,00	24,50	- 4,50
23/09/2015	20,00	20,00	-
SST (Promedio)	111,00	80,50	30,50



Ilustración 22. Resultados de SST de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga

En la tabla 52 y en la ilustración 22, se observa que, el día 18/09/2015, se observa que los SST aguas arriba de la descarga de la PTAR son de 293 mg/L, mientras que los SST aguas abajo son de 197 mg/L, este se debe, al menor caudal en el afluente, por tanto, mayor concentración de solidos suspendidos totales.

7.10.5 Resultados de grasas y aceites en la fuente receptora.

Tabla 53. Resultados de Grasas y Aceites (mg/L) en la fuente receptora

Fecha	Aguas arriba	Aguas abajo
18/09/2015	8,00	8,00
21/09/2015	8,00	8,00
23/09/2015	8,00	8,00
DBO (Promedio)	8,00	8,00

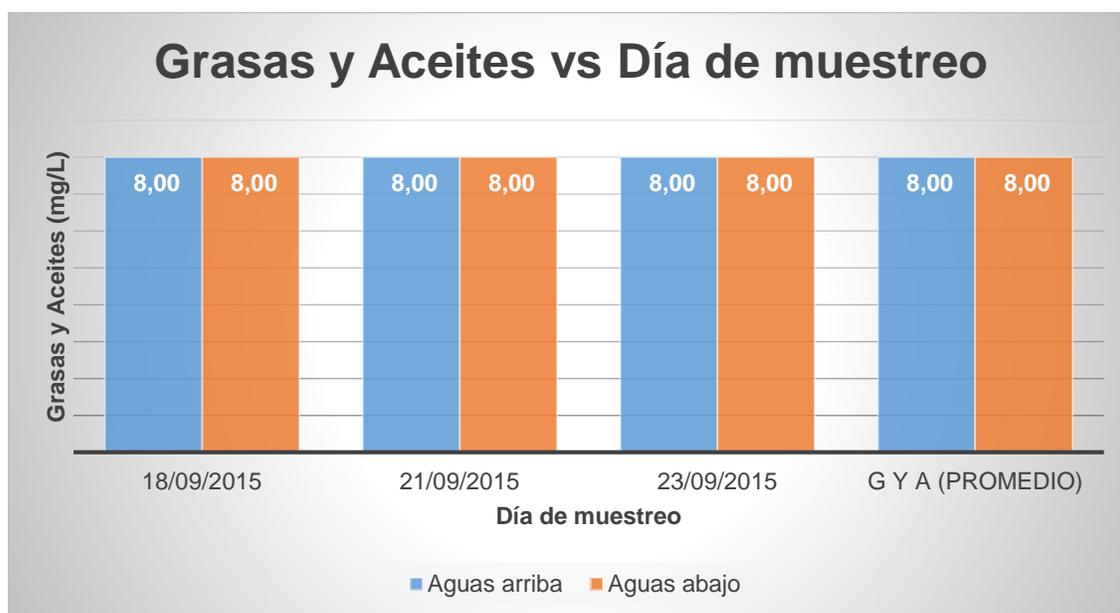


Ilustración 23. Resultados de grasas y aceites de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga

En la Tabla 53 y en la ilustración 23, se observa, que no existe variación en los resultados de grasas y aceites aguas arribas de la descarga de la PTAR, con respecto a los de aguas debajo en la quebrada receptora.

7.10.6 Resultados de pH en la fuente receptora.

Tabla 54. Resultados de pH en la fuente receptora

Fecha	Aguas arriba	Aguas abajo
18/09/2015	6,61	7,10
21/09/2015	6,57	7,22
23/09/2015	6,65	7,27
pH (Promedio)	6,61	7,20



Ilustración 24. Resultados de pH de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga

En la Tabla 54 y en la ilustración 24, se observa que el pH en promedio, antes de la descarga es de 6.61, lo que quiere decir que tenemos un agua acida y una vez se realiza la descarga de las aguas residuales el pH es de 7.2, que es un agua alcalina.

7.10.7 Resultados de oxígeno disuelto en la fuente receptora.

Tabla 55. Resultados de Oxígeno Disuelto (mg/L) en la fuente receptora

Fecha	Aguas arriba	Aguas abajo
18/09/2015	7,18	6,80
21/09/2015	6,57	7,22
23/09/2015	7,60	7,00
OD (Promedio)	7,12	7,01

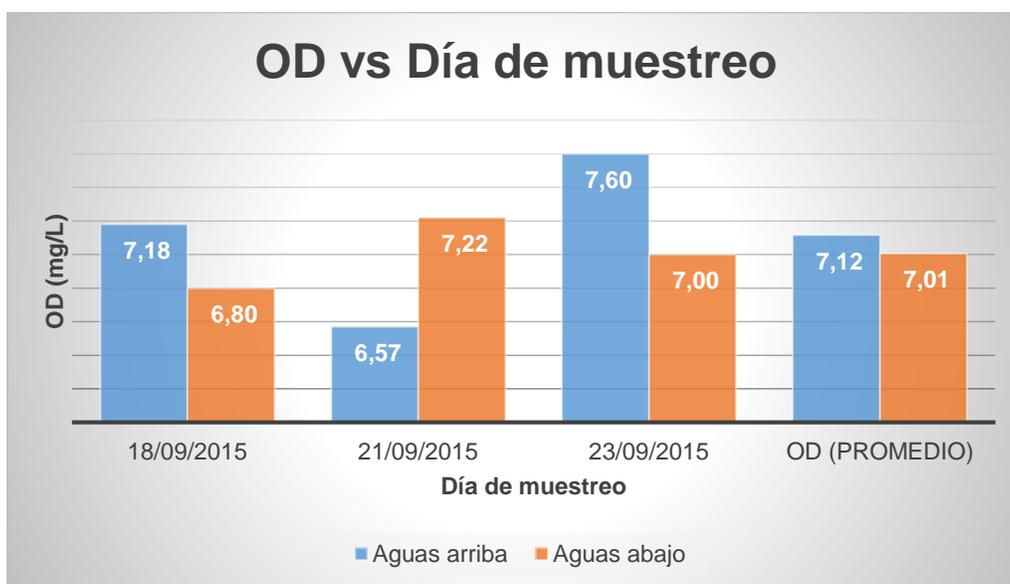


Ilustración 25. Resultados de OD de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga

En la tabla 55 y en la ilustración 25, podemos observar que, la variación de oxígeno disuelto de las aguas arriba de la descarga de la PTAR, con respecto a las aguas abajo es mínima.

7.10.8 Resultados de temperatura en la fuente receptora.

Tabla 56. Resultados de Temperatura (°C) en la fuente receptora

Fecha	Aguas arriba	Aguas abajo
18/09/2015	25,50	26,20
21/09/2015	26,20	26,20
23/09/2015	26,20	26,60
Temperatura (Promedio)	25,97	26,33

