

Maestría en Ingeniería Civil

**Evaluación de las Condiciones Físicas y de Operación de las
Lagunas de Estabilización en el Municipio de Sesquilé
Cundinamarca**

**Henry Armando González Rodríguez
Ingeniero Civil**

Bogotá, D.C., 4 de mayo de 2018



**Evaluación de las Condiciones Físicas y de Operación de las
Lagunas de Estabilización en el Municipio de Sesquilé
Cundinamarca**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en recursos hidráulicos y medio ambiente**

**Ing. Jairo Alberto Romero Rojas. IC, MEEE
Director**

Bogotá, D.C., 4 de mayo de 2018

Tesis de maestría titulada “Evaluación de las Condiciones Físicas y de Operación de las Lagunas de Estabilización en el Municipio de Sesquilé Cundinamarca”, presentada por Henry Armando González Rodríguez, 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
IC. Jairo Alberto Romero Rojas

Jurado
IC. María Carolina Romero Pereira

Jurado
Biol. Gladys Rocío González Leal

Bogotá D.C., 19 de julio de 2018

Dedicatoria

Este trabajo de investigación lo dedico en primer lugar a Dios por la fortaleza que me da cada día para trabajar por mis metas. A mis adoradas hijas, Daniela, Diana, y Mafe como muestra del valor y coraje que siempre he pretendido inculcarles; espero que les sirva de motivación para que puedan alcanzar las metas que den sentido a sus vidas.

Agradecimiento

A Dios por haberme permitido llegar a esta instancia mejorando mi vida profesional y laboral; a mi madre (QPD) por ser el ejemplo de perseverancia, amor y dedicación; a mi amada esposa Ximena y a mis adorables hijas por el escaso tiempo entregado por dedicarme al presente trabajo, con todo mi afecto; a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por acogerme y formarme, en especial al Ingeniero Jairo Alberto Romero Rojas por su valiosa ayuda y acompañamiento en el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

El servicio de alcantarillado del municipio de Sesquilé Cundinamarca de tipo combinado tiene una cobertura del 100%, funciona por gravedad y cuenta con una longitud aproximada de colectores primarios de 1,22 km y de 7,03 km de colectores secundarios; el diámetro predominante es de 10 pulgadas, en su mayor parte usa gres como material de la tubería. Actualmente el perímetro urbano cuenta con dos sistemas de tratamiento de agua residual; el primero de ellos denominado PTAR I (objeto de este estudio) se realiza por medio de un sistema lagunar y el segundo sistema denominado PTAR II utiliza un reactor UASB, más un filtro biológico, sedimentación y desinfección.

La PTAR I (sistema lagunar) recibe aproximadamente el 60% de las aguas producidas del área urbana del municipio¹, vertiendo las aguas tratadas sobre la margen izquierda de la Quebrada los Murciélagos (vallado Achuri) y de ésta a un canal que descarga al río Bogotá. El 40% restante de la cabecera municipal, incluyendo las descargas de las veredas Boitivá, Boitá y parte de Nescuatá, cuenta con redes colectoras en diámetros entre 8 a 14 pulgadas y un emisario final de 16 pulgadas, el cual vertía directamente a un vallado que conduce a la quebrada El Pueblo. Recientemente se construyó la prolongación de dos colectores principales en tubería Novafor de 12 y 14 pulgadas de diámetro, provenientes tanto de la cabecera municipal como de las veredas Boitivá y Nescuatá, respectivamente, que confluyen a un emisario final que transporta las aguas directamente a la PTAR II en tubería de 16 pulgadas de diámetro.

El sistema de tratamiento lagunar se concibió como un método de tratamiento natural de lagunas facultativas, el cual fue optimizado al instalarle aireadores en las dos lagunas que lo componen.

La evaluación realizada al sistema, indica que provee una remoción mayor de 80% en DBO, SST, SSED, CF y CT; remoción de DQO del 79% y en grasas y aceites del 69%.

Palabras claves: planta de tratamiento de agua residual (PTAR), afluente, efluente, aforo, remoción, caudal de diseño, caudal de operación, entrada al sistema (E.S), salida del sistema (S:S), agua residual (AR), agua potable (AP), oxígeno disuelto (OD), aireación, laguna aireada facultativa uno (LAF1), laguna aireada facultativa dos (LAF2), sistema de tratamiento de agua residual domestica (STARD), entrada a laguna aireada facultativa, (ELAF), salida a laguna aireada facultativa (SLAF).

¹ Informe de auditoría de la Contraloría General de la Nación de febrero de 2013,

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	18
1 OBJETIVOS.....	19
<i>Objetivo general:.....</i>	<i>19</i>
<i>Objetivos específicos:.....</i>	<i>19</i>
2 DIAGNÓSTICO DEL STARD (sistema lagunar en serie).....	19
2.1 Aspectos técnicos y operativos	19
2.1.1 Descripción del sistema de tratamiento.....	20
2.1.2 Aforos	27
2.1.3 Tiempo de retención.....	33
2.1.4 Carga de aplicación.....	35
2.1.5 Temperatura ambiente y velocidad del viento.....	37
2.1.6 Caracterización del agua residual	39
2.1.7 Caracterización en el centro de cada laguna.	66
2.2 Eficiencia del sistema de tratamiento.....	85
2.3 Cargas, tiempos de retención y niveles de potencia.....	86
2.4 Fuente receptora.....	88
3 CONCLUSIONES.....	89
4 Bibliografía.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Diagrama de flujo de la PTAR.....	26
Figura 2-2 Vertedero triangular	28
Figura 2-3 Caudal Afluyente y Efluente de la PTAR	29
Figura 2-4 Comportamiento del caudal afluyente de la PTAR	33
Figura 2-5 Comportamiento del caudal efluente de la PTAR	33
Figura 2-6 Carga aplicada a cada laguna en la PTAR.....	37
Figura 2-7 Comportamiento de la temperatura ambiente en la PTAR, °C.....	38
Figura 2-8 Comportamiento de la velocidad del viento en la PTAR	38
Figura 2-9 Ubicación de puntos de muestreo	39
Figura 2-10 Comportamiento de la temperatura en los diferentes puntos de muestreo de la PTAR	42
Figura 2-11 Comportamiento de la temperatura promedio en cada punto de muestreo	42
Figura 2-12 Relación de las temperaturas ambiente y del agua en las lagunas	43
Figura 2-13 Comportamiento del Oxígeno disuelto en los diferentes puntos de muestreo	45
Figura 2-14 Comportamiento de la conductividad en los diferentes puntos de muestreo	49
Figura 2-15 Comportamiento de la conductividad promedio en los puntos de muestreo de la PTAR	49
Figura 2-16 Comportamiento del pH en los diferentes puntos de muestreo	52

Figura 2-17 Comportamiento del pH promedio en los diferentes puntos de muestreo de la PTAR	53
Figura 2-18 Comportamiento de los sólidos suspendidos en los puntos de muestreo	54
Figura 2-19 Promedio de sólidos suspendidos en los puntos de muestreo	55
Figura 2-20 Comportamiento de los sólidos sedimentables en los puntos de muestreo	56
Figura 2-21 Promedio de sólidos sedimentables en los puntos de muestreo	56
Figura 2-22 Comportamiento de la DBO ₅ en los puntos de muestreo.	57
Figura 2-23 Promedio de la DBO ₅ en los puntos de muestreo.....	58
Figura 2-24 Comportamiento de la DQO sedimentables en los puntos de muestreo	59
Figura 2-25 Promedio de la DQO en los puntos de muestreo.....	60
Figura 2-26 Comportamiento de las grasas y aceites en los puntos de muestreo	61
Figura 2-27 Promedio de grasas y aceites en los puntos de muestreo	62
Figura 2-28 Comportamiento de los coliformes fecales en los puntos de muestreo, NMP/100ml.....	63
Figura 2-29 Promedio de coliformes fecales en los puntos de muestreo	64
Figura 2-30 Comportamiento de los coliformes totales en los puntos de muestreo	65
Figura 2-31 Promedio de coliformes totales en los puntos de muestreo	65

Figura 2-32 Comportamiento de la temperatura en el centro de la laguna primaria	67
Figura 2-33 Comportamiento de la temperatura promedio en el centro de la laguna primaria.....	68
Figura 2-34 Comportamiento de la temperatura en el centro de la laguna secundaria	70
Figura 2-35 Comportamiento de la temperatura promedio en el centro de la laguna secundaria.....	70
Figura 2-36 Comportamiento del oxígeno disuelto en el centro de la laguna primaria	72
Figura 2-37 Comportamiento del Oxígeno disuelto promedio en el centro de la laguna primaria.....	73
Figura 2-38 Comportamiento del oxígeno disuelto en el centro de la laguna secundaria	75
Figura 2-39 Comportamiento del oxígeno disuelto promedio en el centro de la laguna secundaria.....	75
Figura 2-40 Comportamiento de la conductividad en el centro de la laguna primaria	77
Figura 2-41 Comportamiento de la conductividad promedio en el centro de la laguna primaria.....	78
Figura 2-42 Comportamiento de la conductividad en el centro de la laguna secundaria	80

Figura 2-43 Comportamiento de la conductividad promedio en el centro de la laguna secundaria.....	80
Figura 2-44 Comportamiento del pH en el centro de la laguna primaria.....	82
Figura 2-45 Comportamiento del pH promedio en el centro de la laguna primaria	82
Figura 2-46 Comportamiento del pH en el centro de la laguna secundaria.....	84
Figura 2-47 Comportamiento del pH promedio en el centro de la laguna secundaria.	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Datos generales de la PTAR I.....	20
Tabla 2-2. Generalidades de operación de la PTAR I.	20
<i>Tabla 2-3. Condiciones generales de operación de la PTAR.</i>	<i>21</i>
Tabla 2-4. Elementos electromecánicos de operación de la PTAR.	27
Tabla 2-5. Instalaciones complementarias de operación de la PTAR.....	27
Tabla 2-6. Caudal de operación de la PTAR.	29
Tabla 2-7. Aforo de caudal a la entrada de la PTAR, L/s.	30
Tabla 2-8. Aforo de caudal a la entrada de la laguna primaria airada facultativa 1, L/s.	31
Tabla 2-9. Aforo de caudal a la salida de la laguna primaria airada facultativa 1, L/s.	31

Tabla 2-10. Aforo de caudal a la entrada de la laguna secundaria airada facultativa 2, L/s.	31
Tabla 2-11. Aforo de caudal a la salida de la laguna primaria airada facultativa 2, L/s.	32
Tabla 2-12. Aforo de caudal a la salida del sistema, L/s.	32
Tabla 2-13. Volúmenes de las lagunas en la PTAR.	34
Tabla 2-14. Tiempos de retención hidráulica de las lagunas en la PTAR.	35
Tabla 2-15. DBO del afluente en la PTAR.	35
Tabla 2-16. DQO del afluente en la PTAR.	35
Tabla 2-17. Relación DQO/DBO – DBO/DQO del afluente, laguna primaria. ...	36
Tabla 2-18. Relación DQO/DBO – DBO/DQO del afluente, laguna secundaria.	36
Tabla 2-19. Carga aplicada a cada laguna.	36
Tabla 2-20. Capacidad hidráulica de la PTAR.	37
Tabla 2-21. Temperatura ambiente en la PTAR, °C.	37
Tabla 2-22. Velocidad del viento en la PTAR, m/s.	38
Tabla 2-23. Temperatura del agua a la entrada de la PTAR, °C.	39
Tabla 2-24. Temperatura del agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 1, °C.	40
Tabla 2-25. Temperatura del agua a la salida de la laguna aireada facultativa 1, °C.	40
Tabla 2-26. Temperatura del agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 2, °C.	41

Tabla 2-27. Temperatura del agua a la salida de la laguna aireada facultativa 2, °C.....	41
Tabla 2-28. Oxígeno disuelto en el agua a la entrada de la PTAR, mg/L.....	43
Tabla 2-29. Oxígeno disuelto en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 1, mg/L.....	44
Tabla 2-30. Oxígeno disuelto en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 1, mg/L.....	44
Tabla 2-31. Oxígeno disuelto en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 2, mg/L.....	44
Tabla 2-32. Oxígeno disuelto en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 2, mg/L.....	45
Tabla 2-33. Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el agua.	46
Tabla 2-34. Conductividad en el agua a la entrada de la PTAR, $\mu\text{S}/\text{cm}$	46
Tabla 2-35. Conductividad en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 1, $\mu\text{S}/\text{cm}$	47
Tabla 2-36. Conductividad en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 1, $\mu\text{S}/\text{cm}$	47
Tabla 2-37. Conductividad en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 2, $\mu\text{S}/\text{cm}$	48
Tabla 2-38. Conductividad en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 2, $\mu\text{S}/\text{cm}$	48
Tabla 2-39. pH en el agua a la entrada de la PTAR, Unidades de pH.....	50

Tabla 2-40. pH en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 1, Unidades de pH.	50
Tabla 2-41. pH en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 1, Unidades de pH.	51
Tabla 2-42. pH en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 2, Unidades de pH.	51
Tabla 2-43. pH en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 2, Unidades de pH.	51
Tabla 2-44. Verificación preliminar de cumplimiento.....	53
Tabla 2-45. Valores de los sólidos suspendidos totales en los puntos de muestreo, mg/L.	54
Tabla 2-46. Valores de los sólidos sedimentables en los puntos de muestreo, ml/L.....	55
Tabla 2-47. Valores de la DBO ₅ en los puntos de muestreo, mgO ₂ /L.....	57
Tabla 2-48. Valores de la DQO en los puntos de muestreo, mgO ₂ /L.	59
Tabla 2-49. Valores de las grasas y aceites en los puntos de muestreo, mg/L. 61	
Tabla 2-50. Valores de los coliformes fecales en los puntos de muestreo.	63
Tabla 2-51. Valores de los coliformes totales en los puntos de muestreo, NMP/100 ml.....	64
Tabla 2-52. Temperatura del agua en el centro de la laguna primaria a 0.20 m de profundidad, °C.	66
Tabla 2-53. Temperatura del agua en el centro de la laguna primaria a 1,0 m de profundidad, °C.	66

Tabla 2-54. Temperatura del agua en el centro de la laguna primaria a 1.80 m de profundidad, °C.	67
<i>Tabla 2-55. Temperatura del agua en el centro de la laguna secundaria a 0,2 m de profundidad, °C.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 2-56. Temperatura del agua en el centro de la laguna secundaria a 1 m de profundidad, °C.</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 2-57. Temperatura del agua en el centro de la laguna secundaria a 1,8 m de profundidad, °C.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 2-58. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna primaria a 0,2 m de profundidad, mg/L.....</i>	<i>71</i>
Tabla 2-59. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna primaria a 1 m de profundidad, mg/L.....	71
Tabla 2-60. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna primaria a 1.8 m de profundidad, mg/L.....	72
<i>Tabla 2-61. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna secundaria a 0,2 m de profundidad, mg/L.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 2-62. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna secundaria a 1 m de profundidad, mg/L.</i>	<i>74</i>
Tabla 2-63. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna secundaria a 1,8 m de profundidad, mg/L.	74
<i>Tabla 2-64. Conductividad del agua en el centro de la laguna primaria a 0,2 m de profundidad, µS/cm.</i>	<i>76</i>

<i>Tabla 2-65. Conductividad del agua en el centro de la laguna primaria a 1 m de profundidad, $\mu\text{S/cm}$.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 2-66. Conductividad del agua en el centro de la laguna primaria a 1,8 m de profundidad, $\mu\text{S/cm}$.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 2-67. Conductividad del agua en el centro de la laguna secundaria a 0,2 m de profundidad $\mu\text{S/cm}$.</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 2-68. Conductividad del agua en el centro de la laguna secundaria a 1 m de profundidad $\mu\text{S/cm}$.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 2-69. Conductividad del agua en el centro de la laguna secundaria a 1,8 m de profundidad $\mu\text{S/cm}$.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 2-70. pH del agua en el centro de la laguna primaria a 0,2 m de profundidad, Unidades de pH.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 2-71. pH del agua en el centro de la laguna primaria a 1 m de profundidad, Unidades de pH.</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 2-72. pH del agua en el centro de la laguna primaria a 1,8 m de profundidad, Unidades de pH.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 2-73. pH del agua en el centro de la laguna secundaria a 0,2 m de profundidad, Unidades de pH.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 2-74. pH del agua en el centro de la laguna secundaria a 1 m de profundidad, Unidades de pH.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 2-75. pH del agua en el centro de la laguna secundaria a 1,8 m de profundidad, Unidades de pH.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 2-76. Eficiencia de remoción para laguna primaria. LAF1, en %.</i>	<i>85</i>

<i>Tabla 2-77. Eficiencia de remoción para laguna secundaria. LAF2, en %.</i>	85
<i>Tabla 2-78. Eficiencia de remoción del sistema de tratamiento, en %.</i>	86
<i>Tabla 2-79. Cálculo de cargas de la laguna Aireada Facultativa 1 (LAF1).</i>	86
<i>Tabla 2-80. Cálculo de cargas de la laguna Aireada Facultativa 2 (LAF2).</i>	87
<i>Tabla 2-81. Resultados del análisis en la fuente receptora.</i>	88

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los municipios ubicados en la sabana de Bogotá han optado por la construcción de sistemas lagunares para el tratamiento de sus aguas residuales, lo que genera la necesidad de realizar estudios que analicen su funcionamiento, para fundamentar el mejoramiento de diseños de sistemas futuros que se vayan a implementar en otras poblaciones contiguas.

De acuerdo con esto, se definió como objetivo principal de esta investigación la evaluación y monitoreo del comportamiento actual del sistema de lagunas de estabilización, utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el municipio de Sesquilé (Cundinamarca), para conocer su eficiencia en remoción de carga orgánica contaminante y cumplimiento con la actual norma de vertimiento, al igual que los posibles problemas ambientales asociados a su funcionamiento. La metodología contempló la obtención de información primaria, caracterización de los efluentes mediante muestreos obtenidos en trabajo de campo y análisis de laboratorio. Para ello, se efectuaron mediciones de variables fisicoquímicas y biológicas, incluyéndose seguimiento de 24 horas.

El sistema de tratamiento de agua residual doméstica PTAR I (sistema lagunar) se ubica al sur occidente del municipio a escasos 500 metros del casco urbano, al margen izquierdo de la quebrada la jabonera. Inició su funcionamiento en junio de 1994, tiene capacidad de tratar 6,0 L/s con una proyección hasta el año 2005. Con una población de diseño de 2000 habitantes.

El terreno donde se ubica la PTAR cuenta con un área total de 4,02 Ha, de las cuales se encuentran construidas tan solo 2,0 Ha. El tratamiento es un sistema lagunar conformado por dos lagunas facultativas que trabajan en serie, además de un tratamiento preliminar conformado por un sistema de rejillas y una estructura de aforo. Como infraestructura auxiliar se construyó una caseta de operaciones y de celaduría, el encerramiento y el alumbrado externo.

Para el año 2014, se realiza una optimización al sistema la cual tiene por objeto la construcción e instalación de un sistema de aireación y de retención de grasas para mejorar la calidad al afluente del sistema de tratamiento y evitar los malos olores provenientes de la misma.

En el presente documento se describe la evaluación operacional de la PTAR I (sistema lagunar), con base en los parámetros de operación establecidos en el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2017) y en las normas de vertimiento a cuerpos de aguas superficiales establecidas en la Resolución 631 de 2015.