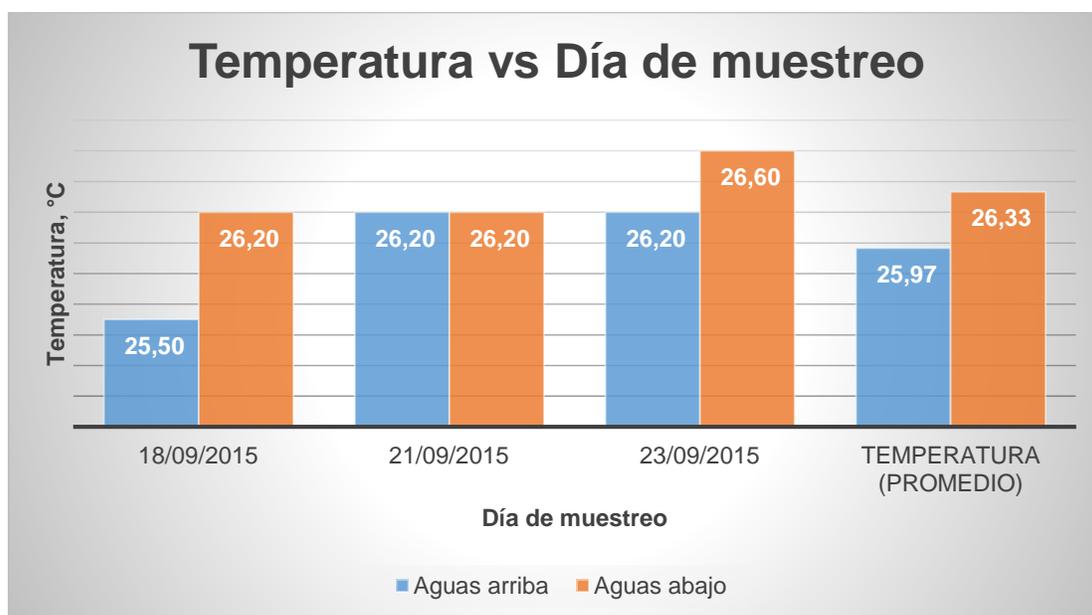


Ilustración 26. Resultados de temperatura de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga

En la tabla 56 y en la ilustración 26, se observa que la temperatura promedio aguas arriba de la descarga de la PTAR es de 25,97°C, mientras la temperatura promedio aguas abajo es de 26,33°C, aumenta levemente.

7.10.9 Resultados de coliformes totales en la fuente receptora.

Tabla 57. Resultados de Coliformes Totales (NMP/100mL) en la fuente receptora

Fecha	Aguas arriba	Aguas abajo
18/09/2015	2,42,E+05	1,01,E+05
21/09/2015	1,29,E+04	1,00,E+03
23/09/2015	2,14,E+04	4,11,E+06
CT (Promedio)	9,21,E+04	1,40,E+06

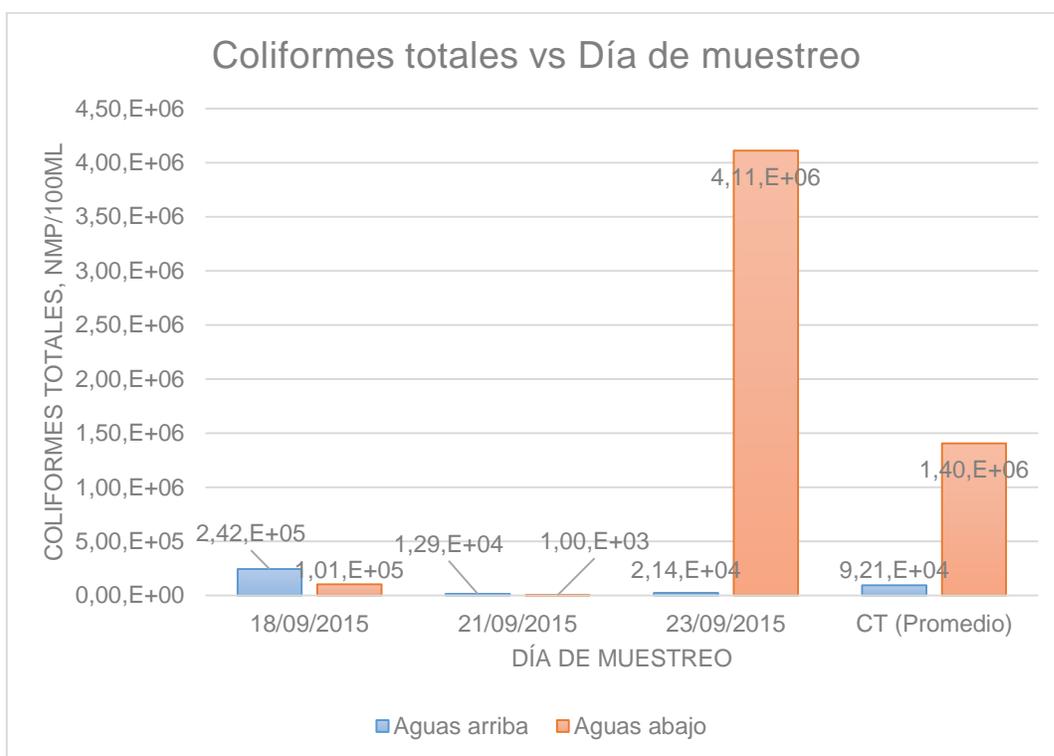


Ilustración 27. Resultados de coliformes totales de la fuente receptora quebrada La Portana, Aguas arriba y Aguas abajo de la descarga

En la tabla 57 y en la ilustración 27, podemos observar que en los días 18 y 21 de septiembre de 2015, se presentaron lluvias, por lo se advierte una menos cantidad de coliformes en la descarga, el día 23/09/2015 es el comportamiento habitual de la PTAR, y se observa el aumento significativo en los coliformes totales en la fuente receptora después de la descarga de la PTAR.

Capítulo 8

En este capítulo, se plantean dos alternativas de solución para la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales, para así cumplir con los objetivos de calidad exigidos por CORPORINOQUIA.

Planteamiento de alternativas

8.1.1 Alternativas de Solución.

Para mejorar el efluente de las lagunas de estabilización, se recomienda cambiar el sistema por lagunas aireadas.

Las lagunas aireadas surgieron, alrededor de 1957, como solución a los problemas de malos olores existentes en lagunas naturales de oxidación sobrecargadas excesivamente y para mejorar la calidad de los efluentes. Sin embargo, al agregar aireadores a lagunas de oxidación natural, se incrementa la turbulencia, desaparecen las algas y surgen condiciones muy diferentes a las lagunas naturales de oxidación de aguas residuales.

En lagunas aireadas, con temperaturas altas y cargas bajas, es posible obtener alto grado de nitrificación. Un sistema de tratamiento de aguas residuales, con lagunas aireadas, permite obtener remoción de DBO mayores al 90% y remociones de coliformes fecales del 90 al 95%, con periodos de aireación de 2 a 6 días.

8.1.2 Requisitos de diseño

La ecuación más usual para diseño de lagunas aireadas es la ecuación basada en un modelo de mezcla completa y tasa de reacción de primer orden.

El diseño de una laguna aireada requiere la evaluación cuidadosa de los siguientes factores:

- Características de remoción de DBO.
- Requerimientos de oxígeno para oxidación biológica.
- Efectos de la temperatura.
- Relaciones de transferencia de oxígeno.
- Requisitos de mezcla.
- Configuración geométrica de la laguna.
- Disposición de aireadores.
- Concentración de biomasa en la laguna.
- Producción de lodos.
- Clarificación y depuración del efluente.

8.1.2.1 Características de Remoción de DBO

Suponiendo una laguna aireada como un reactor biológico de mezcla completa con cinética de remoción de DBO de primer orden y en estado permanente. (Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, 2000)



Ilustración 28. Proceso de remoción de DBO, en una laguna aireada

$$S = \frac{S_o}{1 + K\theta}$$

$S =$ DBO del efluente

$S_o =$ DBO del afluyente

$K =$ Kte de remoción de DBO

$\theta =$ Tiempo de retención

8.1.2.2 Alternativa No.1.

La alternativa No.1 consiste, en instalar aireadores en las dos lagunas Anaerobias que trabajan en paralelo y así convertirlas en lagunas aireadas aerobias y el proceso pasaría de anaeróbico a aeróbico, para solucionar los problemas de sobrecarga de las lagunas y de malos olores. A continuación, las lagunas facultativas ejercerían la función de estabilización adicional de DBO y sedimentador de lodos. Las últimas serían de maduración. (Ilustración 29).

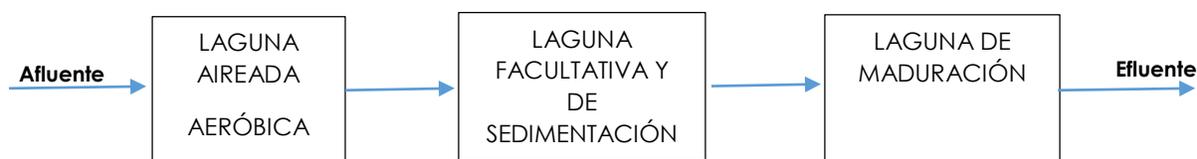


Ilustración 29. Esquema de la alternativa No.1

8.1.2.3 Alternativa No.2.

La alternativa No.2 consiste, en instalar aireadores en las dos lagunas Anaerobias y en las dos lagunas facultativas que trabajan en paralelo y así convertir las lagunas Anaerobias y las facultativas en lagunas aireadas aerobias para convertir los procesos anaeróbico y facultativo a aeróbico, solucionando los problemas de sobrecarga de las lagunas y de malos olores. Las lagunas de maduración se convertirían en lagunas de sedimentación. (Ilustración 30)

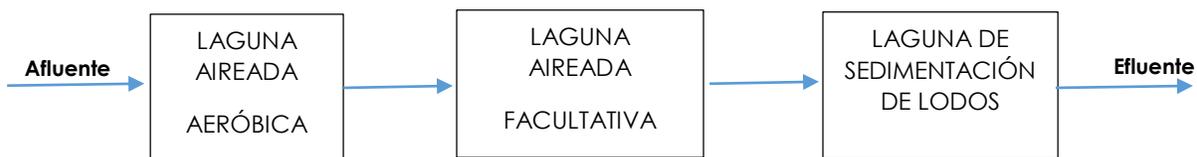


Ilustración 30. Esquema de la alternativa No.2

8.1.2.4 Evaluación de alternativas.

Para análisis de alternativas hemos dividido el periodo de diseño en cinco fases en atención, a la vida útil de los equipos de aireación. La vida útil de los equipos de aireación se estima de cinco años. Por lo anterior se realizó análisis para las cinco fases del proyecto: años 2020, 2025, 2030, 3035 y 2040.

8.1.2.5 Alternativa No1.

Tabla 58. Cálculos de la laguna primaria aireada aerobia

LAGUNA PRIMARIA AIREADA AEROBIA							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Población	hab		14.425	15.706	17.091	18.588	20.207
Caudal	m ³ /d		5.567	6.066	6.601	7.181	7.904
Área	m ²		1.880	1.880	1.880	1.880	1.880
Volumen	m ³		8.460	8.460	8.460	8.460	8.460
Altura sobre el nivel del mar	m		420	420	420	420	420
Presión barométrica	mm Hg		726	726	726	726	726
Temperatura	°C		26	26	26	26	26
Tiempo de retención	d	$\theta = \frac{V}{Q}$	1,52	1,39	1,28	1,18	1,07
Constante de remoción DBO (tabla 11.1)	d ⁻¹		2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
DBO total del afluente, S ₀	mg/L		146	146	146	146	146
SST totales del afluente	mg/L		83	83	83	83	83
DBO soluble del efluente primario (Ec. 11.10)	mg/L	$\frac{S}{S_0} = \frac{1}{1 + K\theta}$	30	32	35	37	40
Carga orgánica	kgDBO/d	$CO = DBO * Q$	811	884	961	1.046	1.151
Carga orgánica superficial	kgDBO/ha.d	$COS = \frac{DBO * Q}{A}$	4.313	4.700	5.114	5.564	6.124
Carga orgánica volumétrica	g DBO/m ³ .d	$COV = \frac{DBO * Q}{V}$	96	104	114	124	136

LAGUNA PRIMARIA AIREADA AEROBIA							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Porcentaje de remoción de DBO	%	$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$	79%	78%	76%	75%	73%
Oxígeno requerido (Ec. 11.18)	kg O ₂ /h	$OR = FES_0Q \times 10^{-3}$	34,77	37,19	39,69	42,30	45,40
No, Tasa nominal de transferencia de O ₂	kg O ₂ /kW.h		1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
β, relación entre conc., de saturación de O ₂ en AR y la conc., en AP			1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
α, relación tasa de transf., de O ₂ en AR a la tasa de transf., en AP			0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Conc., de saturación de O ₂ disuelto en AP, a la temp., T y altitud A	mg/L	$C_{S(26,420)} =$	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85
Conc., de saturación de O ₂ disuelto en A. destilada a 20°C y a nivel del mar	mg/L	$C_{S(20,0)} =$	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10
Conc., de saturación de O ₂ disuelto en A. destilada a 26°C y a nivel del mar	mg/L	$C_{S(26,0)} =$	8,22	8,22	8,22	8,22	8,22
Concentración de OD a mantener en la laguna.	mg/L	$C_L =$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Tasa de transferencia de oxígeno para un equipo de aireación superficial	kg O ₂ /kW.h	$N = N_0 \alpha (1.024)^{T-20} \left[\frac{\beta C_{S(T,A)} - C_L}{C_{S(20,0)}} \right]$	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
Potencia requerida por aireación	kW	$P = \frac{OR}{N}$	19	20	22	23	25
	HP		26	27	29	31	33
kd, coeficiente de respiración endógena	d ⁻¹		0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Y,			0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

LAGUNA PRIMARIA AIREADA AEROBIA							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Concentración de biomasa en la laguna	mg SSV/L	$X = \frac{Y(S_0 - S)}{1 + k_d \theta}$	63	63	62	61	60
Potencia requerida por mezcla	W/m ³	$NP = 0.004X + 5$	5,65	5,65	5,64	5,64	5,63
Potencia requerida por mezcla	kW	$P = V \times NP$	48	48	48	48	48
	HP		64	64	64	64	64
Coliformes fecales del afluente	CF/100 mL		1,E+08	1,E+08	1,E+08	1,E+08	1,E+08
Eficiencia en coliformes fecales	%		90	90	90	90	90
Coliformes fecales del efluente primario	CF/100 mL	$CF = N(1 - E)$	1,E+07	1,E+07	1,E+07	1,E+07	1,E+07
Concentración de sólidos del efluente primario	mg/L-SST	$SS_1 = \frac{X}{0.8} + SST_{afluente}$	162	161	160	159	158

Tabla 59. Laguna secundaria Facultativa

LAGUNA SECUNDARIA (FACULTATIVA)							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Área	m ²		6.720	6.720	6.720	6.720	6.720
Volumen	m ³		13.440	13.440	13.440	13.440	13.440
DBO total del afluente primario (Ec. 11.35)	mg/L	$DBO_{TOTAL} = S_e + CX$	56	58	59	61	64
Carga orgánica	kgDBO/d	$CO = DBO * Q$	310	349	392	440	502
Carga orgánica superficial	kg DBO/ha.d	$COS = \frac{DBO * Q}{A}$	462	519	583	655	747
Carga orgánica máxima para lagunas facultativas (Ec. 6.24). Ta=26°C	kg DBO/ha.d	$CSM = 20T_a - 120$	400	400	400	400	400
Carga orgánica volumétrica	g DBO/m ³ .d	$COV = \frac{DBO * Q}{V}$	23,08	25,97	29,17	32,75	37,37
Eficiencia en remoción de DBO	%	$E = \frac{10.35 + 0.725 CSA}{CSA}$	75%	74%	74%	74%	74%
DBO del efluente secundario	mg/L	$DBO_{EFLU. SECUN} = DBO_{TOTAL}(1 - E)$	14,07	14,68	15,28	15,89	16,59
Eficiencia en remoción de DBO de la laguna primaria y secundaria	%	$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} \times 100$	90%	90%	90%	89%	89%
Tiempo de retención	d	$\theta = \frac{V}{Q}$	2,41	2,22	2,04	1,87	1,70
Constante de remoción de CF	d ⁻¹	$K_{b,T} = 3.27 \times (1.59)^{T-20}$	52,84	52,84	52,84	52,84	52,84
Coliformes fecales del efluente secundario	CF/100 mL	$N = \frac{N_o}{1 + K_b \theta}$	78.560	85.543	93.016	101.117	111.186

LAGUNA SECUNDARIA (FACULTATIVA)							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Volumen de lodos	$m^3/año$	$V_L = 0.03 V_{laguna} \times hab. año$	433	471	513	558	606
Periodo de desenlode	años	$Período = \frac{V_{Laguna}}{3 \times V_L}$	10,35	9,51	8,74	8,03	7,39

Tabla 60. Laguna de Maduración

LAGUNA DE MADURACIÓN							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Área total	m^2		15.750	15.750	15.750	15.750	15.750
Volumen total	m^3		23.625	23.625	23.625	23.625	23.625
Tiempo de retención	d	$\theta = \frac{V}{Q}$	4,24	3,89	3,58	3,29	2,99
Coliformes fecales del efluente terciario	$CF/100 mL$	$N = \frac{N_0}{1 + K_p \theta}$	349	414	489	578	700

La carga orgánica superficial en la laguna secundaria facultativa supera la carga orgánica máxima de diseño, lo cual indica que la laguna quedaría sobre cargada y no trabajaría como laguna facultativa, por tanto, hay que buscar otra alternativa de diseño.