1 OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar y monitorear el comportamiento (operación) actual del sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de estabilización en el municipio de Sesquilé Cundinamarca.

Objetivos específicos:

- Determinar los parámetros de operación de la PTAR: tiempo de retención, carga orgánica volumétrica, carga orgánica superficial y temperatura.
- Determinar la eficiencia y porcentajes de remoción en DBO, SS y CF de las lagunas de estabilización.
- Caracterizar el agua en el afluente y efluente de la PTAR para determinar el cumplimiento con la normativa vigente.
- Contrastar los parámetros de operación con los modelos de diseño convencionales.
- Formular, si es el caso, alternativas de optimización de la PTAR.

2 DIAGNÓSTICO DEL STARD (sistema lagunar en serie).

En este capítulo se presentan los análisis de cálculos y resultados del proyecto, se determinan los caudales de diseño y funcionamiento, así como parámetros de operación del sistema. Así mismo se presentan los análisis de laboratorios y verificación de cumplimiento con la norma de vertimiento vigente.

2.1 Aspectos técnicos y operativos

El tratamiento de agua residual se basa en un proceso biológico a partir de un sistema lagunar con aireación de mezcla parcial. En la tabla 2-1 y la tabla 2-2 se presenta las generalidades de la PTAR I.

Tabla 2-1. Datos generales de la PTAR I.

GENERALIDADES PTAR	
Ubicación	Margen izquierda de la quebrada La Jabonera
Año de construcción	1994
Área construida (Hectáreas)	2 Ha
Población de Diseño (hab)	2000
Caudal de diseño (L/s)	6
Carga orgánica de diseño (kg/DBO ₅ -día)	100
Horizonte de diseño	Año 2005
Fuente Receptora	Canal Murciélago, tributario del Río Bogotá
OPTIMIZACIÓN	
Año	2014
Objeto	Instalación de equipos de Aireación

Fuente: Alcaldía municipal

2.1.1 Descripción del sistema de tratamiento

La PTAR I (sistema lagunar) cuenta con un tratamiento preliminar, el cual se compone de un vertedero de alivio de excesos, sistema de rejillas de cribado para gruesos y finos y una canaleta parshall. Como tratamiento secundario se encuentra construido un sistema lagunar, conformado por dos lagunas facultativas, las cuales operan en serie. Con la última optimización en junio de 2014 se instaló un sistema de aireación, conformado por cuatro unidades de aireadores para la laguna primaria y dos para la laguna secundaria, cada una con una potencia de 5 HP. Finalmente el efluente se descarga sobre el canal Murciélago el cual conduce el agua al río Bogotá.

Tabla 2-2. Generalidades de operación de la PTAR I.

PTAR Perímetro Urbano Sesquilé		
Tipo de tratamiento	Descripción	Vertimiento
Sistema Lagunar aireada, caudal de diseño de 6 L/s, construido en el año de 1994 y optimizada en el año 2014.	Cámara de ingreso y alivio, sistema de rejillas, laguna facultativa primaria y facultativa secundaria aireadas.	Canal Murciélago tributario del río Bogotá.

**Maestría en Recursos Hidráulicos
y Medio Ambiente**



Tabla 2-3. Condiciones generales de operación de la PTAR.

Generalidades de la PTAR
El sistema de tratamiento de agua residual del municipio de Sesquilé, se basa en un tratamiento biológico, por medio de dos lagunas facultativas, la primera de ellas cuenta con 4 equipos de aireación y la segunda cuenta con dos equipos de aireación. Las lagunas operan en serie y descargan el efluente tratado sobre el canal Murciélago, tributario del río Bogotá.
PROCESOS UNITARIOS

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	HIDRÁULICO	ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES
<p>Estructura de entrada y alivio</p> 	<p>La estructura de entrada está construida en concreto reforzado de 3500 psi, permite la entrada del agua residual a través de una tubería de 14 pulgadas, proveniente del emisario final del sistema de alcantarillado del municipio.</p>	<p>La geometría de la estructura permite el paso normal del agua, sin embargo visualmente se observa un incremento en el nivel del caudal, por cuanto es necesario que se realice control en el flujo de entrada para evitar desbordamiento</p>	<p>Los muros de la estructura no evidencian fisuras, ni fugas visibles. Sin embargo se recomienda adelantar actividades de mantenimiento preventivo, dado que las paredes muestran deterioro.</p>	<p>Las estructuras aledañas presentan acumulación de material vegetal no deseado.</p> 
<p>Rejilla de cribado</p> 	<p>El sistema de cribado lo conforma una rejilla metálica con barras redondas, removible y que permite la remoción de material grueso</p>	<p>El diseño de la rejilla se ajusta a los requerimientos del sistema, siempre y cuando se realicen continuamente actividades de limpieza del material retenido.</p>	<p>Los perfiles y soportes de la rejilla presentan corrosión recomendando realizar mantenimiento y aplicar anticorrosivo para su protección. La estructura de concreto presenta deterioro en las paredes y muros, además evidencia falta mantenimiento</p>	<p>Se recomienda realizar actividades de limpieza a la estructura en general, dado que presenta acumulación de material flotante y de empozamiento del agua residual en el último modulo del tanque.</p>

**Maestría en Recursos Hidráulicos
y Medio Ambiente**



Continuación Tabla 2-3 Condiciones generales de operación de la PTAR

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	HIDRÁULICO	ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES
<p>Canal de derivación</p> 	<p>Esta estructura consiste en un canal de conducción y derivación del agua residual al dispositivo de aforo del caudal.</p>	<p>Dadas sus características y su geometría esta estructura actúa como un agente retenedor de sedimentos en su zona recta, sin embargo en los cambios de dirección se presentan vórtices en los cuales se genera arrastre de material particulado.</p>	<p>El canal no presenta evidencia de fallas estructurales o de desplazamiento del talud.</p>	<p>El canal requiere de mantenimiento preventivo, removiendo material vegetal de la estructura. El sistema no cuenta con una estructura de desarenación lo que permite el ingreso de material sedimentable, disminuyendo la capacidad del sistema lagunar.</p>
<p>Sistema de aforo de caudales</p> 	<p>Para el aforo de caudales cuenta con una canaleta parshall, el ancho de garganta es de 2 pulgadas aproximadamente. Cuenta con una rejilla de medición del caudal sin embargo esta se encuentra muy deteriorada, infiriendo de esta manera un grado de incertidumbre alto a la hora de la toma de caudales.</p>	<p>El paso del agua se realiza a flujo libre no se generan vórtices o resaltos hidráulicos.</p>	<p>La estructura se encuentra deteriorada, tanto en sus paredes como en los elementos para la toma de lecturas.</p>	<p>No se cuenta con un registro de operación y mantenimiento de cada una de las estructuras.</p>

**Maestría en Recursos Hidráulicos
y Medio Ambiente**



Continuación Tabla 2-3 Condiciones generales de operación de la PTAR

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	HIDRÁULICO	ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES
Tratamiento secundario				
<p>Laguna facultativa aireada número 1</p> 	<p>Cuenta con una laguna facultativa aireada con un área aproximada de 5.047 m² y un volumen de 12.622,4 m³, el ingreso del agua se realiza de forma sumergida por medio de dos conductos. Se encuentran instalados cuatro aireadores, los cuales se soportan en una barcaza de forma individual; cada uno cuenta con una capacidad de 5 HP y funcionan cada cuatro horas.</p>	<p>De acuerdo con el reglamento técnico de saneamiento básico y agua potable RAS 2017, este tipo de sistemas manejan tiempos de retención hidráulica entre 4 y 10 días. Para el caudal de diseño de 6,0 L/s, el tiempo de retención es de 24,4 días.</p>	<p>La laguna evidencia falta de mantenimiento del talud por presencia del material vegetal lo que ocasiona que se desprenda parte del derrocado</p>	<p>Por parte de la administración municipal se estaba inoculando bacterias que permitan mejorar el rendimiento de la degradación de la materia orgánica.</p>

**Maestría en Recursos Hidráulicos
y Medio Ambiente**



Continuación Tabla 2-3 Condiciones generales de operación de la PTAR

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	HIDRÁULICO	ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES
<p>Laguna facultativa aireada número 2</p> 	<p>La laguna facultativa número dos cuenta con un volumen de 12.062,4 m³ y un área de 4.495 m². El agua ingresa por medio de dos conductos ubicados sobre el costado sur. Se encuentran instalados dos aireadores y al igual que en el caso anterior, están soportados de forma individual sobre barcazas. Cada uno cuenta con capacidad de 5 HP funcionan cada cuatro horas en la tarde.</p>	<p>Dadas las características de operación del equipo de aireación y del área la laguna facultativa, no se genera un proceso uniforme de aireación, dejando algunas zonas muertas. Según la norma RAS 2017, este tipo de sistemas manejan tiempos de retención hidráulica entre 4 y 10 días. Para el caudal de diseño de 6,0 L/s, el tiempo de retención es de 23,3 días.</p>	<p>La laguna no presenta evidencia de asentamientos, ni el denominado efecto ballena, se encuentra estable a nivel estructural.</p>	<p>La estructura de salida se encuentra deteriorada por presentar fallas a nivel estructural. Las barandas de protección presentan corrosión y deterioro.</p>

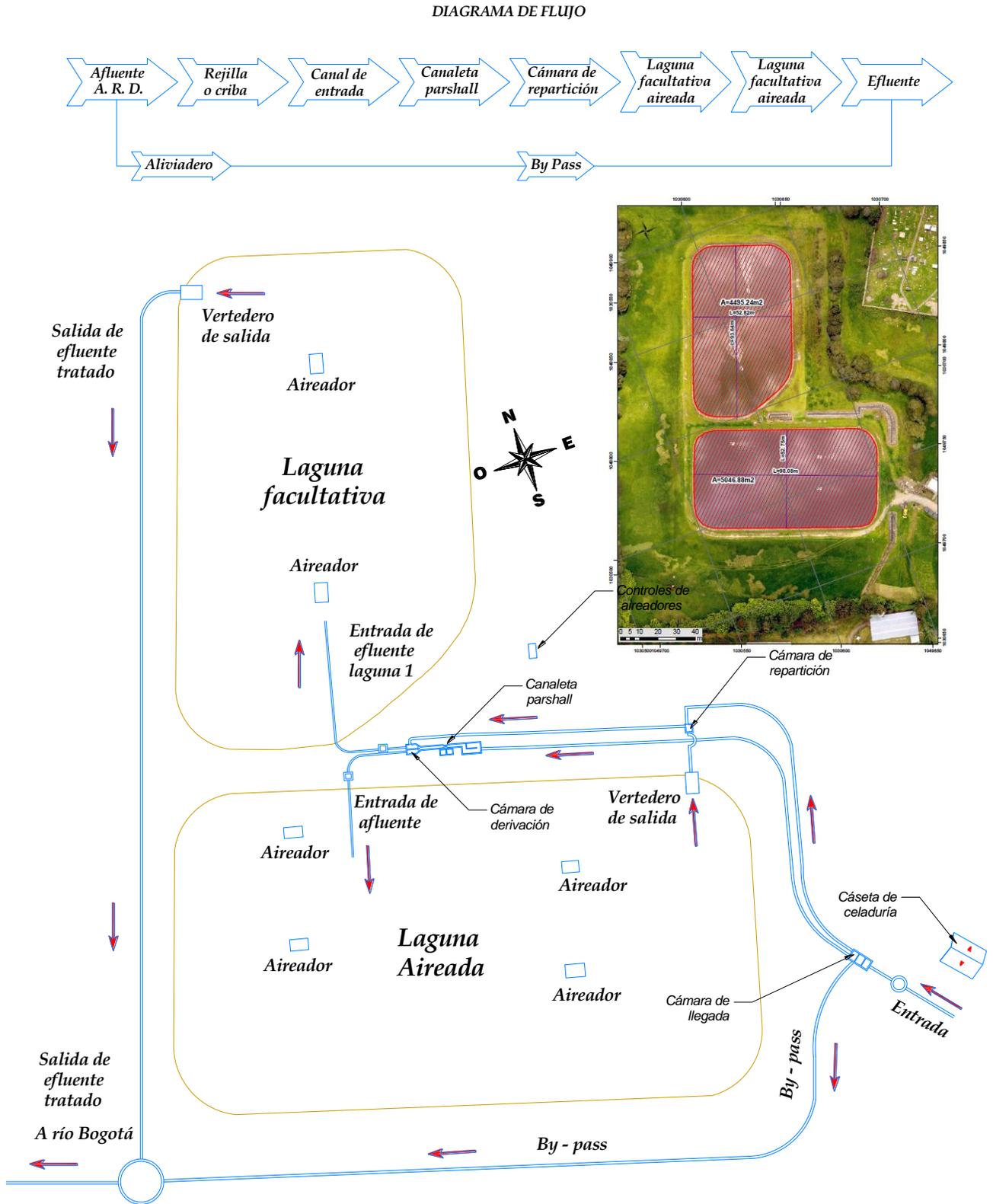
**Maestría en Recursos Hidráulicos
y Medio Ambiente**



Continuación Tabla 2-3 Condiciones generales de operación de la PTAR

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	HIDRÁULICO	ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES
<p>Descarga al cuerpo receptor</p> 	<p>La tubería de salida concluye en un cabezal en concreto reforzado según lo informado por el operador del sistema. La descarga se realiza directamente al canal Murciélago el cual es un tributario del río Bogotá.</p>	<p>La tubería de salida funciona a tubo parcialmente lleno. Actualmente no se aprecia evidencia de taponamiento o insuficiencia hidráulica.</p>	<p>No se observan las condiciones de la estructura del cabezal ya que este se encuentra totalmente tapado por material vegetal.</p>	<p>La salida del efluente evidencia la presencia de espumas, lo que demuestra la existencia probable de detergentes no biodegradados.</p>
<p>Observaciones</p>	<p>Actualmente no se realiza la medición de sólidos sedimentables. No se lleva un registro de caudales de afluente y efluente de la planta. De igual forma se evidencia la falta de operación y mantenimiento de las estructuras que conforman el sistema de tratamiento especialmente en la cámara de llegada (estructura de entrada y alivio) ya que por acumulación de desechos sólidos se presentan empozamientos del afluente que se desbordan. Algunos de los equipos de aireación presentan fallas electromecánicas y de funcionamiento; el flujo de energía no es continuo motivo por el cual la mezcla es intermitente.</p>			

Figura 2-1 Diagrama de flujo de la PTAR



Elementos Electromecánicos

Tabla 2-4. Elementos electromecánicos de operación de la PTAR.

ELEMENTOS ELECTROMECAÑICOS	
Unidad	Equipo
Estructura de entrada 	Aireadores A las lagunas se les adicionó un sistema de aireación en el 2014 con el propósito de mejorar las condiciones de eficiencia en remoción. Este sistema consta de seis (6) agitadores mecánicos con hélice impulsados con motores de 5 HP a 1.800 RPM los cuales van soportados sobre una estructura de flotación (barcazas flotantes ancladas a la orilla por medio de cables). En cuanto a su distribución, cuatro (4) aireadores se encuentran en la laguna primaria y dos (2) en la secundaria (facultativa); sin embargo, el sistema de aireación no está bien distribuido y algunos aireadores están fuera de servicio por falta de mantenimiento.

Instalaciones complementarias

Tabla 2-5. Instalaciones complementarias de operación de la PTAR.

INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS	
Tablero de control 	Como se puede observar en la imagen el tablero de control de encendido y apagado de los aireadores se encuentra fuera de la caseta y a la intemperie expuesto a la manipulación de personal no idóneo para tal fin. Se sugiere colocar una estructura de cubierta que lo proteja del sol y la lluvia o preferiblemente reubicarlo en un sitio dentro de la caseta de operaciones en donde es lógica su ubicación.

2.1.2 Aforos

Para la toma de caudales que ingresan a la planta, se utiliza un vertedero triangular simétrico de pared delgada con un ángulo de escotadura de 60°.

Para hallar el caudal teórico (Q_t) se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{5/2} \quad m^3/s \quad (\text{Ec. 2.1})$$

La expresión anterior establece que, al estar elevada la carga (h) a la $5/2$, resulta muy sensible al caudal, es decir que ligeras modificaciones de h implican relativamente importantes variaciones del mismo. Esta propiedad de los vertederos triangulares hace que sean de gran utilidad para la medición de caudales con importante exactitud. Además, dispuestos en secuencia, posibilitan descargas muy homogéneas y con un importante poder regulador, que los hace de gran utilidad en las plantas de tratamiento a la salida de los sedimentadores.

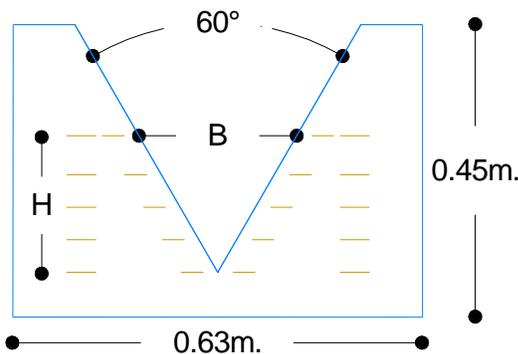
Para determinar el caudal real del flujo, se multiplica el caudal teórico (Q_t m^3/s) por el coeficiente de descarga (C_d adimensional), de esta manera la ecuación queda de la siguiente forma:

$$Q_r = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{5/2} \quad m^3/s \quad (\text{Ec. 2.2})$$

En la cual el coeficiente de descarga se calcula con la ecuación de Heyndrick Válida para ángulos de escotadura de 60° y cargas normales.

$$C_d = [0.5775 + 0.214h^{1.25}] \left[1 + \left(\frac{h^2}{B(h+p)} \right)^2 \right] \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Figura 2-2 Vertedero triangular



Se corroboran los cálculos usando las siguientes ecuaciones de toma de caudales en vertederos triangulares.

Ecuación de Gourley y Crimp

$$C = \frac{1,32 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)}{h^{0.03}} \quad \text{reemplazando } Q = 1.32 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{2.48} \quad m^3/s \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Esta ecuación es válida para ángulos θ de 45°, 60° y 90°, $Q < a$ 30 L/s, h entre 0.06 – 0.6 metros y para profundidades w grandes.

Ecuación de Mr. V.M. (1916)

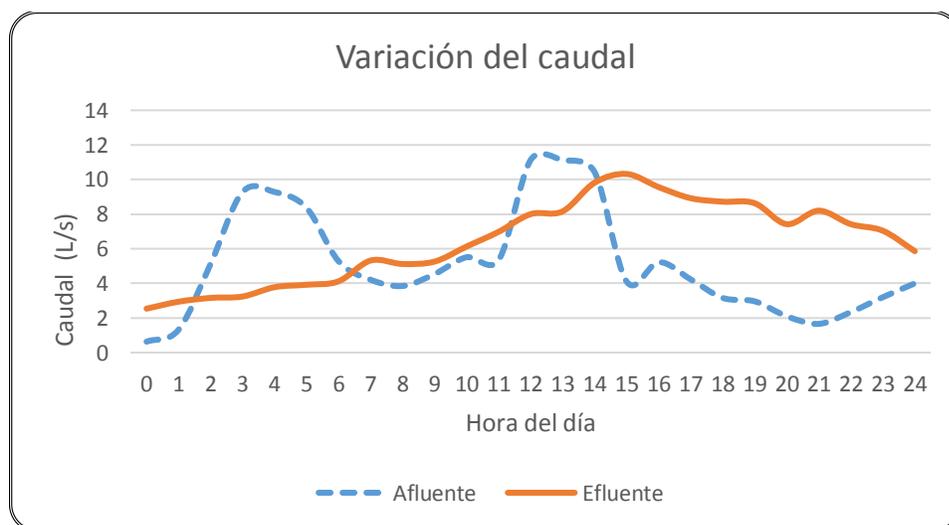
$$Q = 0.7725h^{2.47} \quad (\text{Ec. 2.5}) \quad \text{Válida para ángulos } \theta \text{ de escotadura de } 60^\circ$$

Reemplazando en las formulas anteriormente expuestas, se tiene:

Tabla 2-6. Caudal de operación de la PTAR.

CALCULO DEL CAUDAL DE OPERACIÓN		Los caudales en el sistema fueron medidos en todos los muestreos cada cuatro horas, en los afluentes y efluentes de cada unidad, pero también se cuantificaron cada hora un día aleatorio en el afluente y efluente del sistema. En la siguiente figura se describe el comportamiento.
Caudal real	0.005293	
Gourley y Crimp	0.005024	
Mr. V.M. (1916)	0.005197	
Caudal promedio	Q = 0.00517 m ³ /s	
	5.17 Lt/s	

Figura 2-3 Caudal Afluente y Efluente de la PTAR



La figura 2-3 muestra el comportamiento del caudal en el afluente y efluente del sistema. De acuerdo con los datos obtenidos, se observa una variabilidad considerable en ambos flujos. Los picos más altos del afluente se presentaron en horas de la madrugada en las cuales los habitantes se levantan para asearse e ir al trabajo (Floricultivos). A medio día se presenta un pico significativo ocasionado por las fuertes lluvias que se presentaron durante algunos muestreos. En promedio las horas de mayor alcance del caudal afluente se presentan al medio día. El promedio del caudal afluente en los muestreos realizados es de 5,17 L/s.

El caudal efluente presentó una variabilidad menos significativa, mostrando el pico más alto en horas de la tarde y tratando de mantenerse en horas de la noche; en la madrugada se presentan los registros mínimos. Esto significa que el sistema tiene alta capacidad de amortiguamiento, ya que entrando un caudal pico al medio día, el efluente alcanza un caudal similar, cuatro horas más tarde. En promedio las horas de mayor alcance del caudal efluente se presentan en la tarde. El promedio del caudal efluente en dichos muestreos es de 6,42 L/s.

La tabla 2-7 muestra los valores obtenidos a la entrada del sistema (E.S)

Tabla 2-7. Aforo de caudal a la entrada de la PTAR, L/s.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	6,2	11,3	5,2	2,1	1,1	3,6
Martes	6,1	10,6	6,1	1,9	1,0	3,1
Miércoles	5,4	9,2	6,2	2,4	0,9	2,9
Jueves	5,9	8,5	5,0	1,9	0,7	3,9
Viernes	8,1	12,6	4,5	1,4	0,8	2,6
Media	6,4	10,4	5,4	1,9	0,9	3,2
Rango	5,4 - 8,1	8,5 - 12,6	4,5 - 6,2	1,4 - 2,4	0,7 - 1,1	2,6 - 3,9

La tabla 2-8 muestra los valores obtenidos a la entrada de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (E.A.F.1).

Tabla 2-8. Aforo de caudal a la entrada de la laguna primaria airada facultativa 1, L/s.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	6,4	8,9	5,0	2,0	1,2	3,0
Martes	6,2	9,1	5,4	1,7	0,9	2,4
Miércoles	5,4	9,4	5,5	2,1	0,7	1,9
Jueves	5,8	8,6	4,3	1,9	0,7	1,6
Viernes	6,8	10,7	5,6	1,3	0,3	1,8
Media	6,1	9,4	5,1	1,8	0,8	2,2
Rango	5,4 - 6,8	8,6 - 10,7	4,3 - 5,6	1,3 - 2,1	0,3 - 1,2	1,6 - 3,0

La tabla 2-9 muestra los valores obtenidos a la salida de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (S.A.F.1).

Tabla 2-9. Aforo de caudal a la salida de la laguna primaria airada facultativa 1, L/s.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	6,5	8,9	5,0	2,1	1,2	3,0
Martes	6,1	9,2	5,4	1,7	0,9	2,4
Miércoles	5,4	9,3	5,5	2,1	0,8	1,8
Jueves	5,8	8,6	4,3	1,8	0,6	1,6
Viernes	6,8	10,7	5,6	1,3	0,3	1,9
Media	6,1	9,4	5,1	1,8	0,8	2,2
Rango	5,4 - 6,8	8,6 - 10,7	4,3 - 5,6	1,3 - 2,1	0,3 - 1,2	1,6 - 3,0

La tabla 2-10 muestra los valores obtenidos a la entrada de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (E.A.F.2).

Tabla 2-10. Aforo de caudal a la entrada de la laguna secundaria airada facultativa 2, L/s.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	2,2	3,3	2,1	1,3	0,5	4,3
Martes	2,0	3,5	2,5	1,0	0,7	4,0
Miércoles	1,3	3,8	2,6	1,1	0,6	3,6

Continuación Tabla 2 10. Aforo de caudal a la entrada de la laguna secundaria

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Jueves	1,6	3,0	0,4	1,2	0,5	3,4
Viernes	2,4	3,4	2,7	0,6	0,4	4,6
Media	1,9	3,4	2,0	1,0	0,6	4,0
Rango	1,3 - 2,4	3,0 - 3,8	0,4 - 2,7	0,6 - 1,3	0,4 - 0,7	3,4 - 4,6

La tabla 2-11 muestra los valores obtenidos a la salida de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (S.A.F.2).

Tabla 2-11. Aforo de caudal a la salida de la laguna primaria airada facultativa 2, L/s.

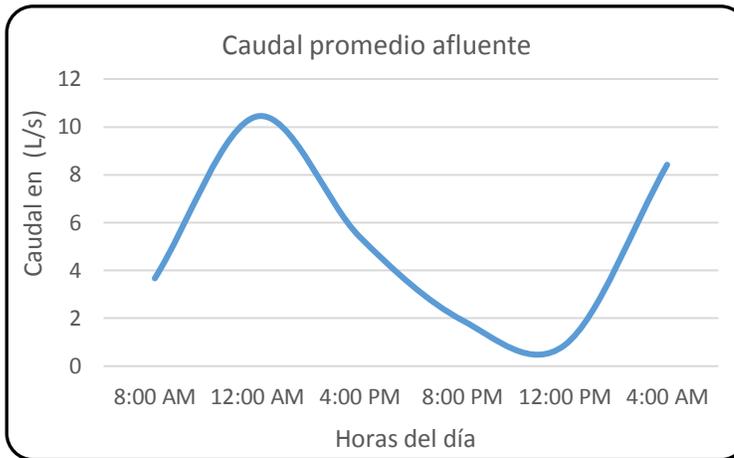
Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	3,8	10,2	9,5	7,0	5,4	3,0
Martes	3,6	9,4	10,7	5,9	5,1	2,7
Miércoles	2,9	10,4	10,0	6,8	5,0	2,3
Jueves	3,2	8,0	11,2	6,4	5,4	2,1
Viernes	3,8	9,6	10,8	4,5	5,1	3,1
Media	3,5	9,5	10,4	6,1	5,2	2,6
Rango	2,9 - 3,8	8,0 - 10,4	9,5 - 11,2	4,5 - 7,0	5,0 - 5,4	2,1 - 3,1

La tabla 2-12 muestra los valores obtenidos a la salida del sistema lagunar (S.S).

Tabla 2-12. Aforo de caudal a la salida del sistema, L/s.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	5,7	11,1	11,4	9,9	7,7	7,2
Martes	5,5	10,6	11,7	10,1	7,4	6,9
Miércoles	4,8	11,2	11,9	9,7	7,3	6,2
Jueves	5,1	9,2	10,5	9,3	7,7	6,3
Viernes	5,8	8,9	12,7	7,6	6,9	4,9
Media	5,4	10,2	11,6	9,3	7,4	6,3
Rango	4,8 - 5,8	8,9 - 11,2	10,5 - 12,7	7,6 - 10,1	6,9 - 7,7	4,9 - 7,2

Figura 2-4 Comportamiento del caudal afluente de la PTAR

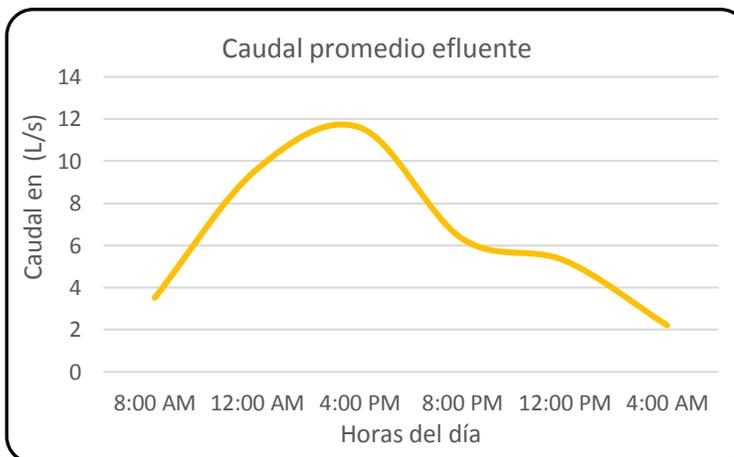


La figura 2-4, presenta el resumen del caudal promedio en el afluente cuyo pico máximo se da en horas del mediodía y el mínimo en horas de la medianoche.

El caudal que ingresa presenta un comportamiento similar en las dos lagunas, aumentando hasta el mediodía y disminuyendo en horas de

la tarde y parte de la noche. En las horas de la madrugada el caudal de la laguna secundaria aumenta considerablemente.

Figura 2-5 Comportamiento del caudal efluente de la PTAR



Como se observa en la figura 2-5, la diferencia en los efluentes de las lagunas se marcó desde el mediodía, donde fue mucho mayor para la laguna secundaria lo que significa que la laguna primaria actúa como un desarenador reteniendo gran parte de sólidos sedimentables.

2.1.3 Tiempo de retención

El periodo de retención es el parámetro más importante en la determinación de remoción de coliformes fecales en una laguna de oxidación y por lo tanto en la eliminación de organismos patógenos del agua residual.

El caudal promedio de ingreso a la planta es de 5,17 L/s

$$Q = 5,17 \text{ L/s} \times \frac{86.400 \text{ s}}{1\text{d}} \times \frac{1\text{m}^3}{1.000 \text{ L}} = 447 \text{ m}^3/\text{d}$$

Para el cálculo de los volúmenes de las lagunas se utiliza la siguiente fórmula:

$$V = D \left(a_T L_T - S D a_T - S D L_T + \frac{4}{3} S^2 D^2 \right) \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde:

D = Profundidad
 a_T = ancho superficial del agua
 L_T = Longitud superficial del agua
 S = Pendiente del talud

Tabla 2-13. Volúmenes de las lagunas en la PTAR.

Calculo del volumen de las lagunas (m ³)					
Laguna aireada facultativa 1			Laguna aireada facultativa 2		
$V_1 = D(a_T L_T - S D a_T - S D L_T + \frac{4}{3} S^2 D^2)$			$V_2 = D(a_T L_T - S D a_T - S D L_T + \frac{4}{3} S^2 D^2)$		
D =	2.5	Volumen m³ 12.622 m³	D =	2.5	Volumen m³ 12.062 m³
a_T =	52.75		a_T =	52.82	
L_T =	98.08		L_T =	93.64	
S =	0.33		S =	0.33	
Talud	V =	1	Talud	V =	1
	H =	3		H =	3

Tiempo de retención hidráulica (θ) $\theta = \frac{V}{Q}$ días (Ec. 2.7)

Se calculan los tiempos de retención con los caudales de operación obtenidos en los seis muestreos. El promedio para la laguna primaria (aireada facultativa 1) es de 27 días y para la laguna secundaria (aireada facultativa 2) es de 26 días.

Tabla 2-14. Tiempos de retención hidráulica de las lagunas en la PTAR.

Tiempo de retención hidráulica (en días)	
L. Aireada facultativa 1	L. Aireada facultativa 2
23,87	25,71
13,14	16,94
15,61	19,55
28,42	26,24
34,29	33,89
46,53	35,08
Promedio de T. R. H. En días	
26,98 días	26,24 días

2.1.4 Carga de aplicación

Tabla 2-15. DBO del afluente en la PTAR.

DBO ₅ del afluente mg O ₂ /L		
Muestreo N°	ESTACIÓN	
	L Aireada facultativa 1	L Aireada facultativa 2
1	828	151
2	481	361
3	573	248
4	726	337

Tabla 2-16. DQO del afluente en la PTAR.

DQO del afluente mg O ₂ /L		
Muestreo N°	ESTACIÓN	
	L Aireada facultativa 1	L Aireada facultativa 2
1	1407	273
2	749	609
3	533	212
4	813	294

Cálculo de la relación DQO/DBO y DBO/DQO

Tabla 2-17. Relación DQO/DBO – DBO/DQO del afluente, laguna primaria.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
DQO/DBO	1.7	1.6	0.9	1.1
DBO/DQO	0.6	0.6	1.1	0.9

Tabla 2-18. Relación DQO/DBO – DBO/DQO del afluente, laguna secundaria.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
DQO/DBO	1.8	1.7	0.9	0.9
DBO/DQO	0.6	0.6	1.2	1.1

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).

Según los resultados de las tablas 2-17 y 2-18, la relación DQO/DBO es menor a 2, y la relación DBO/DQO es mayor a 0,5, por tanto se puede concluir que se tiene un afluente de fracción biodegradable alta, apta para el tratamiento biológico.

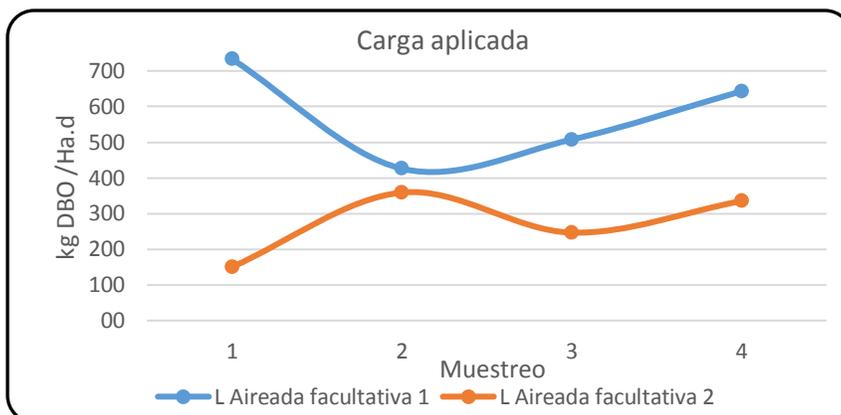
Tabla 2-19. Carga aplicada a cada laguna.

Carga aplicada				
Muestreo N°	Carga orgánica		Carga orgánica superficial	
	kgDBO/día		kgDBO/Ha día	
	Primaria	Secundaria	Primaria	Secundaria
1	370	67	733	150
2	215	161	426	359
3	256	111	507	246
4	324	151	643	335
Promedio	291	123	577	273

Nota. Se calcula con el caudal promedio de operación 5,17 L/s

Para realizar los cálculos de las cargas aplicadas a cada laguna que componen el sistema se utiliza el caudal promedio de operación de la planta (447 m³/d).

Figura 2-6 Carga aplicada a cada laguna en la PTAR



A partir de la tabla 2-19 se obtiene la figura 2-6. La carga orgánica promedio de operación para la laguna primaria es 577 kgDBO/Ha.d y 273 kgDBO/Ha.d para la secundaria.

- **Capacidad hidráulica**

El RAS define la capacidad hidráulica como el caudal que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación, por cuanto es necesario tener en cuenta el crecimiento poblacional y de demanda que permita proyectar la dinámica de los procesos de tratamiento.

Tabla 2-20. Capacidad hidráulica de la PTAR.

Caudal de diseño	Caudal de Operación	Observaciones
6,0 L/s	5,17 L/s	El caudal de diseño de la planta, es superior al caudal de operación

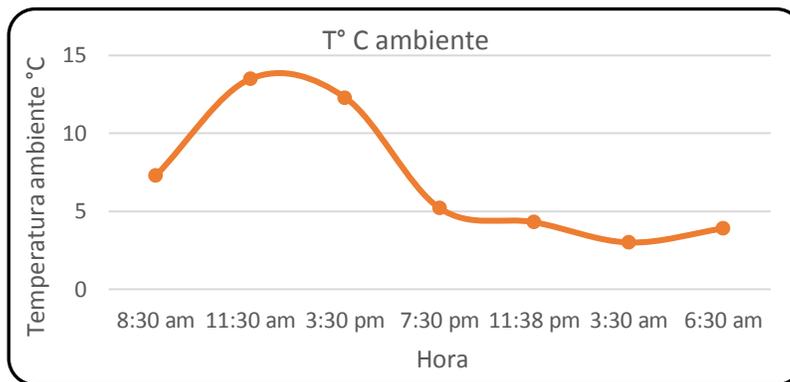
2.1.5 Temperatura ambiente y velocidad del viento

La tabla 2-21 muestra los valores de temperatura obtenidos en el sistema lagunar

Tabla 2-21. Temperatura ambiente en la PTAR, °C.

Día	Hora						
	8:30 am	11:30 am	3:30 pm	7:30 pm	11:38 pm	3:30 am	6:30 am
Lunes	8,5	13,3	13,0	6,4	5,1	2,7	2,78
Martes	6,9	13,7	13,4	5,4	4,2	3,4	3,75
Miércoles	6,4	14,1	12,4	4,9	3,5	3,2	3,9
Jueves	7,1	13,0	12,7	5,1	3,6	2,9	4,13
Viernes	7,6	13,4	10,0	4,3	5,1	2,8	4,94
Media	7,3	13,5	12,3	5,2	4,3	3,0	3,9
Rango	6,4 - 8,5	13,0 - 14,1	10,0 - 13,4	4,3 - 6,4	3,5 - 5,1	2,7 - 3,4	2,8 - 4,9

Figura 2-7 Comportamiento de la temperatura ambiente en la PTAR, °C.



La figura 2-7 indica la variación promedio de temperatura ambiente en el sitio de la planta. Al medio día se presentan las horas de máxima temperatura, la cual registra 14,2 °C entre 11:30 am y 3:00 pm; la mínima de 2,7°C se

presenta en horas de la madrugada.

La tabla 2-22 muestra los valores de velocidad del viento obtenidos en la planta.

Tabla 2-22. Velocidad del viento en la PTAR, m/s.