8.1.2.6 Alternativa No2.

Tabla 61. Laguna primaria aireada aerobia

LAGUNA PRIMARIA AIREADA AEROBIA							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Población	hab		14.425	15.706	17.091	18.588	20.207
Caudal	m ³ /d		5.573	6.066	6.601	7.181	7.904
Área	m ²		1.880	1.880	1.880	1.880	1.880
Volumen	m ³		8.460	8.460	8.460	8.460	8.460
Altura sobre el nivel del mar	m		420	420	420	420	420
Presión barométrica	mm Hg		726	726	726	726	726
Temperatura	°C		26	26	26	26	26
Tiempo de retención	d	$\theta = \frac{V}{Q}$	1,52	1,39	1,28	1,18	1,07
Constante de remoción DBO (tabla 11.1)	d ⁻¹		2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
DBO total del afluente, S ₀	mg/L		146	146	146	146	146
SST totales del afluente	mg/L		83	83	83	83	83
DBO soluble del efluente primario (Ec. 11.10)	mg/L	$\frac{S}{S_0} = \frac{1}{1 + K\theta}$	30	32	35	37	40
Carga orgánica	KgDBO/d	$CO = DBO * Q$	812	884	961	1.046	1.151
Carga orgánica superficial	KgDBO/ha.d	$COS = \frac{DBO * Q}{A}$	4.318	4.700	5.114	5.564	6.124
Carga orgánica volumétrica	g DBO/m ³ .d	$COV = \frac{DBO * Q}{V}$	96	104	114	124	136
Porcentaje de remoción de DBO	%	$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$	79%	78%	76%	75%	73%

LAGUNA PRIMARIA AIREADA AEROBIA							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Oxígeno requerido (Ec. 11.18)	kg O ₂ /h	$OR = FES_O Q \times 10^{-3}$	34,80	37,19	39,69	42,30	45,40
No, Tasa nominal de transferencia de O ₂	kg O ₂ /kW.h		1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
β, relación entre conc., de saturación de O ₂ en AR y la conc., en AP			1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
α, relación tasa de transf., de O ₂ en AR a la tasa de transf., en AP			0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Conc., de saturación de O ₂ disuelto en AP, a la temp., T y altitud A	mg/L	$C_{S(26,420)} =$	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85
Conc., de saturación de O ₂ disuelto en A. destilada a 20°C y a nivel del mar	mg/L	$C_{S(20,0)} =$	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10
Conc., de saturación de O ₂ disuelto en A. destilada a 26°C y a nivel del mar	mg/L	$C_{S(26,0)} =$	8,22	8,22	8,22	8,22	8,22
Concentración de OD a mantener en la laguna.	mg/L	$C_L =$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Tasa de transferencia de oxígeno para un equipo de aireación superficial	kg O ₂ /kw.h	$N = N_0 \alpha (1.024)^{T-20} \left[\frac{\beta C_{S(T,A)} - C_L}{C_{S(20,0)}} \right]$	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
Potencia requerida por aireación	kW	$P = \frac{OR}{N}$	19	20	22	23	25
	HP		26	27	29	31	33
kd, coeficiente de respiración endógena	d ⁻¹		0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Y _i			0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Concentración de biomasa en la laguna	mg SSV/L	$X = \frac{Y(S_0 - S)}{1 + k_d \theta}$	63	63	62	61	60

LAGUNA PRIMARIA AIREADA AEROBIA							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Potencia requerida por mezcla	W/m^3	$NP = 0.004X + 5$	5,65	5,65	5,64	5,64	5,63
Potencia requerida por mezcla	kW	$P = V \times NP$	48	48	48	48	48
	HP		64	64	64	64	64
Coliformes fecales del afluente	$CF/100 mL$		1,E+08	1,E+08	1,E+08	1,E+08	1,E+08
Eficiencia en coliformes fecales	%		90	90	90	90	90
Coliformes fecales del efluente primario	$CF/100 mL$	$CF = N(1 - E)$	1,E+07	1,E+07	1,E+07	1,E+07	1,E+07
Concentración de sólidos del efluente primario	$mg/L-SST$	$SS_1 = \frac{X}{0.8} + SST_{afuente}$	162	161	160	159	158

Tabla 62. Laguna secundaria aireada facultativa

LAGUNA SECUNDARIA AIREADA FACULTATIVA							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Población	hab		14.425	15.706	17.091	18.588	20.207
Caudal	m ³ /d		5.573	6.066	6.601	7.181	7.904
Área	m ²		6.720	6.720	6.720	6.720	6.720
Volumen	m ³		13.440	13.440	13.440	13.440	13.440
Altura sobre el nivel del mar	m		420	420	420	420	420
Presión barométrica	mm Hg		726	726	726	726	726
Temperatura	°C		26	26	26	26	26
Tiempo de retención	d	$\theta = \frac{V}{Q}$	2,41	2,22	2,04	1,87	1,70
Constante de remoción DBO (tabla 11.1)	d ⁻¹		2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
DBO total del afluente	mg/L	$DBO_{TOTAL} = S_e + CX$	56	58	59	61	64
SST totales del afluente primario	mg/L		162	161	160	159	158
DBO soluble del efluente secundario (Ec. 11.10)	mg/L	$\frac{S}{S_0} = \frac{1}{1 + K\theta}$	8	9	10	11	12
Carga orgánica	KgDBO/d	$CO = DBO * Q$	311	349	392	440	502
Carga orgánica superficial	KgDBO/ha.d	$COS = \frac{DBO * Q}{A}$	462	519	583	655	747
Carga orgánica volumétrica	g DBO/m3.d	$COV = \frac{DBO * Q}{V}$	23	26	29	33	37
Porcentaje de remoción de DBO	%	$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$	86%	85%	84%	82%	81%

LAGUNA SECUNDARIA AIREADA FACULTATIVA							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Oxígeno requerido (Ec. 11.18)	kg O ₂ /h	$OR = FES_0Q \times 10^{-3}$	14	16	18	20	22
No, Tasa nominal de transferencia de O ₂	kg O ₂ /kW.h		1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
β, relación entre conc., de saturación de O ₂ en AR y la conc., en AP			1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
α, relación tasa de transf., de O ₂ en AR a la tasa de transf., en AP			0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Conc., de saturación de O ₂ disuelto en AP, a la temp., T y altitud A	mg/L	$C_{S(26,420)} =$	7,84	7,84	7,84	7,84	7,84
Conc., de saturación de O ₂ disuelto en A. destilada a 20°C y a nivel del mar	mg/L	$C_{S(20,0)} =$	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10
Conc., de saturación de O ₂ disuelto en A. destilada a 26°C y a nivel del mar	mg/L	$C_{S(26,0)} =$	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20
Concentración de OD a mantener en la laguna.	mg/L	$C_L =$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Tasa de transferencia de oxígeno para un equipo de aireación superficial	kg O ₂ /kw.h	$N = N_0 \alpha (1.024)^{T-20} \left[\frac{\beta C_{S(T,A)} - C_L}{C_{S(20,0)}} \right]$	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82
Potencia requerida por aireación	kW	$P = \frac{OR}{N}$	8	9	10	11	12
	HP		11	12	13	14	16
kd, coeficiente de respiración endógena	d ⁻¹		0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Y,			0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Concentración de biomasa en la laguna	mg SSV/L	$X = \frac{Y(S_0 - S)}{1 + k_d \theta}$	25	26	27	27	28