Día	Hora						
	8:30 am	11:30 am	3:30 pm	7:30 pm	11:38 pm	3:30 am	6:30 am
Lunes	0,8	0,6	1,4	0,3	0,5	0,3	0,12
Martes	0,6	0,7	0,5	0,3	0,7	0,7	0,26
Miércoles	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,86
Jueves	1,0	0,9	1,4	0,5	0,3	0,8	0,46
Viernes	0,4	0,7	2,0	0,8	0,7	0,6	0,44
Media	0,7	0,7	1,2	0,5	0,5	0,6	0,4
Rango	0,4 - 1,0	0,6 - 0,9	0,5 - 2,0	0,3 - 0,8	0,3 - 0,7	0,3 - 0,8	0,1 - 0,9

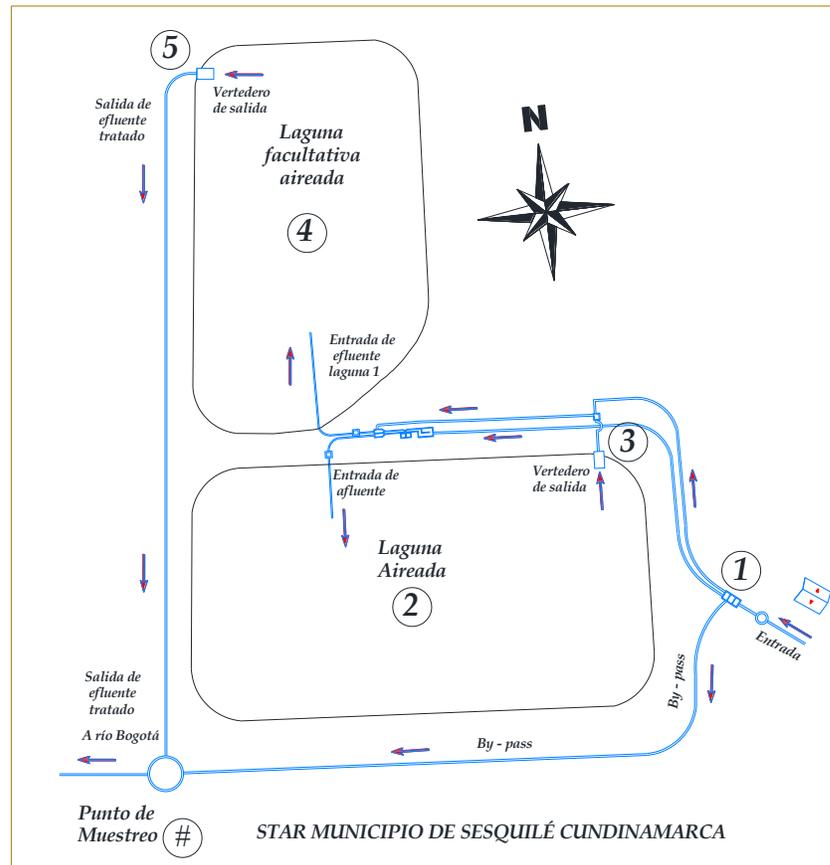
Figura 2-8 Comportamiento de la velocidad del viento en la PTAR



En la figura 2-8 se muestra el comportamiento de la velocidad del viento en la planta de tratamiento. La velocidad promedio es de 0,65 m/s, variando considerablemente durante el día, con velocidad máxima de 2,0 m/s en horas posteriores al mediodía y mínima, entre 0,1-0,2 m/s, en horas de la noche.

2.1.6 Caracterización del agua residual

Figura 2-9 Ubicación de puntos de muestreo



- **Temperatura.** De acuerdo con los datos obtenidos se construyen las figuras 2-10 y 2-11 relacionadas con la temperatura del AR en afluentes y efluentes de cada componente de la PTAR.

La tabla 2-23 muestra los valores obtenidos a la entrada del sistema (E.S)

Tabla 2-23. Temperatura del agua a la entrada de la PTAR, °C.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	9,3	12,7	11,6	9,6	9,3	8,9
Martes	8,8	12,4	10,8	9,1	8,9	8,7
Miércoles	9,0	11,9	10,5	8,6	8,7	9,3
Jueves	8,6	12,6	12,0	8,8	9,0	9,0

Continuación tabla 2-23. *Temperatura del agua a la entrada de la PTAR*

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Viernes	9,3	12,9	11,6	9,9	8,6	9,6
Media	9,0	12,5	11,3	9,2	8,9	9,1
Rango	8,6 - 9,3	11,9 - 12,9	10,5 - 12,0	8,6 - 9,9	8,6 - 9,3	8,7 - 9,6

La tabla 2-24 muestra los valores obtenidos a la entrada de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (E.A.F.1).

Tabla 2-24. *Temperatura del agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 1, °C.*

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	12,2	14,9	12,2	11,2	9,3	10,2
Martes	12,1	15,7	13,6	11,4	9,1	9,3
Miércoles	11,4	13,3	12,6	10,3	8,6	8,9
Jueves	11,6	16,3	12,4	10,2	8,9	9,3
Viernes	12,7	17,3	14,2	9,4	9,1	9,3
Media	12,0	15,5	13,0	10,5	9,0	9,4
Rango	11,4 - 12,7	13,3 - 17,3	12,2 - 14,2	9,4 - 11,4	8,6 - 9,3	8,9 - 10,2

La tabla 2-25 muestra los valores obtenidos a la salida de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (S.A.F.1).

Tabla 2-25. *Temperatura del agua a la salida de la laguna aireada facultativa 1, °C.*

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	10,8	14,4	13,5	11,2	10,1	8,3
Martes	11,4	14,8	13,8	10,3	9,3	8,9
Miércoles	10,9	13,8	12,7	9,2	9,8	9,7
Jueves	11,0	14,3	13,0	9,9	8,9	9,3
Viernes	10,9	15,7	13,0	9,4	9,9	8,8
Media	11,0	14,6	13,2	10,0	9,6	9,0
Rango	10,8 - 11,4	13,8 - 15,7	12,7 - 13,8	9,2 - 11,2	8,9 - 10,1	8,3 - 9,7

La tabla 2-26 muestra los valores obtenidos a la entrada de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (E.A.F.2).

Tabla 2-26. Temperatura del agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 2, °C.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	10,2	16,0	13,3	10,9	9,0	9,9
Martes	10,9	15,2	12,3	11,2	8,6	9,6
Miércoles	11,0	14,8	13,0	9,8	8,3	8,6
Jueves	10,3	15,0	14,2	9,6	9,7	8,3
Viernes	9,6	15,5	14,7	11,0	8,4	10,1
Media	10,4	15,3	13,5	10,5	8,8	9,3
Rango	9,6 - 11,0	14,8 - 16,0	12,3 - 14,7	9,6 - 11,2	8,3 - 9,7	8,3 - 10,1

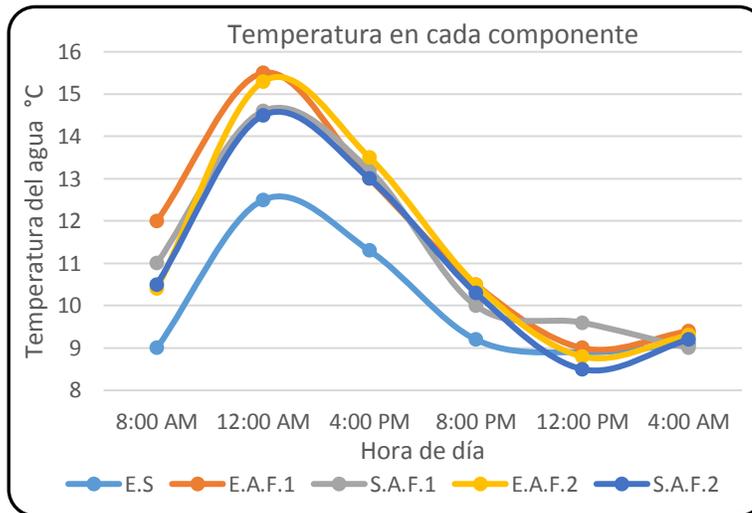
La tabla 2-27 muestra los valores obtenidos a la salida de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (S.A.F.2).

Tabla 2-27. Temperatura del agua a la salida de la laguna aireada facultativa 2, °C.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	9,9	15,3	12,9	10,0	8,0	8,6
Martes	9,6	14,4	13,3	9,8	8,8	8,8
Miércoles	10,4	13,6	13,6	10,5	9,6	9,3
Jueves	10,9	13,8	12,7	9,5	8,6	9,6
Viernes	11,7	15,4	12,5	11,7	7,5	9,7
Media	10,5	14,5	13,0	10,3	8,5	9,2
Rango	9,6 - 11,7	13,6 - 15,4	12,5 - 13,6	9,5 - 11,7	7,5 - 9,6	8,6 - 9,7

La figura 2-10 muestra la variación de la temperatura en los afluentes y efluentes de cada unidad del sistema, en diferentes horas del día.

Figura 2-10 Comportamiento de la temperatura en los diferentes puntos de muestreo de la PTAR



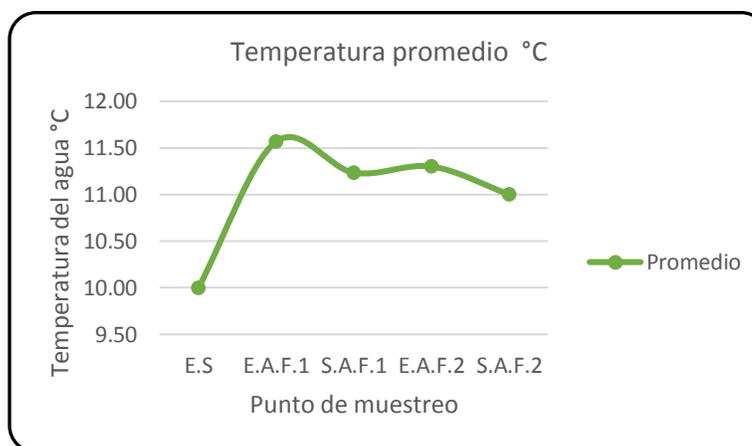
El afluente de la planta (E.S), arroja una temperatura promedio de 10,0 °C. La temperatura máxima alcanzada en este punto de muestreo es de 12,9 °C y se presenta a las 12:00 de la mañana y la mínima registrada es de 8,6 °C a las 12:00 de la noche.

La temperatura del afluente de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1, presenta un promedio de 11,6 °C. Se obtiene un valor máximo de 17,3 °C a las 12:00 a.m y mínimo de 8,6 °C a las 12:00 p.m. El efluente de dicha laguna presenta ligera disminución, registrando un promedio de 11,23 °C, con un máximo de 15,7 al mediodía y un mínimo de 8,9 °C a la madrugada.

La temperatura del afluente y efluente de la laguna secundaria laguna aireada facultativa 2, presenta valores promedio similares a la laguna primaria, los cuales se registran en 11,3 y 11 °C respectivamente. Alcanza valores máximos al mediodía de 16 y 15,4 °C, y mínimos de 8,3 y 7,5 °C, respectivamente a la media noche.

La figura 2-11, describe el comportamiento de la temperatura promedio ponderada en los afluentes y efluentes de cada componente del sistema.

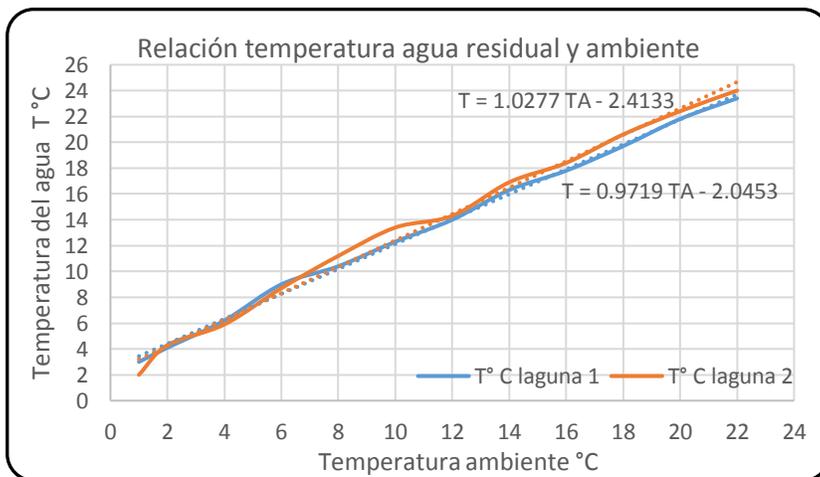
Figura 2-11 Comportamiento de la temperatura promedio en cada punto de muestreo



El análisis muestra que existe poca variación de temperatura promedio en las dos lagunas, la variación es aproximadamente en 1,5 °C.

La figura 2-12, relaciona la temperatura promedio del agua al interior de las lagunas con la del ambiente en el sitio de la planta.

Figura 2-12 Relación de las temperaturas ambiente y del agua en las lagunas



En las horas diurnas la temperatura en el agua es de aproximadamente 2,0 °C por encima de la registrada en el ambiente. En las horas nocturnas dicho incremento se hace más notorio ya que la temperatura ambiente desciende

considerablemente.

- **Oxígeno disuelto.**

La tabla 2-28 muestra los valores obtenidos a la entrada del sistema (E.S)

Tabla 2-28. Oxígeno disuelto en el agua a la entrada de la PTAR, mg/L.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	0,8	1,1	2,2	1,4	1,2	1,6
Martes	0,9	0,9	2,0	1,6	1,2	1,6
Miércoles	0,7	0,9	2,3	1,8	1,4	1,7
Jueves	1,0	1,1	2,1	1,2	1,4	1,8
Viernes	0,8	1,0	2,4	1,6	1,5	2,0
Media	0,8	1,0	2,2	1,5	1,3	1,7
Rango	0,7 - 1,0	0,9 - 1,1	2,0 - 2,4	1,2 - 1,8	1,2 - 1,5	1,6 - 2,0

La tabla 2-29 muestra los valores obtenidos a la entrada de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (E.A.F.1).

Tabla 2-29. Oxígeno disuelto en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 1, mg/L.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	1,3	1,7	2,4	1,2	0,4	0,5
Martes	1,5	1,8	2,3	1,3	0,3	0,4
Miércoles	1,1	1,5	2,3	1,0	0,4	0,4
Jueves	1,7	1,9	2,3	1,5	0,3	0,4
Viernes	1,2	1,5	2,3	1,0	0,4	0,4
Media	1,3	1,7	2,3	1,2	0,3	0,4
Rango	1,1 - 1,7	1,5 - 1,9	2,3 - 2,4	1,0 - 1,5	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5

La tabla 2-30 muestra los valores obtenidos a la salida de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (S.A.F.1).

Tabla 2-30. Oxígeno disuelto en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 1, mg/L.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	2,4	5,0	6,2	4,5	0,4	0,2
Martes	3,5	5,2	5,9	4,4	0,3	0,6
Miércoles	3,3	5,3	5,9	4,3	0,4	0,6
Jueves	2,8	5,1	5,6	4,5	0,4	0,5
Viernes	3,5	5,1	5,8	4,2	0,4	0,6
Media	3,1	5,1	5,9	4,4	0,4	0,5
Rango	2,4 - 3,5	5,0 - 5,3	5,6 - 6,2	4,2 - 4,5	0,3 - 0,4	0,2 - 0,6

La tabla 2-31 muestra los valores obtenidos a la entrada de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (E.A.F.2).

Tabla 2-31. Oxígeno disuelto en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 2, mg/L.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	1,5	3,1	3,6	2,5	0,4	0,5
Martes	1,8	3,1	3,5	2,4	0,3	0,5
Miércoles	1,5	3,2	3,5	2,4	0,4	0,4

Continuación Tabla 2 30. Oxígeno disuelto en el agua a la entrada de la laguna

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Jueves	1,7	3,1	3,5	2,4	0,4	0,4
Viernes	1,3	3,2	3,6	2,4	0,4	0,5
Media	1,5	3,1	3,5	2,4	0,4	0,5
Rango	1,3 - 1,8	3,1 - 3,2	3,5 - 3,6	2,4 - 2,5	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5

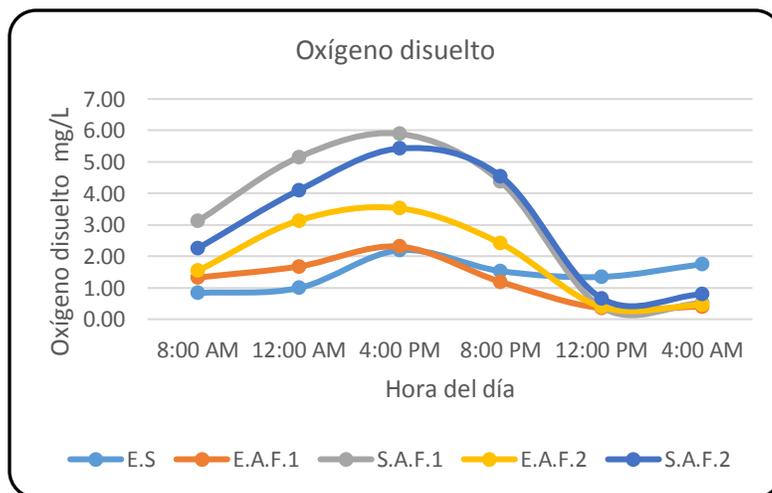
La tabla 2-32 muestra los valores obtenidos a la salida de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (S.A.F.2).

Tabla 2-32. Oxígeno disuelto en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 2, mg/L.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	1,9	3,9	5,9	4,3	0,6	0,7
Martes	2,1	4,3	6,0	4,6	0,7	0,7
Miércoles	2,3	3,8	5,4	4,5	0,6	0,9
Jueves	2,8	4,2	5,2	4,6	0,7	0,7
Viernes	2,0	4,3	4,6	4,8	0,8	0,9
Media	2,3	4,1	5,4	4,6	0,7	0,8
Rango	1,9 - 2,8	3,8 - 4,3	4,6 - 6,0	4,3 - 4,8	0,6 - 0,8	0,7 - 0,9

La figura 2-13 muestra la variación del oxígeno disuelto en afluentes y efluentes de cada unidad que componen el sistema, a diferentes horas del día.

Figura 2-13 Comportamiento del Oxígeno disuelto en los diferentes puntos de muestreo



El muestreo en el afluente de la planta arrojó un resultado de oxígeno disuelto promedio de 1,44 mg/L. El máximo valor se presenta en horas de la tarde registrando 2,4 mg/L y el mínimo de 0,7 mg/L en horas de la mañana. Para el afluente de la laguna primaria el promedio es de 1,21 mg/L, el pico

más alto es de 2,4 mg/L en horas de la tarde y el mínimo de 0,3 mg/L a las 12:00 de la noche. En el efluente de esta laguna se presenta un promedio mucho mayor que el registrado en el afluente, de 3,24 mg/L. El máximo valor que se registra es de 5,6 mg/L en horas de la tarde y el mínimo de 0,3 mg/L a la media noche. El afluente de la laguna secundaria, presenta el máximo valor en horas de la tarde, 3,6 mg/L y el mínimo a la media noche 0,3 mg/L; el promedio de oxígeno disuelto en este punto es de 1,91 mg/L. En el efluente el promedio es de 2,96 mg/L, el máximo valor se presenta en horas de la tarde, 6 mg/L y el mínimo a la media noche de 0,6 mg/L.

La tabla 2-33 muestra el porcentaje de saturación de oxígeno en cada uno de los puntos del muestreo.

Tabla 2-33. Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el agua.

Punto de muestreo	Lectura de OD (mg/L)	Temperatura del agua °C	Presión atm. (mmHg)	100% OD * (mg/L)	(%) de saturación	Nivel de OD
E.S	1.44	10.00	560	10.92	13.19	Pobre
E.L.A.F.1	1.21	11.57	560	10.81	11.17	Pobre
S.L.A.F.1	3.24	11.23	560	10.73	30.21	Pobre
E.L.A.F.2	1.91	11.30	560	10.75	17.77	Pobre
S.L.A.F.2	2.96	11.00	560	10.67	27.78	Pobre

* Blain y Stevenson (1999).