LAGUNA SECUNDARIA AIREADA FACULTATIVA							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Potencia requerida por mezcla	W/m^3		4	4	4	4	4
Potencia requerida por mezcla	kW	$P = V \times NP$	54	54	54	54	54
	HP		72	72	72	72	72
Coliformes fecales del afluente	$CF/100 mL$		1,E+07	1,E+07	1,E+07	1,E+07	1,E+07
Eficiencia en coliformes fecales	%		90	90	90	90	90
Coliformes fecales del efluente primario	$CF/100 mL$	$CF = N(1 - E)$	1,E+06	1,E+06	1,E+06	1,E+06	1,E+06
Concentración de sólidos del efluente secundario	$mg/L-SST$	$SS_2 = \frac{X}{0.8} + SST_1 * 0.4 - SST_1 \times 0.4 \times 0.8$	44	45	46	47	48

Tabla 63. Laguna terciaria

LAGUNA TERCIARIA FACULTATIVA Y DE SEDIMENTACIÓN							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Población	hab		14.425	15.706	17.091	18.588	20.207
Área	m ²		15.750	15.750	15.750	15.750	15.750
Volumen	m ³		23.625	23.625	23.625	23.625	23.625
DBO total del efluente secundario	mg/L	$DBO_{TOTAL} = S_e + CX$	20	22	23	24	26
Carga orgánica	kgDBO/d	$CO = DBO * Q$	114	132	152	175	206
Carga orgánica superficial	kg DBO/ha.d	$COS = \frac{DBO * Q}{A}$	72	84	96	111	131
Carga orgánica máxima para lagunas facultativas (Ec. 6.24)	kg DBO/ha.d	$CSM = 20T_a - 120$	400	400	400	400	400
Carga orgánica volumétrica	g DBO/m ³ .d	$COV = \frac{DBO * Q}{V}$	4,83	5,57	6,43	7,42	8,73
Eficiencia en remoción de DBO	%	$E = 0.941 - \frac{7.16}{CSA}$	84%	86%	87%	88%	89%
DBO del efluente terciario	mg/L	$DBO_{EFLU.SECUN} = DBO_{TOTAL}(1 - E)$	3,23	3,14	3,07	3,01	2,97
Eficiencia en remoción de DBO del sistema	%	$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} \times 100$	98%	98%	98%	98%	98%
Tiempo de retención	d	$\theta = \frac{V}{Q}$	4,24	3,89	3,58	3,29	2,99
Constante de remoción de CF	d ⁻¹	$K_{b,T} = 3.27 \times (1.59)^{T-20}$	52,84	52,84	52,84	52,84	52,84
Coliformes fecales del efluente secundario	CF/100 mL	$N = \frac{N_o}{1 + K_p \theta}$	4.489	4.884	5.313	5.777	6.355

LAGUNA TERCIARIA FACULTATIVA Y DE SEDIMENTACIÓN							
PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA	RESULTADOS PARA LAS DIFERENTES FASES DE DISEÑO				
			2020	2025	2030	2035	2040
Eficiencia en remoción de Coliformes totales del sistema	%	$E = \frac{(CT_0 - CT)}{CT_0} \times 100$	99,996%	99,995%	99,995%	99,994%	99,994%
Concentración de sólidos del efluente terciario	mg/L-SST	$SS_3 = SS_2 \times 40\%$	18	18	18	19	19
Eficiencia en remoción de SST del sistema	%	$E = \frac{(SST_0 - SST)}{SST_0} \times 100$	79%	78%	78%	77%	77%
Masa de lodos en un año	kg/año		54.074	60.006	66.496	73.584	82.445
Volumen de lodos en un año	m ³ /año		54	60	66	74	82
Periodo de desenlode	años		146	131	118	107	96

La alternativa No 2: Lagunas primarias aireadas aerobias, más lagunas secundarias aireadas facultativas, más laguna de terciarias facultativas y de sedimentación cumplirá los requerimientos de vertimiento final.

8.1.2.7 Selección de alternativa

La alternativa seleccionada consiste en convertir las lagunas primarias anaerobias, en lagunas aireadas, las lagunas secundarias facultativas, en lagunas facultativas aireadas y las lagunas terciarias de maduración, en lagunas facultativas y de sedimentación. Este sistema permite una eficiencia del 98% en remoción de DBO y efluente con coliformes fecales de 6.355 CF/100 mL.

Para aireación se requieren 6 aireadores de 5 HP en cada laguna primaria, y 8 aireadores de 5 HP en cada laguna secundaria.

Capítulo 9

En este capítulo, se establece las recomendaciones para la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Recomendaciones de operación y mantenimiento

9.1 Cámara de entrada.

Una estructura en buen estado físico y operativo, requiere limpieza ya que presenta material sólido y residuos adheridos en las escalinatas y en las compuertas.

Adicionalmente, los elementos metálicos requieren pintura anticorrosiva para garantizar la protección contra efectos del ambiente y de las condiciones de operación.

Es fundamental establecer procedimientos que definan el mantenimiento preventivo periódico de la estructura, el cual debe consistir al menos en limpieza con una frecuencia diaria, o menor, de acuerdo con las necesidades previstas en la operación. (Longas Jiménez, 2015)



Foto 32. Compuertas cámara de entrada

9.1.1 Operación.

Esta cámara debe operar continuamente, dando paso al efluente hacia las estructuras de tratamiento, esta acción se realiza con la manipulación de la válvula del costado norte o 1, y permaneciendo completamente cerrada la válvula 2, correspondiente al By-Pass; el sistema de By-Pass debe habilitarse únicamente cuando se realice mantenimiento o que se evidencien caudales de exceso por lluvias.

9.1.2 Mantenimiento.

La estructura requiere para su mantenimiento engrase de los vástagos de las válvulas cada seis meses, y retiro de sólidos que se adhieran a las compuertas a fin de evitar el deterioro de las estructuras, esta actividad debe realizarse diariamente. Se debe garantizar que piezas metálicas conserven adecuado el estado de pintura y acabados.

9.2 Rejillas.

Elementos en mal estado estructural. Es necesario el cambio de las rejillas de la estructura de control de caudales y las rejillas de cribado.

El primer sistema de rejillas requiere de un mantenimiento continuo para evitar colmataciones, este mantenimiento se realiza en forma manual por parte de los operarios de la planta, durante el diagnóstico se evidenció que en las rejillas del costado norte se acumularon arenas y material flotante.

En cuanto al segundo tratamiento de cribado se observa colmatación en las primeras rejillas, esto debido posiblemente a acumulación de arenas o sedimentos en el fondo de la rejilla; el mantenimiento de estas rejillas es manual y su periodicidad debe ser diaria para evitar taponamientos.

Es fundamental establecer procedimientos que definan el mantenimiento preventivo periódico de la estructura, el cual debe consistir al menos en limpieza con una frecuencia diaria, o menor de acuerdo con las necesidades previstas en la operación. (Longas Jiménez, 2015)



Foto 33. By-Pass Caudal de Excesos y Acumulación de Arenas

9.2.1 Operación.

El sistema de rejillas opera con el paso de agua por el canal de acceso, lo importante es que se garantice el flujo hacía la estructura donde se encuentran ubicadas las rejillas.

9.2.2 Mantenimiento.

El mantenimiento de las estructuras de cribado debe realizarse manualmente con rastrillos para el retiro de los materiales retenidos y para su disposición en el relleno sanitario. Si se presentan depósitos de arenas o lodos en las estructuras se deben retirar y disponer en el lecho de secado. Esta actividad debe realizarse diariamente para evitar colmataciones en los sistemas de cribado.

9.3 Canaleta Parshall.

Física y estructuralmente, la canaleta Parshall se encuentra en perfectas condiciones, sin embargo, el diseño de esta estructura no cumple con las medidas referentes a una canaleta de garganta de 9", lo cual incide en una errada cuantificación de caudales entrantes hacia el sistema, al usar la ecuación de aforo para canaleta estándar.

Como soporte de esta conclusión, se anexa dimensiones adecuadas de la canaleta Parshall, en donde se evidencia que la sección C, indicada en la figura no cumple con las medidas de diseño.

Se recomienda hacer la calibración de la canaleta existente.

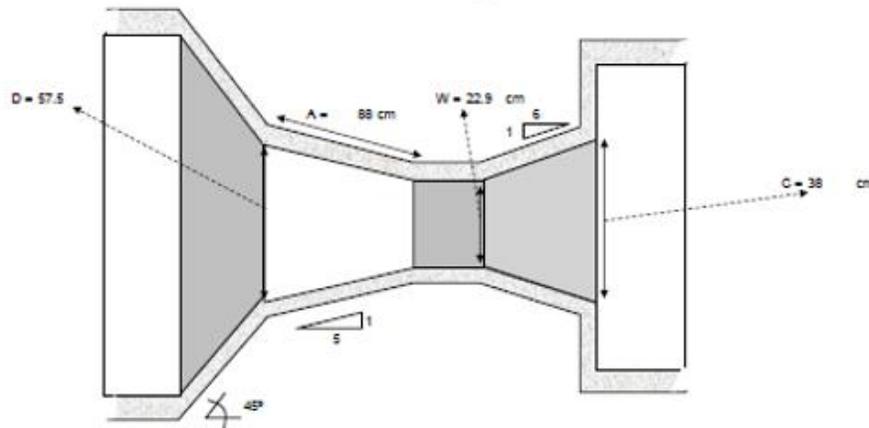


Ilustración 31. Canaleta Parshall

9.3.1 Operación.

Se debe garantizar que los caudales que pasan a través de la canaleta tengan un flujo uniforme y no turbulento para poder cuantificar los caudales entrantes al sistema de tratamiento. En la entrada de la canaleta debe estar instalada una reglilla con la cual se pueda medir la altura de la lámina de agua, se deben llevar reportes de niveles para conocer los caudales que entran con una frecuencia mínima de dos horas.

9.3.2 Mantenimiento

Por ser una estructura de medición de caudal su mantenimiento se basa en el cuidado de la reglilla de aforo la cual debe estar limpia para poder observar los valores de altura de lámina de agua, esta actividad se puede realizar en el momento de la lectura; se debe contar con una reglilla de respaldo en caso que con la instalada no sea posible realizar la lectura.

9.4 Desarenador.

Física y estructuralmente, los desarenadores se encuentran en perfecto estado. A los tanques de desarenado es necesario realizarles limpieza inmediata pues se evidencia acumulación y depósitos de arena, los cuales generan zonas muertas y alteran la velocidad de sedimentación.

Al igual que en todos los elementos metálicos como los vástagos de las válvulas y los volantes, se debe realizar el rectificado de la pintura para evitar corrosión por acción del contacto con el agua y el medio ambiente. Adicionalmente, se deben remover los residuos sólidos acumulados en las compuertas de control.

Es fundamental establecer procedimientos que definan el mantenimiento preventivo periódico de la estructura, el cual debe consistir al menos en limpieza con una frecuencia mensual, o menor, de acuerdo con las necesidades previstas en la operación.



Foto 34. Desarenador con acumulación de arenas

9.4.1 Operación.

Una vez el desarenador entre en operación se recomienda verificar la eficiencia y la capacidad de remoción de sedimento arenoso retenido por éstos, al menos una vez por mes durante la limpieza de éstos.

9.4.2 Mantenimiento.

Para el mantenimiento manual de los desarenadores se debe cumplir con los siguientes ítems;

- Medición periódica del lecho de arena acumulado.
- Aislamiento del desarenador en el momento en que la arena ocupe $2/3$ del volumen.
- Drenaje del agua residual en la cámara. Este se puede realizar, en algunas instalaciones, por medio de canalizaciones que devuelven el líquido drenado al afluente o a una unidad del sistema de tratamiento adoptado.
- Remoción de la arena, por el sistema de evacuación o purga.
- Estimación de la cantidad de arena removida para los registros en las fichas de operación.
- Transporte del material removido hacia el lecho de secado.
- Lavado del desarenador para ser utilizado nuevamente.

- Verificación de la cantidad de arena en las unidades subsecuentes.
- Remoción de la arena, si fuera el caso, retenida en las demás unidades de tratamiento.

Para realizar las operaciones de mantenimiento es necesario cerrar las compuertas de entrada a la sección a limpiar, manteniendo la otra sección en operación.

9.5 Cámara de Llegada.

Estructura en buen estado físico, requiere de mantenimiento oportuno pues es evidente el deterioro de los soportes de los vástagos los cuales se encuentran oxidados, pero que en general su funcionamiento es correcto.

Adicionalmente los elementos metálicos requieren pintura anticorrosiva para garantizar la protección contra efectos del ambiente y de las condiciones de operación. En este proceso este aspecto es importante y se debe en todo momento garantizar que los acabados de los elementos se encuentren en perfecto estado.

Es fundamental establecer procedimientos que definan el mantenimiento preventivo periódico de la estructura de acuerdo con las necesidades previstas en la operación.



Foto 35. Acumulación de arenas en Secciones By- Pass

9.6 Cámara de repartición.

Estructura en correcto estado físico, evidencia acumulación de sólidos en las compuertas; los vástagos de las válvulas requieren de mantenimiento pues presentan residuos sólidos, de igual forma requieren de pintura anticorrosiva.



Foto 36. Válvulas de cámara de repartición

9.7 Cámara de cribado.

Estructura en adecuado estado físico, sin embargo, la estructura metálica (rejilla y soporte) requiere de mejoramiento físico y pintura de inmediato. El sistema de cribado presenta depósito de arenas los cuales deben ser removidos manualmente

Se debe en todo momento garantizar que los acabados de los elementos metálicos se encuentren en perfecto estado.



Foto 37. Rejillas de Cribado

9.7.1 Operación.

Consiste en la manipulación de válvulas las cuales direccionan la entrada hacia los desarenadores antiguos, la válvula del costado norte de la estructura debe permanecer cerrada y la del costado sur abierta pues por esta pasan los caudales hacia el desarenador 1; la válvula del costado norte se debe operar únicamente cuando se realicen labores de mantenimiento al desarenador, pues esta línea conduce las aguas al desarenador 2 como By-Pass.

9.7.2 Mantenimiento.

El mantenimiento de la estructura deberá ser preventivo y correctivo; en cuanto a las labores preventivas están las limpiezas de las válvulas y el engrase de los vástagos cada seis meses.

9.8 Desarenadores No.1 y No. 2.

Estructuras en perfecto estado físico, los sistemas de cribado y desarenado presentan arenas sedimentadas. Al ser el desarenador No. 2 la estructura encargada de repartir y conducir los caudales hacia las cámaras repartidoras de las lagunas anaerobias, es necesario que esta estructura opere en buenas condiciones y así evitar la inadecuada repartición de caudales hacia las lagunas. En cuanto a las rejillas y compuertas es necesario pintar con pintura anticorrosiva debido al deterioro que presentan por la acción de las aguas residuales.



Foto 38. Sólidos en Desarenador y Rejillas

9.8.1 Operación.

Una vez el desarenador entre en operación se recomienda verificar la eficiencia y la capacidad de remoción de sedimento arenoso retenido por éstos, al menos una vez por mes durante la limpieza de éstos.