Como se observa en la tabla 2-32 los porcentajes de saturación de oxígeno disuelto son bajos; sin embargo en todos los casos de muestreo el OD es mayor de 1,2 mg/L, es decir se mantienen condiciones aeróbicas.

- **Conductividad.**

La tabla 2-34 muestra los valores obtenidos a la entrada del sistema (E.S)

Tabla 2-34. Conductividad en el agua a la entrada de la PTAR, $\mu\text{S/cm}$.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	985	626	815	875	748	654
Martes	922	565	796	816	716	621
Miércoles	906	890	752	794	694	697

Continuación Tabla 2 34. Conductividad en el agua a la entrada de la PTAR

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Jueves	1.025	860	794	824	682	632
Viernes	943	876	806	846	754	671
Media	956	763	793	831	719	655
Rango	906 - 1.025	565 - 890	752 - 815	794 - 875	682 - 754	621 - 697

La tabla 2-35 muestra los valores obtenidos a la entrada de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (E.A.F.1).

Tabla 2-35. Conductividad en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 1, $\mu\text{S/cm}$.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	850	890	910	842	874	854
Martes	831	925	875	826	715	836
Miércoles	792	796	861	876	763	894
Jueves	812	856	816	762	726	776
Viernes	826	828	925	742	816	767
Media	822	859	877	810	779	825
Rango	792 - 850	796 - 925	816 - 925	742 - 876	715 - 874	767 - 894

La tabla 2-36 muestra los valores obtenidos a la salida de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (S.A.F.1).

Tabla 2-36. Conductividad en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 1, $\mu\text{S/cm}$.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	689	712	614	685	796	714
Martes	748	684	796	784	772	896
Miércoles	712	596	763	754	846	863
Jueves	659	612	812	826	792	912
Viernes	714	623	736	778	714	836
Media	704	645	744	765	784	844
Rango	659 - 748	596 - 712	614 - 812	685 - 826	714 - 846	714 - 912

La tabla 2-37 muestra los valores obtenidos a la entrada de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (E.A.F.2).

Tabla 2-37. Conductividad en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 2, $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	792	773	801	816	834	854
Martes	700	679	711	732	744	752
Miércoles	789	761	797	814	836	854
Jueves	703	691	715	734	742	752
Viernes	732	720	744	763	771	781
Media	743	725	754	772	785	799
Rango	700 - 792	679 - 773	711 - 801	732 - 816	742 - 836	752 - 854

La tabla 2-38 muestra los valores obtenidos a la salida de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (S.A.F.2).

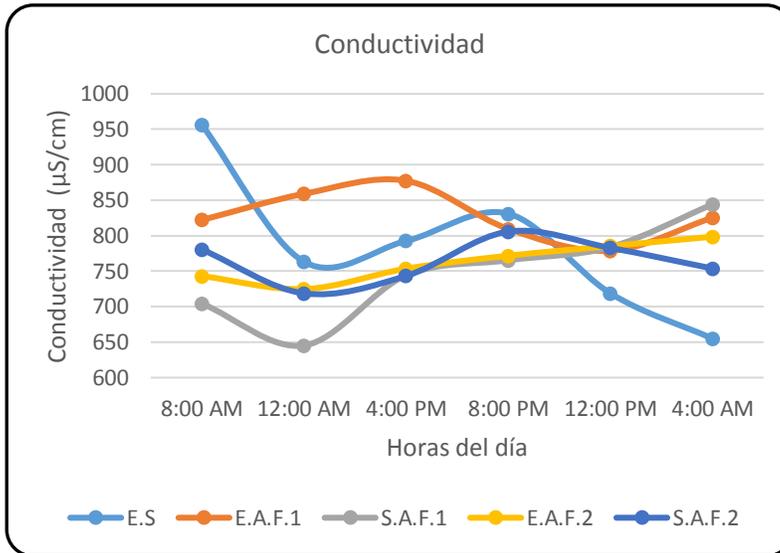
Tabla 2-38. Conductividad en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 2, $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	840	785	794	884	841	850
Martes	730	659	698	736	739	680
Miércoles	836	767	788	860	855	850
Jueves	734	677	704	760	725	680
Viernes	763	706	733	789	754	709
Media	781	719	743	806	783	754
Rango	730 - 840	659 - 785	698 - 794	736 - 884	725 - 855	680 - 850

El muestreo en el afluente de la planta arroja una conductividad promedio de 786 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El máximo valor de 1.025 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se presenta en horas de la mañana y el mínimo de 565 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se presenta en las primeras horas de la noche.

La figura 2-14. Muestra la variación de la conductividad en afluentes y efluentes de cada unidad que componen el sistema, en diferentes horas del día.

Figura 2-14 Comportamiento de la conductividad en los diferentes puntos de muestreo

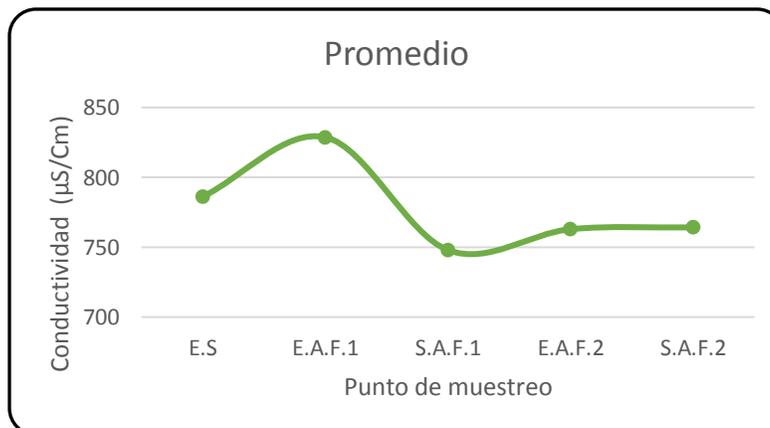


El afluente de la laguna primaria, presenta una conductividad promedio de $829 \mu\text{S/cm}$, con un valor máximo de $925 \mu\text{S/cm}$ y mínimo de $715 \mu\text{S/cm}$. Con relación al efluente dicha laguna presenta un promedio de $748 \mu\text{S/cm}$, con un valor máximo de $912 \mu\text{S/cm}$ en horas de la madrugada y mínimo

de $596 \mu\text{S/cm}$ en horas de la tarde. La laguna secundaria presenta en el afluente una conductividad promedio de $763 \mu\text{S/cm}$, con un máximo valor de $854 \mu\text{S/cm}$ en horas de la madrugada y mínimo de $679 \mu\text{S/cm}$ antes del mediodía. El efluente registra conductividad promedio de $764 \mu\text{S/cm}$, con un valor máximo de $884 \mu\text{S/cm}$ al inicio de la noche y mínimo de 659 en horas del mediodía.

La figura 2-15 muestra la conductividad eléctrica promedio en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema

Figura 2-15 Comportamiento de la conductividad promedio en los puntos de muestreo de la PTAR



Se observa una disminución del orden de $65 \mu\text{S/cm}$ entre el afluente y el efluente del sistema lagunar.

- **pH.**

De acuerdo a los datos obtenidos en el muestreo se construyen las figuras 2-16 y 2-17 relacionadas con pH en afluentes y efluentes de cada componente de la PTAR.

La tabla 2-39 muestra los valores obtenidos a la entrada del sistema (E.S)

Tabla 2-39. pH en el agua a la entrada de la PTAR, Unidades de pH.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	8,5	9,1	8,0	8,2	8,0	7,8
Martes	7,6	8,1	7,1	7,4	7,2	6,8
Miércoles	9,6	10,2	9,2	10,3	10,1	9,7
Jueves	6,4	7,0	5,9	5,4	5,2	5,0
Viernes	6,6	7,2	6,0	5,5	5,3	5,1
Media	7,7	8,3	7,2	7,3	7,1	6,9
Rango	6,4 - 9,6	7,0 - 10,2	5,9 - 9,2	5,4 - 10,3	5,2 - 10,1	5,0 - 9,7

La tabla 2-40 muestra los valores obtenidos a la entrada de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (E.A.F.1).

Tabla 2-40. pH en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 1, Unidades de pH.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	8,1	9,2	8,1	7,5	7,4	7,4
Martes	7,3	8,1	6,8	6,7	6,5	6,6
Miércoles	9,1	11,0	9,0	8,8	8,7	8,8
Jueves	6,3	6,2	5,8	5,4	5,1	5,2
Viernes	6,4	6,3	6,0	5,5	5,2	5,3
Media	7,4	8,1	7,1	6,8	6,5	6,6
Rango	6,3 - 9,1	6,2 - 11,0	5,8 - 9,0	5,4 - 8,8	5,1 - 8,7	5,2 - 8,8

La tabla 2-41 muestra los valores obtenidos a la salida de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (S.A.F.1).

Tabla 2-41. pH en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 1, Unidades de pH.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	8,0	8,5	8,2	7,5	7,2	6,8
Martes	6,8	7,8	7,4	6,7	5,8	6,0
Miércoles	8,4	8,9	9,0	8,5	7,9	7,7
Jueves	6,3	7,4	6,6	5,7	5,1	5,1
Viernes	6,5	7,5	6,7	5,8	5,2	5,2
Media	7,2	8,0	7,6	6,8	6,2	6,1
Rango	6,3 - 8,4	7,4 - 8,9	6,6 - 9,0	5,7 - 8,5	5,1 - 7,9	5,1 - 7,7

La tabla 2-42 muestra los valores obtenidos a la entrada de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (E.A.F.2).

Tabla 2-42. pH en el agua a la entrada de la laguna aireada facultativa 2, Unidades de pH.

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	7,8	8,4	7,9	7,5	7,1	7,2
Martes	7,0	7,8	7,1	6,5	6,3	6,6
Miércoles	8,7	9,0	8,7	8,5	8,3	8,4
Jueves	6,1	7,1	6,3	5,5	5,1	5,4
Viernes	6,2	7,2	6,4	5,6	5,2	5,5
Media	7,1	7,9	7,3	6,7	6,4	6,6
Rango	6,1 - 8,7	7,1 - 9,0	6,3 - 8,7	5,5 - 8,5	5,1 - 8,3	5,4 - 8,4

La tabla 2-43 muestra los valores obtenidos a la salida de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (S.A.F.2).

Tabla 2-43. pH en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 2, Unidades de pH.

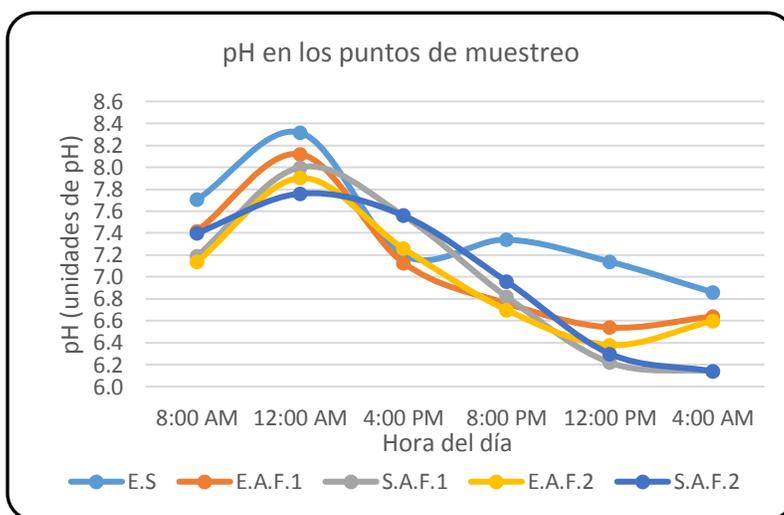
Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Lunes	8,0	8,4	8,2	7,7	6,9	6,8
Martes	7,2	7,6	7,4	6,7	6,3	6,0
Miércoles	8,6	9,2	9,0	8,4	8,1	7,7
Jueves	6,6	6,8	6,6	6,0	5,1	5,1

Continuación Tabla 2 43. pH en el agua a la salida de la laguna aireada facultativa 2

Día	Hora					
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM	12:00 PM	4:00 AM
Viernes	6,7	6,9	6,7	6,1	5,2	5,2
Media	7,4	7,8	7,6	7,0	6,3	6,1
Rango	6,6 - 8,6	6,8 - 9,2	6,6 - 9,0	6,0 - 8,4	5,1 - 8,1	5,1 - 7,7

La figura 2-16. Nos muestra la variación del pH en afluentes y efluentes de cada unidad que componen el sistema, en diferentes horas del día.

Figura 2-16 Comportamiento del pH en los diferentes puntos de muestreo



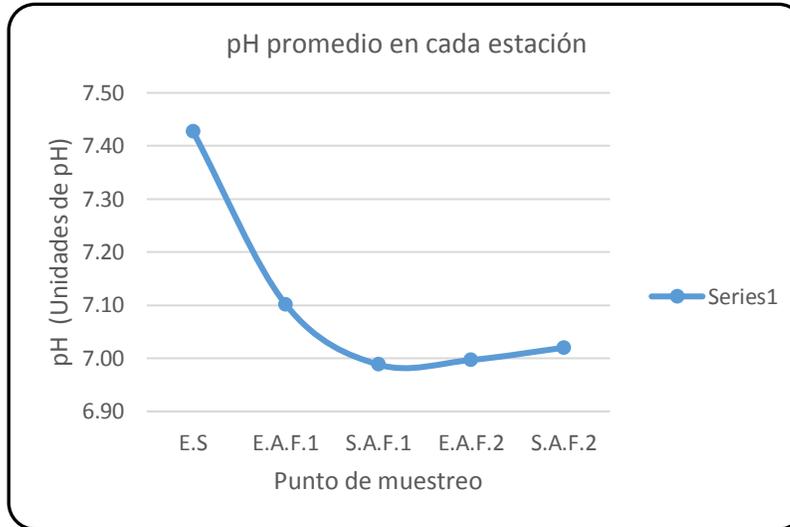
El pH a la entrada del sistema registra un promedio de 7,43 unidades de pH, con un máximo de 10,3 unidades de pH al mediodía y mínimo de 5 unidades de pH a la madrugada. El afluente de la laguna primaria registra un promedio de 7,1 unidades de pH, presentando el

máximo valor de 11 unidades de pH al mediodía y mínimo de 7,1 unidades de pH a la media noche; el efluente de dicha laguna presenta un promedio de 6,99 unidades de pH con un valor máximo de 9 unidades de pH en horas del mediodía y mínimo de 5,1 en horas de la madrugada. La laguna secundaria, registra promedio de 7,0 unidades de pH encontrándose en un rango máximo y mínimo un poco amplio entre 9 a 5,1 unidades de pH registrados en horas del mediodía y media noche respectivamente. El pH promedio para el efluente es de 7,02 unidades de pH, con un valor máximo de 9,2 unidades de pH en horas se del mediodía y mínimo de 5,1 unidades en horas de la madrugada.

En general no se evidencia una variabilidad importante de pH entre los cinco puntos de muestreo, de acuerdo con el análisis realizado se presenta menor variación en los efluentes de las lagunas facultativas con respecto al afluente del sistema.

La figura 2-17, muestra gráficamente los resultados de pH promedio en los cinco puntos del muestreo.

Figura 2-17 Comportamiento del pH promedio en los diferentes puntos de muestreo de la PTAR



La figura indica que no hay variación grande de pH, aproximadamente el pH se mantiene entre 7 y 7,4 unidades. A la entrada del sistema ingresan aguas residuales alcalinas y en el efluente del sistema lagunar se encuentran aguas residuales neutras.

- **Calidad de agua**

Al inicio de la evaluación del sistema (diagnóstico) solo se contaba con la caracterización que la empresa ACUASES había realizado el 9 de mayo de 2016. Basados en dicha información se realizó un análisis preliminar de las remociones de la PTAR en cuanto a la DBO, DQO y SST. Los resultados de la caracterización son comparados con la normatividad vigente de vertimientos (resolución 631/2015) en la tabla 2-44.

Tabla 2-44. Verificación preliminar de cumplimiento

Fecha de Análisis	Parámetro	Promedio Afluente	Promedio Efluente	Resolución 631/15	Unidades	Eficiencia en remoción (%)	Cumplimiento
9/05/16	DBO ₅	390	94	90	mg O ₂ /L	75.90	No Cumple
9/05/16	DQO	478	182	180	mg O ₂ /L	61.92	No Cumple
9/05/16	S S	2.0	0.2	20	mg /L	90.00	Cumple

Fuente: ACUASES

- **Sólidos suspendidos totales**

Las aguas crudas contienen tres tipos de sólidos no sedimentables, que son los suspendidos, coloidales y disueltos. Los más pequeños no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes son generalmente sedimentables. Los sólidos disueltos, materia orgánica e inorgánica, son invisibles por separado, no son sedimentables y generalmente causan diferentes problemas de olor.

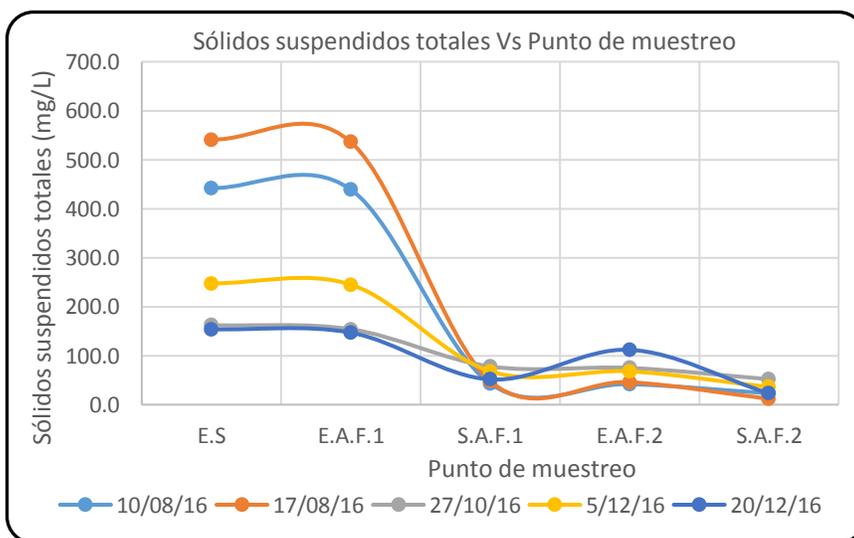
La tabla 2-45 muestra los valores de sólidos suspendidos totales obtenidos en cada punto del muestreo en las fechas establecidas.

Tabla 2-45. Valores de los sólidos suspendidos totales en los puntos de muestreo, mg/L.

Fecha del muestreo	Estación				
	E. S.	E.L.A.F.1	S.L.A.F.1	E.L.A.F.2	S.L.A.F.2
10/08/16	442	439	43	42	23
17/08/16	541	536	48	46	12
27/10/16	162	154	78	75	52
5/12/16	248	245	68	68	36
20/12/16	154	147	52	112	23
Media	309	304	58	69	29
Rango	154 - 541	147 - 536	43 - 78	42 - 112	12,1 - 52

Las figuras 2-18 y 2-19 muestran el comportamiento de los sólidos suspendidos en los diferentes puntos de muestreo.

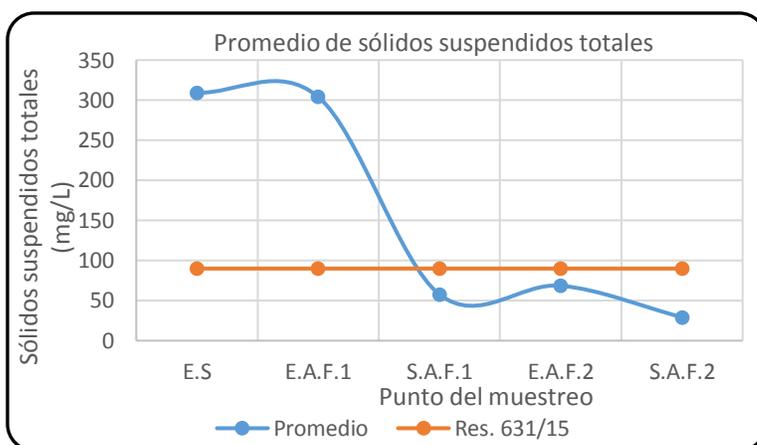
Figura 2-18 Comportamiento de los sólidos suspendidos en los puntos de muestreo



El muestreo en el afluente de la planta arrojó un resultado de sólidos suspendidos promedio de 309 mg/L, con un máximo de 541 mg/L en el muestreo del 17 de agosto y mínimo de 154 mg/L en el muestreo del 20 de diciembre. El

afluente de la laguna primaria, presenta un promedio de 304 mg/L con un valor máximo de 536 mg/L en el muestreo del 17 de agosto y mínima de 147 mg/L en el muestreo del 20 de diciembre. Con relación al efluente dicha laguna presenta un promedio de 58 mg/L, con un valor máximo de 78 mg/L en el muestreo del 27 de octubre y mínimo de 43 mg/L en el muestreo del 10 de agosto. La laguna secundaria presenta en el afluente un promedio de 69 mg/L, con un máximo valor de 112 mg/L en el muestreo del 20 de diciembre y mínimo de 42 mg/L en el muestreo del 10 de agosto. El efluente registra un promedio de 29 mg/L, con un valor máximo de 52 mg/L en el muestreo del 27 octubre y mínimo de 12 mg/L en el muestreo del 17 de agosto.

Figura 2-19 Promedio de sólidos suspendidos en los puntos de muestreo



La figura indica que hay una gran variación de sólidos suspendidos en el sistema. La planta de tratamiento cumple con los límites permisibles exigidos por la norma (Res 631/15).

- **Sólidos sedimentables**

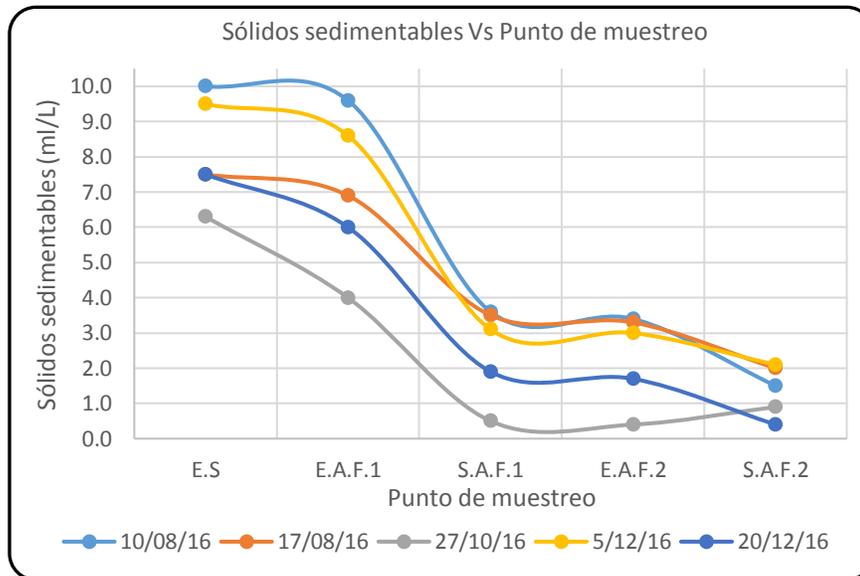
La tabla 2-46 muestra los valores de sólidos sedimentables obtenidos en cada punto del muestreo en las fechas establecidas.

Tabla 2-46. Valores de los sólidos sedimentables en los puntos de muestreo, ml/L.

Fecha del muestreo	Estación				
	E. S.	E.L.A.F.1	S.L.A.F.1	E.L.A.F.2	S.L.A.F.2
10/08/16	10	10	4	3	2
17/08/16	8	7	4	3	2
27/10/16	6	4	1	0,4	1
5/12/16	10	9	3	3	2
20/12/16	8	6	2	2	0,4
Media	8	7	3	2	1
Rango	6 - 10	4 - 10	1 - 4	0 - 3	0,4 - 2

Las figuras 2-20 y 2-21 muestran el comportamiento de los sólidos sedimentables presentes en el agua y analizados en los diferentes puntos de muestreo.

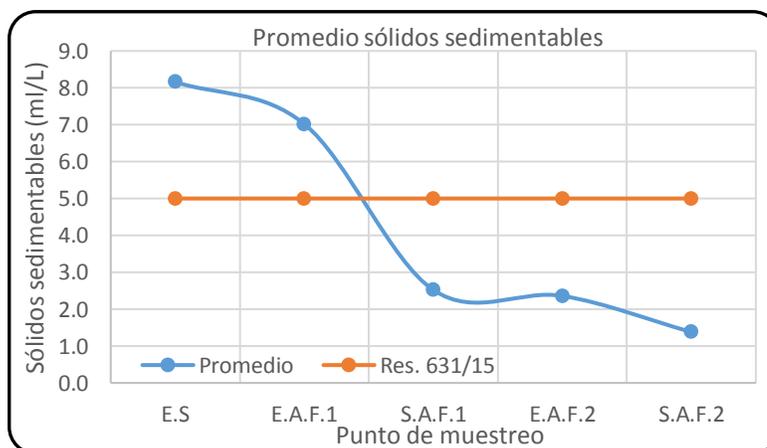
Figura 2-20 Comportamiento de los sólidos sedimentables en los puntos de muestreo



El afluente de la planta arroja un resultado de sólidos sedimentables promedio de 8 ml/L, con un máximo de 10 ml/L en el muestreo del 5 de diciembre y mínimo de 6 ml/L en el muestreo del 27 de octubre. El afluente de la laguna primaria,

presenta un promedio de 7 ml/L con un valor máximo de 10 ml/L en el muestreo del 10 de agosto y mínima de 4 ml/L en el muestreo del 27 de octubre. Con relación al efluente dicha laguna presenta un promedio de 3 ml/L, con un valor máximo de 4 ml/L en el muestreo del 17 de agosto y mínimo de 1 ml/L en el muestreo del 27 de octubre. La laguna secundaria presenta en el afluente un promedio de 2 ml/L, con un máximo valor de 3 ml/L en el muestreo del 17 de agosto y mínimo de 0,4 ml/L en el muestreo del 27 de octubre. El efluente registra un promedio de 1 ml/L, con un valor máximo de 1 ml/L en el muestreo del 27 octubre y mínimo de 0,4 ml/L en el muestreo del 20 de diciembre.

Figura 2-21 Promedio de sólidos sedimentables en los puntos de muestreo



La gráfica indica una variación considerable de sólidos sedimentables. El tratamiento primario remueve los sólidos sedimentables y entrega un efluente bueno.

- **DBO₅**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias aerobias o facultativas (i.e Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus), algas e incluso los hongos consumen al degradar la materia orgánica de las aguas residuales. Se expresa en mg/L y es un parámetro indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad del agua en el efluente proveniente del proceso de depuración de materia orgánica.

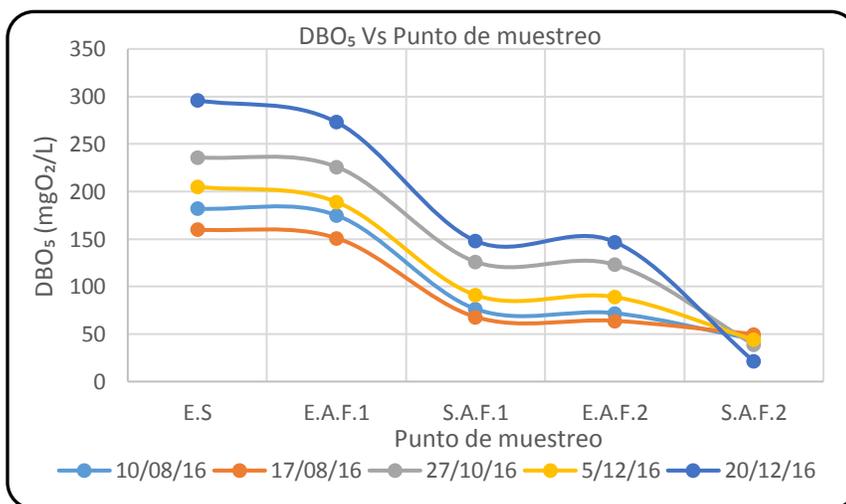
La tabla 2-47 muestra los valores de la DBO₅ obtenidos en cada punto del muestreo en las fechas establecidas.

Tabla 2-47. Valores de la DBO₅ en los puntos de muestreo, mgO₂/L.

Fecha del muestreo	Estación				
	E. S.	E.L.A.F.1	S.L.A.F.1	E.L.A.F.2	S.L.A.F.2
10/08/16	182	175	76	72	45
17/08/16	160	151	68	64	50
27/10/16	236	226	126	123	39
5/12/16	205	189	91	89	44
20/12/16	296	273	148	147	21
Media	216	203	102	99	40
Rango	160 - 296	151 - 273	68 - 148	64 - 147	21,3 - 50

Las figuras 2-22 y 2-23 muestran el comportamiento de la DBO₅ presentes en el agua y analizados en los diferentes puntos de muestreo.

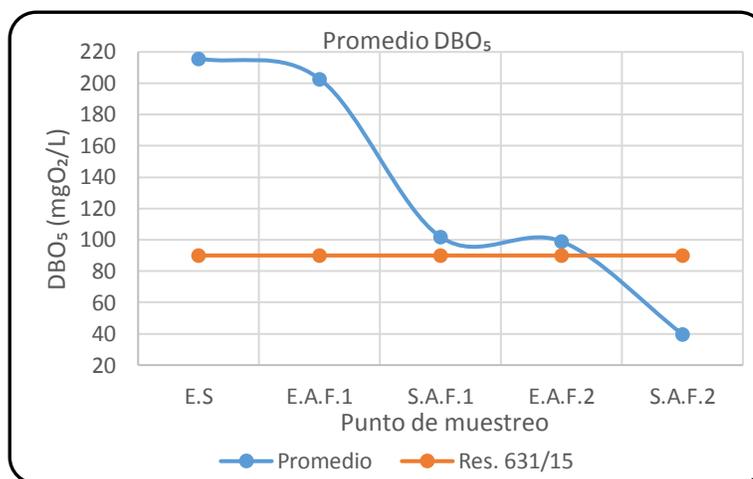
Figura 2-22 Comportamiento de la DBO₅ en los puntos de muestreo.



La DBO₅ a la entrada del sistema registra un promedio de 216 mgO₂/L, con un máximo de 296 mgO₂/L en el muestreo del 20 de diciembre y mínimo de 160 en el muestreo del 17 de agosto. El afluente de la laguna primaria,

presenta un promedio de 203 mgO₂/L con un valor máximo de 273 mgO₂/L en el muestreo del 20 de diciembre y mínima de 151 mgO₂/L en el muestreo del 17 de agosto. Con relación al efluente dicha laguna presenta un promedio de 102 mgO₂/L, con un valor máximo de 148 mgO₂/L en el muestreo del 20 de diciembre y mínimo de 68 mgO₂/L en el muestreo del 17 de agosto. La laguna secundaria presenta en el afluente un promedio de 99 mgO₂/L, con un máximo valor de 147 mgO₂/L en el muestreo del 20 de diciembre y mínimo de 64 en el muestreo del 17 de agosto. El efluente registra un promedio de 40 mgO₂/L con un valor máximo de 50 mgO₂/L en el muestreo del 17 de agosto y mínimo de 21 mgO₂/L en el muestreo del 20 de diciembre.

Figura 2-23 Promedio de la DBO₅ en los puntos de muestreo



El afluente de la planta registra un promedio de DBO₅ de 216 mgO₂/L similar a lo indicado por (Romero Rojas 1990) quien menciona que este parámetro debe estar en un promedio cercano a 220 mgO₂/L. contrario a lo establecido por Metcalf quien afirma que la concentración media se debe encontrar

cercana a 190 mgO₂/L por lo tanto se cataloga como un agua fuerte (Metcalf y Eddy, 2004). El efluente que entrega la planta es de 40 mgO₂/L lo que indica una buena remoción de DBO.

- **DQO**

La DQO es la demanda química de oxígeno del agua, se expresa en mgO₂/L y está definida como la cantidad de oxígeno que químicamente demanda el agua. Es decir, es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente.

La diferencia principal entre las dos es que la DQO engloba la DBO, es decir, esta última es parte de la DQO pero incluye más cosas, los gramos o miligramos de oxígeno se refieren en el caso de la DBO a los requeridos por la degradación biológica de la materia orgánica; mientras que en el caso de la DQO representan los necesarios para la degradación química de la materia orgánica.

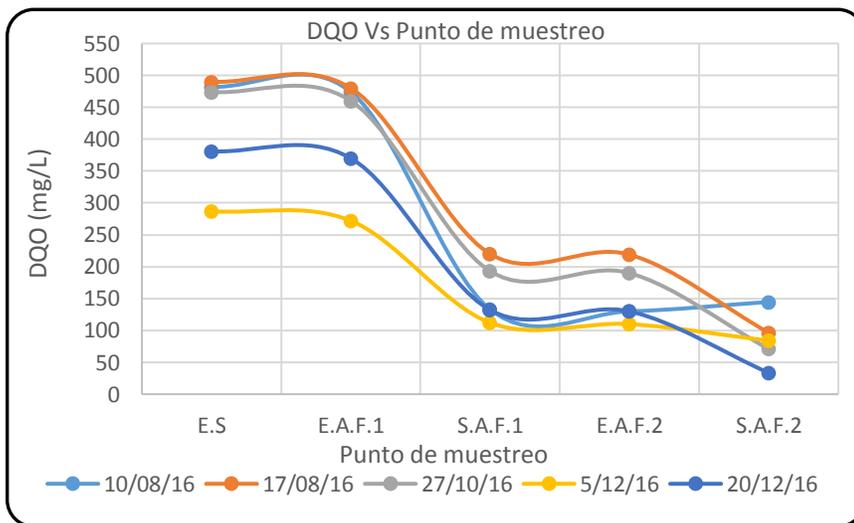
La tabla 2-48 muestra los valores de DQO obtenidos en cada punto del muestreo en las fechas establecidas.

Tabla 2-48. Valores de la DQO en los puntos de muestreo, mgO_2/L .

Fecha del muestreo	Estación				
	E. S.	E.L.A.F.1	S.L.A.F.1	E.L.A.F.2	S.L.A.F.2
10/08/16	482	474	133	130	145
17/08/16	490	480	220	219	96
27/10/16	474	460	193	190	71
5/12/16	287	272	112	110	84
20/12/16	381	370	132	130	34
Media	423	411	158	156	86
Rango	287 - 490	272 - 480	112 - 220	110 - 219	33,5 - 145

Las figuras 2-24 y 2-25 muestran el comportamiento de la DQO.

Figura 2-24 Comportamiento de la DQO sedimentables en los puntos de muestreo

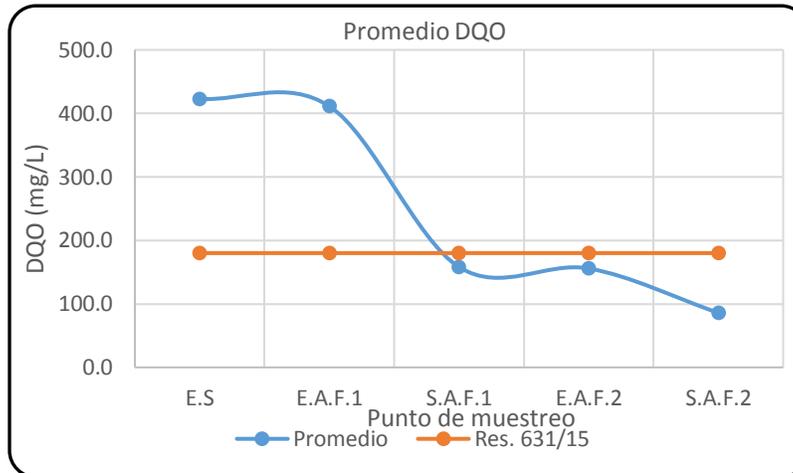


La DQO a la entrada del sistema registra un promedio de $423 \text{ mgO}_2/\text{L}$, con un máximo de $490 \text{ mgO}_2/\text{L}$ en el muestreo del 17 de agosto y mínimo de $287 \text{ mgO}_2/\text{L}$ en el muestreo del 5 de diciembre. El afluente de la laguna primaria,

presenta un promedio de $411 \text{ mgO}_2/\text{L}$ con un valor máximo de $480 \text{ mgO}_2/\text{L}$ en el muestreo del 17 de agosto y mínima de $272 \text{ mgO}_2/\text{L}$ en el muestreo del 5 de diciembre. Con relación al efluente dicha laguna presenta un promedio de $158 \text{ mgO}_2/\text{L}$, con un valor máximo de $220 \text{ mgO}_2/\text{L}$ en el muestreo del 17 de agosto y mínimo de $112 \text{ mgO}_2/\text{L}$ en el muestreo del 5 de diciembre. La laguna secundaria presenta en el afluente un promedio de $156 \text{ mgO}_2/\text{L}$, con un máximo valor de $219 \text{ mgO}_2/\text{L}$ en el muestreo del 17 de agosto y mínimo de $110 \text{ mgO}_2/\text{L}$ en el muestreo del 5 de diciembre. El efluente registra un promedio de 86

mgO₂/L, con un valor máximo de 145 mgO₂/L en el muestreo del 10 de agosto y mínimo de 34 mgO₂/L en el muestreo del 20 de diciembre.

Figura 2-25 Promedio de la DQO en los puntos de muestreo



La grafica muestra que la DQO que ingresa a la planta es muy variable, en promedio está ingresando 423 mgO₂/L lo que muestra que es un afluente de agua residual media. El efluente que entrega la planta es de 86 mgO₂/L lo que indica

buena remoción de DQO.

- **Grasas y aceites**

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo. Las sustancias grasas se clasifican en grasas y aceites. Teniendo en cuenta su origen, pueden ser animales o vegetales.

- ✓ Grasas animales, como el sebo extraído del tejido adiposo de bovinos y ovinos, grasa de cerdo, la manteca entre otros.
- ✓ Aceites animales, entre los que se encuentran los provenientes de peces como sardinas y salmones entre otros.
- ✓ Aceites vegetales, el grupo más numeroso; por sus usos pueden ser clasificados en alimenticios, como los de girasol, algodón y maní.

Algunas de sus características más representativas son baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad. Por ello, si no son controladas se acumulan en el agua formando natas en la superficie del líquido.