9.8.2 Mantenimiento.

Para el mantenimiento manual de los desarenadores se debe cumplir con los siguientes ítems:

- Medición periódica del lecho de arena acumulado.
- Aislamiento del desarenador en el momento en que la arena ocupe 2/3 del volumen.

- Drenaje del agua residual en la cámara. Este se puede realizar, en algunas instalaciones, por medio de canalizaciones que devuelven el líquido drenado al afluente o a una unidad del sistema de tratamiento adoptado.
- Remoción de la arena, por el sistema de evacuación o purga.
- Estimación de la cantidad de arena removida para los registros en las fichas de operación.
- Transporte del material removido hacia el lecho de secado.
- Lavado del desarenador para ser utilizado nuevamente.
- Verificación de la cantidad de arena en las unidades subsecuentes.
- Remoción de la arena, si fuera el caso, retenida en las demás unidades de tratamiento.

Para realizar las operaciones de mantenimiento es necesario cerrar las compuertas de entrada a la sección a limpiar, manteniendo la otra sección en operación.

9.9 Lagunas primarias.

Estructuras en adecuado estado físico. En los canales de entrada y salida se aprecia la acumulación de sólidos suspendidos. Sobre el canal de entrada se debe realizar limpieza ya que se han formado bio-películas y obstruyen el ingreso de agua a las lagunas en forma continua y uniforme. Las barandas de protección presentan corrosión, se debe realizar mantenimiento cada año.

Al momento de la visita se están realizando trabajos de desenlode de la laguna Anaerobia No.2, debido a esto solo está operando un solo tren de lagunas.

Se debe instalar el sistema de aireación recomendado en la alternativa seleccionada, la cual consiste en la instalación de 6 aireadores de 5 HP en cada una de las lagunas primarias.



Foto 39. Laguna Anaerobia No.1



Foto 40. Laguna Anaerobia No.2. Fuera de servicio por trabajos de desenlode

9.10 Lagunas secundarias.

Estructura en adecuado estado físico, el mantenimiento de los canales de entrada y salida debe ser constante retirando el material flotante y lama sobre los vertederos. En cuanto al sistema de aireación, se encuentra totalmente abandonado, este se debe implementar según la alternativa de solución para la optimización de la PTAR seleccionada, además se debe garantizarse redundancia en el sistema de alimentación eléctrico y en la disponibilidad de equipos para su mantenimiento.

Actualmente la energía para la operación del sistema de agitación es garantizada por un generador a gas, el cual está fuera de servicio por falta de mantenimiento. Debe existir al menos un conjunto de motor agitador disponible para reemplazo de alguna unidad durante mantenimiento.



Foto 41. Lagunas Facultativas, se observa los equipos de aireación fuera de servicio en la laguna No.1, la laguna No.2 está fuera de servicio.

9.11 Lagunas de terciarias.

Estructura en adecuado estado físico. Es necesario implementar programas de control de vegetación.



Foto 42. Canales de entrada y salida



Foto 43. Obstrucción en canales y aparición de Vegetación

La operación y mantenimiento de las lagunas es muy importante. Para que esa operación y mantenimiento sean adecuadas es necesario que haya recursos suficientes destinados a tal fin. Esos costos deberán cubrir los gastos necesarios, tales como herramientas, ropas de protección, materiales de reparación, baterías para linternas, roedores, etc., además de los costos operacionales, como salario del operador, energía, etc. Se debe observar, entre tanto, que esos recursos no podrán nunca faltar para que el sistema funcione adecuadamente.

Buen funcionamiento: El agua debe presentar una coloración verde intensa y estar prácticamente libre de sólidos sedimentables. Estas pueden presentar importantes cantidades de pequeños animales, como pulgas de agua. La superficie del agua debe estar libre de toda materia sólida.

Mal funcionamiento: Acumulación de material flotante, La superficie de las lagunas facultativas debe estar libre de toda materia flotante que pueda impedir la adecuada iluminación del agua.

9.12 Efluente.

Las cámaras de recolección de agua tratada presentan deterioro físico y estructural; tanto en la primera como en la segunda estructura se evidencian problemas de exfiltración por debilitamiento estructural causado por la acción del agua que golpea con alta energía sobre los muros de las estructuras. El mayor riesgo de falla estructural se presenta en la segunda cámara debido a que ya presenta fisuras.



Foto 44. Cámaras del Efluente

9.13 Lecho de secado de lodos.

Esta estructura se encuentra en buenas condiciones tanto físicas como estructurales, sin embargo, las instalaciones se encuentran abarrotadas de sedimentos, lo que las hace inoperantes, es urgente el traslado de los sedimentos a un sitio de disposición final.



Foto 45. Estructura de Lecho de Lodos

9.14 Infraestructura servicios y complementarios.

Está en buenas condiciones, sin embargo, se recomienda realizar la pavimentación o adoquinado de las vías internas.

Se recomienda también contratar el diseño (arquitectónico, hidráulico, eléctrico, estructural, etc.), la dotación (equipos, reactivos y accesorios de laboratorio) y construcción del laboratorio para control de calidad de agua tratada.

9.14.1 Operación.

La operación de las lagunas consiste en la manipulación de las válvulas ubicadas en la entrada y salida, y deben permanecer completamente abiertas, en caso que se requiera

realizar labores de mantenimiento se cierran las válvulas de entrada y salida de la laguna, mientras la otra laguna continúa en operación (el sistema opera con lagunas en paralelo).

9.14.2 Mantenimiento.

Las tareas rutinarias de mantenimiento son:

- Remoción de sólidos gruesos y arenas retenidos en las unidades de tratamiento preliminar.
- Corte, poda y retiro de pasto y vegetación que crezca sobre los terraplenes. Esto se hace para evitar que la vegetación caiga en la laguna y genere micro-ambiente propicio para la proliferación de mosquitos. Se recomienda, por lo tanto, el uso de vegetación o pastos de crecimiento lento para minimizar la frecuencia de esta actividad, esta actividad se debe realizar cuando se evidencie el crecimiento de vegetación.
- Remoción de material flotante y plantas macrófitas flotantes de las lagunas facultativas y las lagunas de maduración. Esto se hace para maximizar la tasa de fotosíntesis, la reaeración superficial y prevenir la proliferación de moscas y mosquitos.
- Remoción de cualquier material sólido acumulado en las estructuras de entrada y salida de las lagunas.
- Reparación de cualquier daño causado a los terraplenes por roedores u otros animales.
- Reparación de cualquier daño en las obras de encerramiento y puertas o sitios de acceso al sistema.
- La información y registro de estas actividades debe consignarse en una bitácora de mantenimiento del sistema por el operador responsable.

Para determinar el volumen de lodos en las lagunas se debe contar con una vara de 5 m y que en uno de sus costados cuente con una toalla blanca que cubra 2,5 m de la vara, esta debe sumergirse dentro de la piscina de forma vertical hasta tocar fondo, dejarla en contacto por cinco minutos (5 min) y sacarla; la marca de fango quedara visible sobre la toalla, si la

marca de lodos sobre la toalla supera los 2,5 m se debe realizar la purga de lodos. Para el retiro de lodos sin medición puede realizarse por lo menos cada 2 años, para la remoción de lodos de las lagunas se debe realizar con el sistema de bombeo.

Es importante dentro de las inspecciones rutinarias de las lagunas, reportar los signos visibles de buen funcionamiento de problemas de funcionamiento, tales como los señalados a continuación.

9.14.3 Lecho de secado

Los lodos provenientes de desarenadores y lagunas, se deben acumular en capas de máximo 20 cm para garantizar un secado rápido; luego del secado, los lodos deben ser dispuestos en el relleno sanitario; cualquier otra disposición o uso de estos lodos debe ser evaluada y aprobada previamente por EMSET S.A.