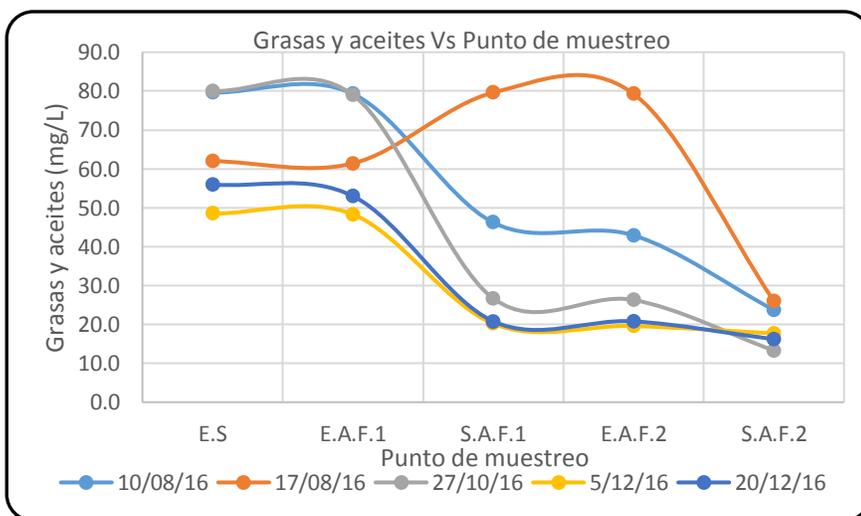
La tabla 2-49 muestra los valores de grasas y aceites obtenidos en cada punto del muestreo en las fechas establecidas. Es de mencionar que para la toma en el punto uno (entrada del sistema), se toma las muestras preliminares y se espera un tiempo prudencial hasta que el sobre nadante flote, posterior a esto si se toma la muestra final para el análisis.

Tabla 2-49. Valores de las grasas y aceites en los puntos de muestreo, mg/L.

Fecha del muestreo	Estación				
	E. S.	E.L.A.F.1	S.L.A.F.1	E.L.A.F.2	S.L.A.F.2
10/08/16	80	79	46	43	24
17/08/16	62	61	80	79	26
27/10/16	80	79	27	26	13
5/12/16	49	48	20	20	18
20/12/16	56	53	21	21	16
Media	65	64	39	38	19
Rango	49 - 80	48 - 79	20 - 80	20 - 79	13,3 - 26

Las figuras 2-26 y 2-27 muestran el comportamiento de las grasas y aceites.

Figura 2-26 Comportamiento de las grasas y aceites en los puntos de muestreo

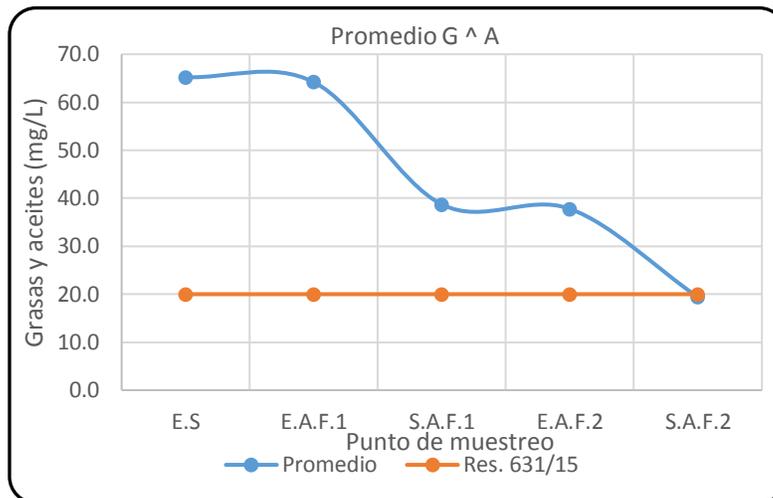


El afluente de la planta arrojó un resultado de grasas y aceites promedio de 65 mg/L, con un máximo de 80 mg/L en el muestreo del 27 de octubre y mínimo de 49 mg/L en el muestreo del 5 de diciembre. El

afluente de la laguna primaria, presenta un promedio de 64 mg/L con un valor máximo de 79 mg/L en el muestreo del 27 de octubre y mínima de 48 mg/L en el muestreo del 5 de diciembre. Con relación al efluente dicha laguna presenta un promedio de 39 mg/L, con un valor máximo de 80 mg/L en el muestreo del 17 de agosto y mínimo de 20 mg/L en el muestreo del 5 de diciembre. La laguna secundaria presenta en el afluente un promedio de 38 mg/L, con un máximo valor

de 79 mg/L en el muestreo del 17 de agosto y mínimo de 20 mg/L en el muestreo del 5 de diciembre. El efluente registra un promedio de 19 mg/L, con un valor máximo de 26 mg/L en el muestreo del 17 de agosto y mínimo de 13 mg/L en el muestreo del 27 de octubre.

Figura 2-27 Promedio de grasas y aceites en los puntos de muestreo



La grafica muestra el comportamiento de las grasas y aceites que ingresa a la planta es muy variable, en promedio está ingresando 65,2 mg/L lo que confirma ser un afluente proveniente de una actividad domestica (aguas residuales de tipo ordinario). El efluente que entrega la planta es de 19 mg/L lo

que indica buena remoción de grasas y aceites

- **Coliformes fecales**

Las bacterias coliformes fecales se encuentran en el sistema digestivo de la mayoría de los animales de sangre caliente y su presencia en este contexto, es relativamente benigna. Estos organismos contribuyen a la digestión de los alimentos, por lo que cantidades de ellos se encuentran en el tracto intestinal y son expulsados en las heces. Los altos niveles de bacterias coliformes fecales en el agua residual no son peligrosas por sí mismas, sino que se utilizan como un indicador fiable para otros patógenos que se encuentran comúnmente en las aguas contaminadas con excretas.

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior.

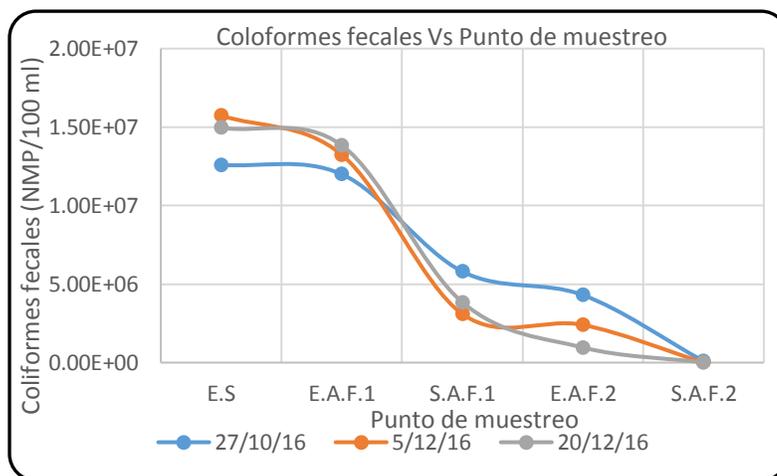
La tabla 2-50 muestra los valores de los coliformes fecales obtenidos en cada punto del muestreo en las fechas establecidas.

Tabla 2-50. Valores de los coliformes fecales en los puntos de muestreo.

Fecha del muestreo	Estación				
	E. S.	E.L.A.F.1	S.L.A.F.1	E.L.A.F.2	S.L.A.F.2
27/10/16	1,26E+07	1,20E+07	5,80E+06	4,30E+06	9,30E+04
5/12/16	1,57E+07	1,32E+07	3,10E+06	2,40E+06	7,43E+03
20/12/16	1,50E+07	1,38E+07	3,84E+06	9,60E+05	4,93E+03
Media	1,44E+07	1,30E+07	4,25E+06	2,55E+06	3,51E+04
Rango	1,3E+07 -1,6E+07	1,2E+07 - 1,4E+07	3,1E+06 -5,8E+06	9,6E+05 -4,3E+06	4,9E+03 -9,3E+04

Las figuras 2-28 y 2-29 muestran el comportamiento de los coliformes fecales presentes en el agua y analizados en los diferentes puntos de muestreo.

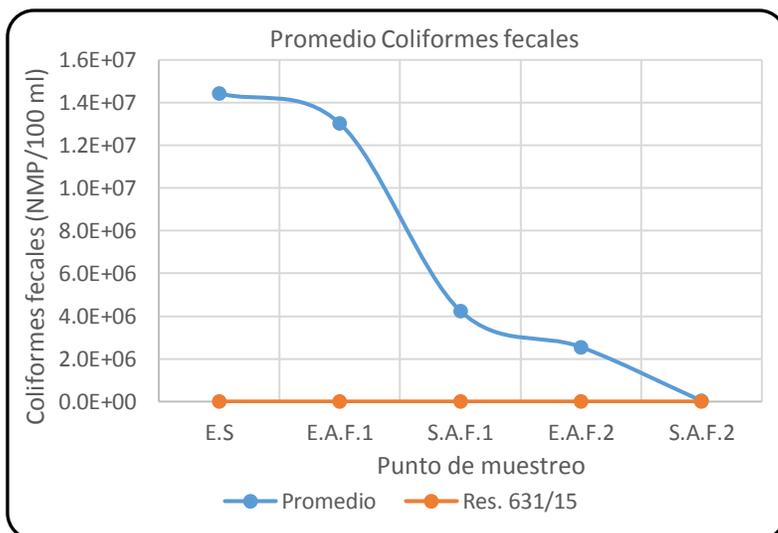
Figura 2-28 Comportamiento de los coliformes fecales en los puntos de muestreo, NMP/100ml.



Los coliformes fecales a la entrada del sistema registran un promedio de 1,44E+07 NMP/100 ml, con un máximo de 1,57E+07 NMP/100 ml, en el muestreo del 5 de diciembre y mínimo de 1,26E+07 NMP/100 ml en el muestreo del 27 de octubre. El afluente de la laguna primaria,

presenta un promedio de 1,30E+07 NMP/100ml con un valor máximo de 1,6E+07 NMP/100 ml en el muestreo del 20 de diciembre y mínima de 1,2E+07 NMP/100 ml en el muestreo del 27 de octubre. Con relación al efluente dicha laguna presenta un promedio de 4,25E+06, con un valor máximo de 5,8E+06 NMP/100 ml en el muestreo del 27 de agosto y mínimo de 3,1E+06 en el muestreo del 5 de diciembre. La laguna secundaria presenta en el afluente un promedio de 2,55E+06 NMP/100 ml, con un máximo valor de 4,3E+06 NMP/100 ml en el muestreo del 27 de octubre y mínimo de 9,6E+05 NMP/100 ml en el muestreo del 20 de diciembre. El efluente registra un promedio de 3,5E+04 NMP/100 ml, con un valor máximo de 9,3E+04 en el muestreo del 27 de octubre y mínimo de 4,9E+03 en el muestreo del 20 de diciembre.

Figura 2-29 Promedio de coliformes fecales en los puntos de muestreo



El promedio de ingreso de coliformes fecales a la planta es de $1,44E+07$ NMP/100 ml y esta entrega un promedio de $3,51E+04$ NMP/100 ml. El efluente de la planta muestra una baja reducción en cuanto a este parámetro lo que significa que esta no realiza una buena función al respecto, es decir no entrega un

efluente en condiciones aptas.

- **Coliformes totales**

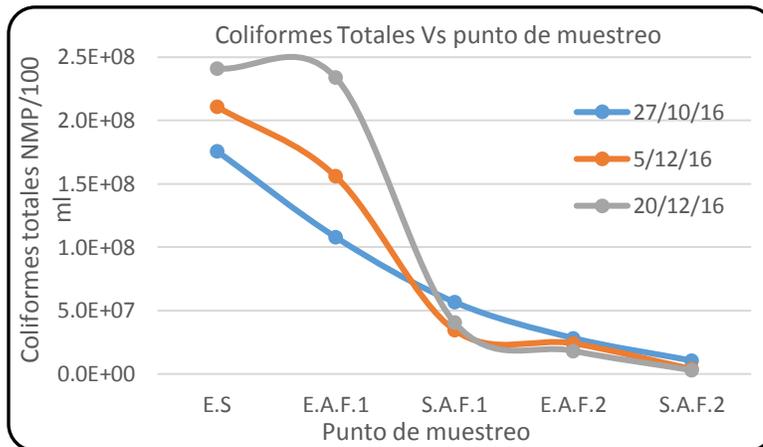
La tabla 2-51 muestra los valores de los coliformes totales obtenidos en cada punto del muestreo en las fechas establecidas.

Tabla 2-51. Valores de los coliformes totales en los puntos de muestreo, NMP/100 ml.

Fecha del muestreo	Estación				
	E. S.	E.L.A.F.1	S.L.A.F.1	E.L.A.F.2	S.L.A.F.2
27/10/16	1,76E+08	1,08E+08	5,68E+07	2,84E+07	1,06E+07
5/12/16	2,11E+08	1,56E+08	3,48E+07	2,42E+07	3,92E+06
20/12/16	2,41E+08	2,34E+08	4,08E+07	1,83E+07	3,02E+06
Media	2,09E+08	1,66E+08	4,41E+07	2,36E+07	5,85E+06
Rango	1,8E+08 -2,4E+08	1,1E+08 -2,3E+08	3,5E+07 -5,7E+07	1,8E+07 -2,8E+07	3,0E+06 -1,1E+07

Las figuras 2-30 y 2-31 muestran el comportamiento de los sólidos totales presentes en el agua y analizados en los diferentes puntos de muestreo.

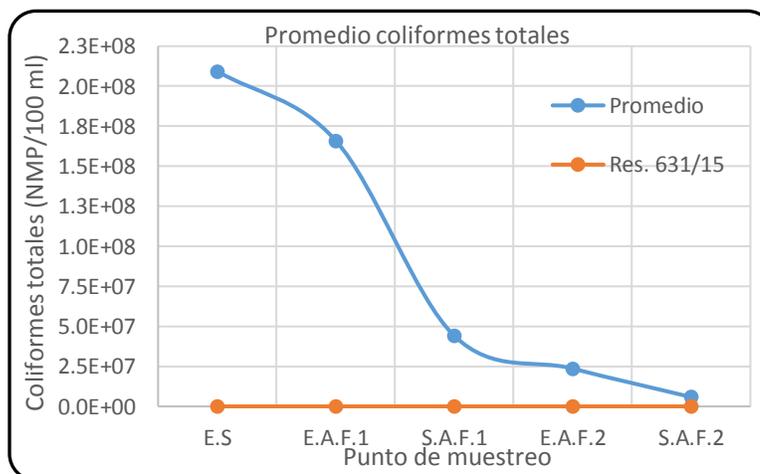
Figura 2-30 Comportamiento de los coliformes totales en los puntos de muestreo



El afluente del sistema registra coliformes totales promedio de $2,09E+08$ NMP/100ml, con un máximo de $2,4E+08$ NMP/100 ml, en el muestreo del 20 de diciembre y mínimo de $1,8E+08$ NMP/100 ml en el muestreo del 27 de octubre. El afluente de la laguna primaria, presenta un promedio de

$1,66E+08$ NMP/100ml con un valor máximo de $2,3E+08$ NMP/100 ml en el muestreo del 20 de diciembre y mínima de $1,1E+08$ NMP/100 ml en el muestreo del 27 de octubre. Con relación al efluente dicha laguna presenta un promedio de $4,4E+07$, con un valor máximo de $5,7E+07$ NMP/100 ml en el muestreo del 27 de agosto y mínimo de $3,5E+07$ en el muestreo del 5 de diciembre. La laguna secundaria presenta en el afluente un promedio de $2,36E+07$ NMP/100 ml, con un máximo valor de $2,8E+07$ NMP/100 ml en el muestreo del 27 de octubre y mínimo de $1,8E+07$ NMP/100 ml en el muestreo del 20 de diciembre. El efluente registra un promedio de $5,85E+06$ NMP/100 ml, con un valor máximo de $1,1E+07$ en el muestreo del 27 de octubre y mínimo de $3E+06$ en el muestreo del 20 de diciembre.

Figura 2-31 Promedio de coliformes totales en los puntos de muestreo



La figura muestra que existe variación importante de coliformes totales; la concentración promedio que ingresa a la planta es de $2,1E+08$ NMP/100 ml y la de salida es de $5,851E+06$ NMP/100 ml.

El efluente de la planta muestra una baja reducción en cuanto a este parámetro lo que significa que la planta no realiza una buena función al respecto, es decir no entrega un efluente en condiciones aptas.

2.1.7 Caracterización en el centro de cada laguna.

Se midieron, temperatura del agua, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH, en el centro de cada una de las lagunas, tomando muestras del agua a tres profundidades diferentes (0,2, 1, 1,8 metros), los datos obtenidos de dichos parámetros se presentan en las tablas siguientes.

- **Temperatura.**

La tabla 2-52 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 0,2 metros de profundidad.

Tabla 2-52. Temperatura del agua en el centro de la laguna primaria a 0.20 m de profundidad, °C.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	13,3	15,0	14,6	12,1
Martes	12,7	14,2	13,8	11,3
Miércoles	14,5	15,7	15,5	12,8
Jueves	11,5	13,4	12,8	10,5
Viernes	11,6	13,5	12,9	10,6
Media	12,7	14,4	13,9	11,5
Rango	11,5 - 14,5	13,4 - 15,7	12,8 - 15,5	10,5 - 12,8

La tabla 2-53 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 1,0 metro de profundidad.

Tabla 2-53. Temperatura del agua en el centro de la laguna primaria a 1,0 m de profundidad, °C.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	13,3	14,7	14,3	11,4
Martes	12,5	13,9	13,7	10,6
Miércoles	14,3	15,0	14,9	12,2
Jueves	11,4	13,5	13,0	9,7
Viernes	11,5	13,6	13,1	9,8
Media	12,6	14,1	13,8	10,7
Rango	11,4 - 14,3	13,5 - 15,0	13,0 - 14,9	9,7 - 12,2

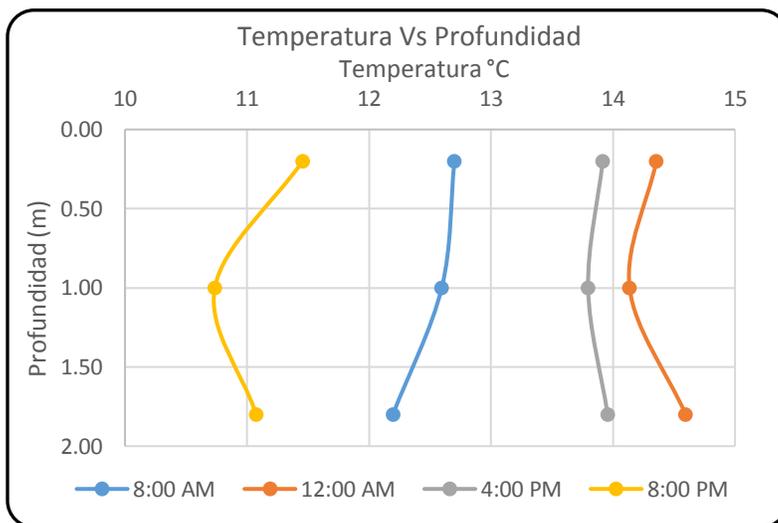
La tabla 2-54 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 1,8 metros de profundidad.

Tabla 2-54. Temperatura del agua en el centro de la laguna primaria a 1.80 m de profundidad, °C.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	12,7	15,1	14,5	11,7
Martes	12,1	14,5	13,9	10,9
Miércoles	13,3	15,7	15,3	12,3
Jueves	11,4	13,8	13,0	10,2
Viernes	11,5	13,9	13,1	10,3
Media	12,2	14,6	14,0	11,1
Rango	11,4 - 13,3	13,8 - 15,7	13,0 - 15,3	10,2 - 12,3

Las figuras 2-32 y 2-33 muestran el comportamiento de la temperatura del agua en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativas 1 (LAF1). Los datos registrados muestran que existe variación considerable de temperatura a diferentes horas del día (horas establecidas para las tomas de muestras), esto debido a la radiación solar. Mientras que con respecto a las profundidades no presenta variación considerable.