Es importante que los residuos sólidos provenientes de las rejillas se sitúen en un espacio diferente al de los lodos, y posteriormente sean enviados al relleno sanitario.

Capítulo 10

Conclusiones y Recomendaciones

- La población para el año 2015 del casco urbano del municipio es de 13.238 habitantes.
- Las propiedades físicas de las lagunas de estabilización son las siguientes:

DESCRIPCIÓN	ÁREA, m ²	Profundidad, m	Volumen, m ³
LAGUNAS PRIMARIAS	1,880	4.50	8,460
LAGUNAS SECUNDARIAS	6,720	2.00	13,440
LAGUNAS Terciarias	15,750	1.50	23,625

- Los caudales totales de diseño son:

FASE	AÑO	Q Diseño	
		l/s	m ³ /d
FASE 1	2020	64,43	5.573
FASE 2	2025	70,12	6.066
FASE 3	2030	76,31	6.601
FASE 4	2035	83,02	7.181
FASE 5	2040	91,38	7.904

- Las características del afluente son:
 - DBO promedio de 146 mg/L.
 - La DQO promedio de 242 mg/L.
 - Los SST promedio de 83 mg/L.
 - Los coliformes fecales promedio de 1.01E8 CF/100 mL.
- La relación DQO/DBO es menor de 2.0, y la relación DBO/DQO es mayor de 0.5, lo que indica que las AR, son altamente biodegradable y es apta para tratamiento biológico.
- La temperatura mínima registrada (18 de septiembre de 2015), es de 25,5°C, el cual fue un día de fuertes lluvias. La más alta (21 de septiembre de 2015), es de 33.3°C. La temperatura de diseño es de 26°C.
- Los valores de pH de la fuente receptora, varían entre 6.42 y 7.75.

- Las eficiencias actuales de la PTAR son:
 - En remoción de DBO, 53%.
 - En remoción de DQO, 45%.
 - En remoción de SST, 44%.
 - En remoción de grasas y aceites, es del 83%, sin embargo, no se cumple con lo exigido por la autoridad ambiental, que es de 1 mg/L.
 - La PTAR, en las condiciones actuales, no cumplen con la norma exigida de vertimiento.
- En la laguna Anaerobia la carga orgánica volumétrica promedio es de 64 gDBO/m³. d., menor de 400 gDBO/m³. d, valor aceptable para este tipo de lagunas.
- El tiempo de retención promedio en la laguna Anaerobia es de 1,17 días, valor inferior mínimo al recomendado de 2 días.
- En la laguna facultativa la carga orgánica superficial promedio es de 753 kgDBO/ha. d, mayor de 400 KgDBO/ha.d, que es el valor recomendado, lo que indica que la laguna esta sobrecargada.
- El tiempo de retención promedio en la laguna facultativa es de 1.86 días, valor inferior al recomendado para lagunas facultativas, el cual debe estar entre 5-30 días, lo que nos indica que la laguna esta sobrecargada.
- En la laguna de maduración la carga orgánica superficial promedio es de 325 kgDBO/ha.d, menor a 400 kgDBO/ha.d, valor aceptable para lagunas facultativas.
- El tiempo de retención promedio en la laguna de maduración es de 3,28 días, valor inferior al mínimo recomendado de 7 días
- La alternativa de diseño para optimización del sistema de tratamiento, consiste en convertir las lagunas primarias anaerobias, en lagunas primarias aireadas aerobias, las lagunas secundarias facultativas, en lagunas aireadas facultativas y las lagunas terciarias de maduración, en lagunas de maduración-sedimentación.
- La potencia total requerida para convertir las lagunas anaerobias en lagunas aireadas aerobias es de 64 HP, 32 HP en cada laguna.
- La potencia total requerida para convertir las lagunas facultativas en lagunas aireadas facultativas es de 72 HP, 36 en cada laguna.
- Con la optimización propuesta, se esperan las siguientes eficiencias en la PTAR.
 - En remoción de DBO, 98%.

- En remoción de SST, 77%.
 - En coliformes totales, 99.994%.
- Las eficiencias anteriores permitirán cumplir con la norma de vertimientos.
- Se debe aliviar todo caudal mayor a los caudales de diseño.
- Se requiere convertir las lagunas primarias Anaerobias, en lagunas primarias aireadas aerobias, instalando, en cada laguna, 6 aireadores de turbina sobre trípode de flotación de 6 HP c/u.
- Se requiere convertir las lagunas secundarias facultativas, en lagunas secundarias aireadas facultativas, instalando en cada laguna, 6 aireadores de turbina sobre trípode de flotación de 6 HP c/u.

Referencias

- Andrade Ortiz, C. A. (2009). *Diagnostico y diseño para mejorar las condiciones de tratamiento de aguas residuales del casco urbano del Municipio de Tauramena*. Tauramena.
- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación de agua*. Bogotá D.C.: Nomos S.A.
- Barco, V. (1987). *Decreto 77/87*. Diario oficial No.37757.
- Betancur, B. (1984). *Decreto 1594/84*. Bogotá: Diario Oficial 36700 .
- Consortio Safing. (2005). *Manejo ambiental de las obras para la optimización de las lagunas de Estabilización.Muniicpio de Tauramena*. Tauramena.
- Costa Posada, C. (2009). *Resolución 2320/2009*. Bogotá: Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo Territori.
- DANE. (1964). *Colombia proyecciones de población municipales* . Bogotá: DANE.
- Donaires Flores, T. (2005). *Un nuevo enfoque en el estado del arte en el diseño de lagunas de estabilización* . Lima-Peru: Universidad Nacional del altiplano Puno-Perú.
- Eddy, M. &. (1997). *Ingenieria de aguas residuales Tratamiento vertido y reutilización*. México: Mc GrawcHill.
- Gaviria Trujillo, C. (1993). *Articulo 42 ley 99/93*. Bogotá: Diario oficial No.41146.
- Goyenola , G. (Junio de 2007).
http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/transparencia_color_%20turbidez.pdf. Obtenido de
http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/transparencia_color_%20turbidez.pdf
- Longas Jimenéz, C. A. (2015). *Consultoría para elaborar los estudios y diseños para la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales del casco urbano y centro poblado paso Cusiana, y diseño de la red de alcantarillado sanitario zona baja lateral del río Cusiana del centr*. Bogotá.
- López Michelsen, A. (1974). *Articulo 18 del decreto 2811/74*. Bogotá: Diario oficial No.34243.
- López Michelsen, A. (1974). *Decreto 2811/74*. Bogotá: Diario oficial No.34243.
- Metcalf, E. (1991). *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. Labor S.A.

- Ministerio de desarrollo económico. (2000). *Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS*. Bogotá: Ministerio de desarrollo económico.
- Piragauta Rodriguez, H. O. (2005). *Resolución No. 200.15.05.0422*. Yopal.
- Piragauta Rodriguez, H. O. (2009). *Resolución 200-41-09-0373*. Yopal.
- Romer Rojas, J. A. (2000). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería.
- Romero Rojas, J. A. (2000). Principios de tratamiento de aguas residuales. *Tratamiento de aguas residuales* (pág. 9). Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.
- Romero Rojas, J. A. (2008). Lagunas de estabilización de aguas residuales. *Lagunas de estabilización*. Bogotá: Escuela Colombiana de ingeniería.
- Sáenz, R. (1985). *Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales*. Manual DTIAPA No C-14 CEPIS segunda edición.
- Santos Calderón, J. M. (2012). *Decreto 2667/2012*. Bogotá: Diario oficial 48651.
- Silva Burga, J. A. (2004). *Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización*. Pihura: Universidad de Pihura.
- Uribe Vélez, A. (2003). *Decreto 3100/2003*. Bogotá: Diario oficial No.45357.
- Uribe Vélez, A. (2004). *Decreto 3440/2004*. Bogotá: Diario oficial No. 45713.
- Uribe, J. G. (2012). *Decreto 2667*. Bogotá: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.