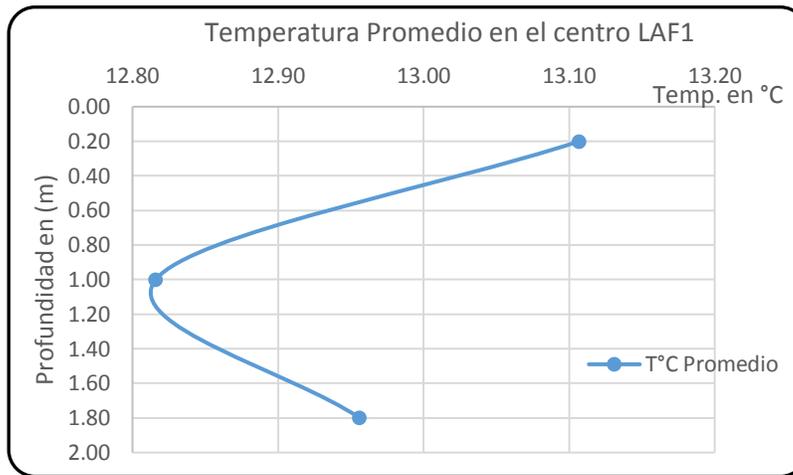
Figura 2-32 Comportamiento de la temperatura en el centro de la laguna primaria



La temperatura cerca de la superficie registra un promedio de 13,1 °C, con un máximo valor de 15,7 °C al mediodía y mínimo de 10,5 °C al inicio de la noche. La muestra a una profundidad de 1 metro, registra un promedio de 12,8 °C, presentando el máximo valor de 15 °C al mediodía y mínimo de 9,7 °C al inicio de

la noche. La muestra a una profundidad de 1,8 metros registra promedio de 12,9 °C con un valor máximo reportado de 15,7 °C en horas del mediodía y mínimo de 10,2 °C al inicio de la noche.

Figura 2-33 Comportamiento de la temperatura promedio en el centro de la laguna primaria



La temperatura promedio del agua muestra poca variación, en horas del día. Las aguas más cercanas a la superficie muestran un comportamiento más cálido que en el fondo, debido a la radiación solar recibida por el espejo de agua.

La tabla 2-55 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 0,2 metros de profundidad.

Tabla 2-55. Temperatura del agua en el centro de la laguna secundaria a 0,2 m de profundidad, °C

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	15,6	16,4	16,2	12,7
Martes	15,0	15,6	15,4	12,0
Miércoles	15,9	17,0	17,1	13,2
Jueves	14,6	14,9	14,4	11,3
Viernes	14,7	15,0	14,5	11,4
Media	15,2	15,8	15,5	12,1
Rango	14,6 - 15,9	14,9 - 17,0	14,4 - 17,1	11 - 13,2

La tabla 2-56 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 1 metros de profundidad.

Tabla 2-56. Temperatura del agua en el centro de la laguna secundaria a 1 m de profundidad, °C.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	14.1	16.2	15.7	12.4
Martes	13.3	15.4	14.7	11.6
Miércoles	15.3	17.0	16.3	12.9
Jueves	12.0	14.5	14.0	11.0
Viernes	12.1	14.6	14.1	11.1
Media	13.4	15.5	15.0	11.8
Rango	12.0 - 15.3	14.5 - 17.0	14.0 - 16.3	11.0 - 12.9

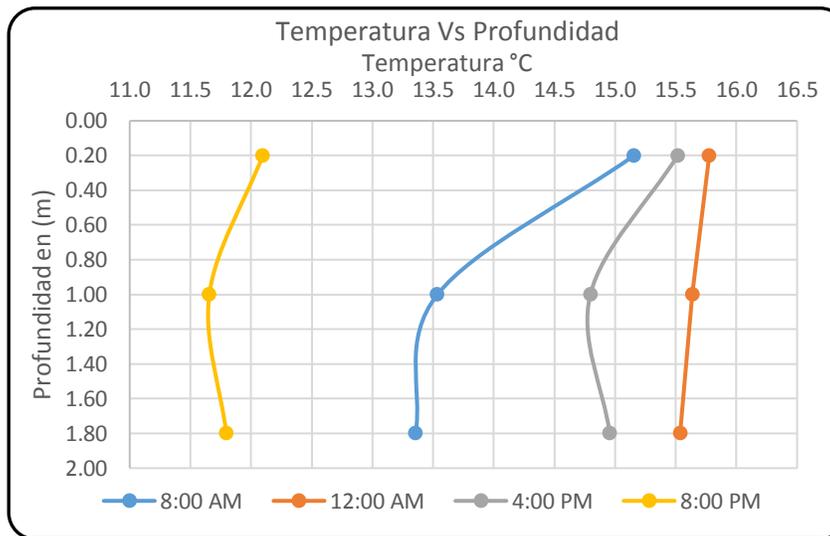
La tabla 2-57 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 1,8 metros de profundidad.

Tabla 2-57. Temperatura del agua en el centro de la laguna secundaria a 1,8 m de profundidad, °C.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	14,1	16,2	15,7	12,4
Martes	13,3	15,4	14,7	11,6
Miércoles	15,3	17,0	16,3	12,9
Jueves	12,0	14,5	14,0	11,0
Viernes	12,1	14,6	14,1	11,1
Media	13,4	15,5	15,0	11,8
Rango	12,0 - 15,3	14,5 - 17,0	14,0 - 16,3	11 - 12,9

Las figuras 2-34 y 2-35 muestran el comportamiento de la temperatura del agua en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativas 2 (LAF2).

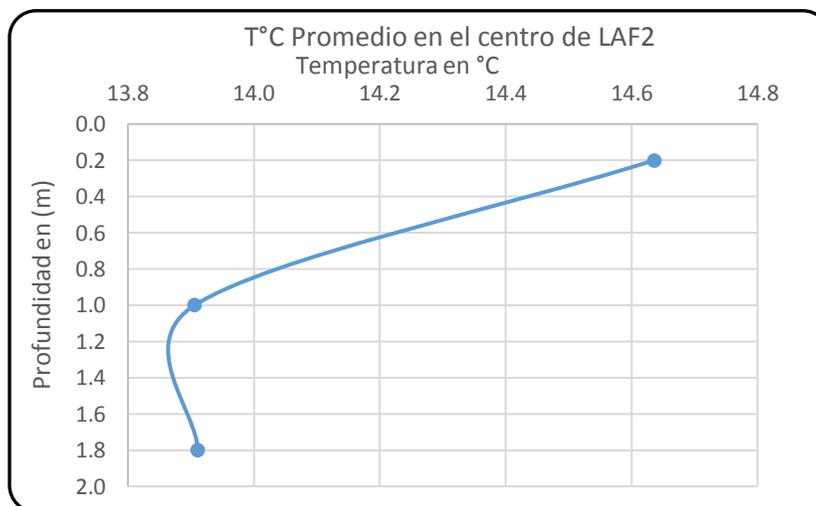
Figura 2-34 Comportamiento de la temperatura en el centro de la laguna secundaria



El análisis de la gráfica muestra que la temperatura cerca de la superficie registra un promedio de 14,6 °C, un poco por encima que la primaria a esta misma profundidad, con un máximo valor de 17,1 °C al mediodía y mínimo de 11,3 °C al inicio

de la noche. A una profundidad de 1 metro se registra un promedio de 13,9 °C (superior al registrado en laguna primaria); presentándose el máximo valor de 16,5 °C al mediodía y mínimo de 10,3 °C al inicio de la noche. A una profundidad de 1,8 metros registra promedio de 13,9 °C un poco mayor que en la laguna primaria, con un valor máximo registrado de 17 °C en horas del mediodía y mínimo de 11 °C al inicio de la noche.

Figura 2-35 Comportamiento de la temperatura promedio en el centro de la laguna secundaria



En la figura 2-35 se observa que la temperatura promedio en la laguna varía entre 14,6 °C en la superficie y 13,9 °C a 1,8 metros de profundidad, es decir una disminución de 0,7 °C

- **Oxígeno disuelto.**

El contenido en oxígeno disuelto es uno de los mejores indicadores sobre el funcionamiento de las lagunas de estabilización. Para las lagunas aireadas el OD viene dado únicamente por el equipo de aireación.

La tabla 2-58 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 0,2 metros de profundidad.

Tabla 2-58. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna primaria a 0,2 m de profundidad, mg/L.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	2,0	5,9	7,2	6,2
Martes	1,4	5,1	6,4	5,2
Miércoles	2,8	6,4	7,6	6,6
Jueves	0,5	4,5	5,9	4,7
Viernes	0,6	4,6	6,0	4,8
Media	1,5	5,3	6,6	5,5
Rango	0,5 - 2,8	4,5 - 6,4	5,9 - 7,6	5 - 6,6

La tabla 2-59 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 1 metro de profundidad.

Tabla 2-59. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna primaria a 1 m de profundidad, mg/L.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	2,0	2,2	5,3	4,1
Martes	1,2	1,6	4,5	3,3
Miércoles	2,9	2,7	5,6	4,3
Jueves	0,2	1,0	4,1	3,0
Viernes	0,3	1,1	4,2	3,1
Media	1,3	1,7	4,7	3,6
Rango	0,2 - 2,9	1,0 - 2,7	4,1 - 5,6	3 - 4,3

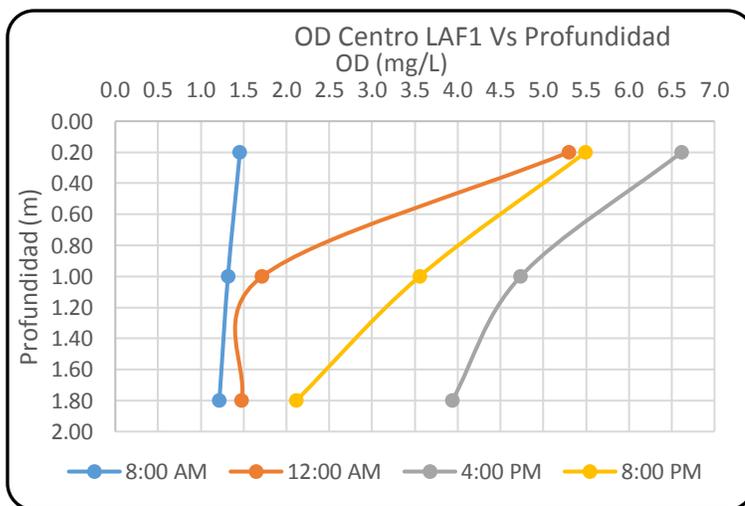
La tabla 2-60 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 1,8 metros de profundidad.

Tabla 2-60. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna primaria a 1.8 m de profundidad, mg/L.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	1,9	2,2	4,3	2,7
Martes	1,1	1,5	3,7	1,9
Miércoles	2,0	3,3	4,2	3,1
Jueves	0,1	0,2	3,7	1,4
Viernes	0,2	0,3	3,8	1,5
Media	1,0	1,5	3,9	2,1
Rango	0,1 - 2,0	0,2 - 3,3	3,7 - 4,3	1 - 3,1

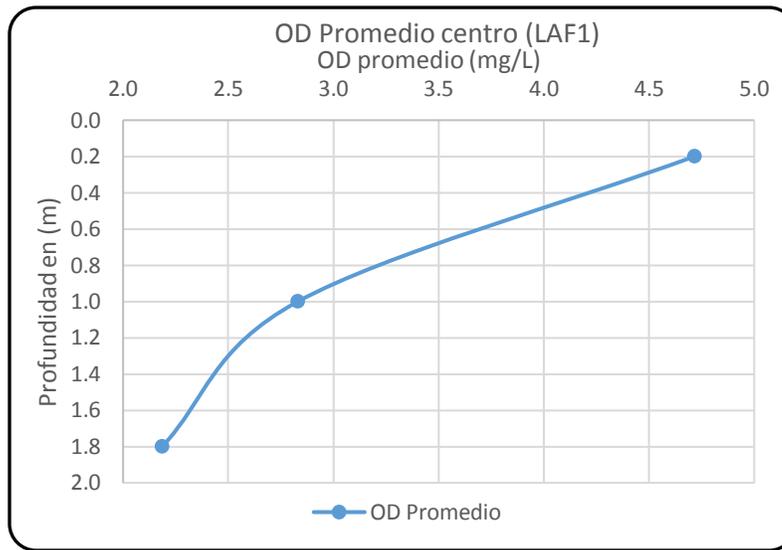
Las figuras 2-36 y 2-37 muestran el comportamiento del oxígeno disuelto en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativas 1 (LAF1). Los datos registrados a una profundidad próxima a la superficie muestran una variación considerable, disminuyendo un poco hacia la profundidad media y siendo menos notoria cerca al fondo de la laguna.

Figura 2-36 Comportamiento del oxígeno disuelto en el centro de la laguna primaria



El análisis de la gráfica muestra que el oxígeno disuelto cerca de la superficie registra un promedio de 4,72 mg/L, con un máximo valor de 7,6 mg/L en horas de la tarde y mínimo de 0,5 en horas de la mañana. A una profundidad de 1 metro se registra un promedio de 2,83 mg/L presentando el máximo valor de 5,6 en horas de la tarde y mínimo de 0,2 mg/L en horas de la mañana. A una profundidad de 1,8 metros registra promedio de 2,14 mg/L, con un valor máximo registrado de 4,3 en horas de la tarde y mínimo de 0,1 mg/L en horas de la mañana.

Figura 2-37 Comportamiento del Oxígeno disuelto promedio en el centro de la laguna primaria



El comportamiento del Oxígeno disuelto promedio en el agua muestra una variación considerable que se hace más notoria desde la profundidad media hacia la superficie, siendo las aguas superficiales las que presentan el mayor contenido de OD. Esto es debido al funcionamiento de los aireadores los

cuales suministran el oxígeno necesario para la depuración del agua residual. La figura indica condiciones de sobresaturación en el plano cercano a la superficie (profundidad 0,2 m) al registrarse un valor máximo de 7,6 mg/L en horas de la tarde.

La tabla 2-61 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 0,2 metros de profundidad.

Tabla 2-61. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna secundaria a 0,2 m de profundidad, mg/L.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	2,0	6,4	8,3	4,3
Martes	1,4	5,6	7,7	3,7
Miércoles	3,0	7,1	9,4	4,8
Jueves	0,3	4,8	6,5	3,1
Viernes	0,4	4,9	6,6	3,2
Media	1,4	5,8	7,7	3,8
Rango	0,3 - 3,0	4,8 - 7,1	6,5 - 9,4	3 - 4,8

La tabla 2-62 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 1 metros de profundidad.

Tabla 2-62. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna secundaria a 1 m de profundidad, mg/L.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	1,3	2,1	7,6	2,0
Martes	0,5	1,5	6,8	1,2
Miércoles	1,5	2,1	8,4	2,5
Jueves	0,2	1,4	5,9	0,6
Viernes	0,3	1,5	6,0	0,7
Media	0,8	1,7	6,9	1,4
Rango	0,2 - 1,5	1,4 - 2,1	5,9 - 8,4	1 - 2,5

La tabla 2-63 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 1,8 metros de profundidad.

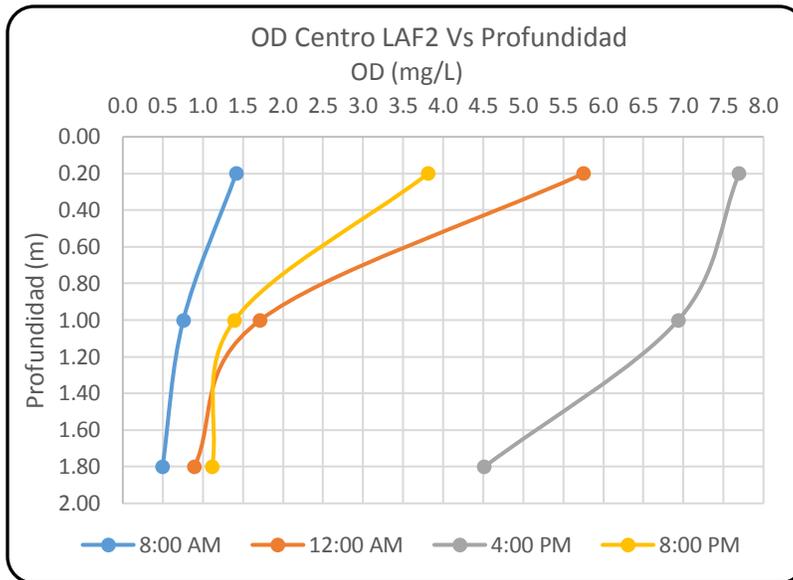
Tabla 2-63. Oxígeno disuelto del agua en el centro de la laguna secundaria a 1,8 m de profundidad, mg/L.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	1,0	1,4	5,1	1,7
Martes	0,3	0,8	4,3	0,9
Miércoles	1,0	2,0	5,5	2,1
Jueves	0,0	0,1	3,8	0,4
Viernes	0,2	0,2	3,9	0,5
Media	0,5	0,9	4,5	1,1
Rango	0,0 - 1,0	0,1 - 2,0	3,8 - 5,5	0,4 - 2,1

Las figuras 2-38 y 2-39 muestran el comportamiento del oxígeno disuelto en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativas 2 (LAF2).

El oxígeno disuelto presenta variaciones importantes en profundidad. La concentración de oxígeno disuelto es máxima en la superficie, y a medida que aumenta la profundidad va disminuyendo hasta anularse en la capa de oxipausa.

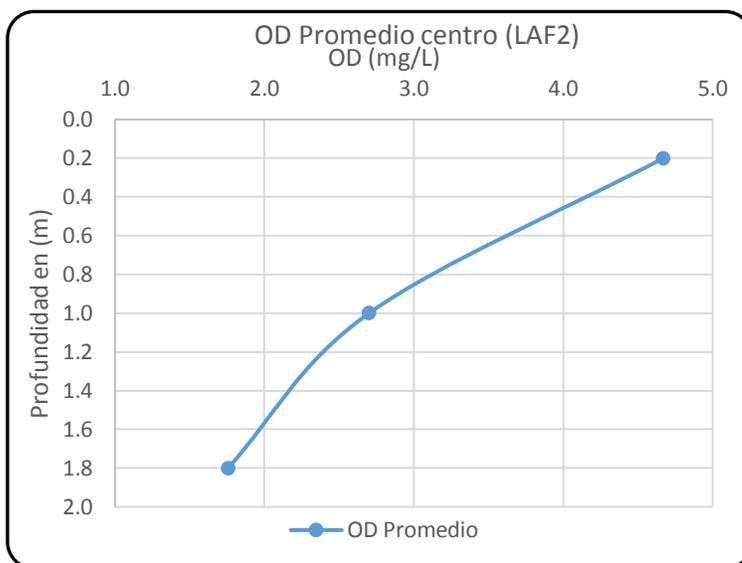
Figura 2-38 Comportamiento del oxígeno disuelto en el centro de la laguna secundaria



El análisis de la gráfica muestra que el oxígeno disuelto cerca de la superficie registra un promedio de 4,67 mg/L, con un máximo valor de 9,4 mg/L en horas de la tarde y mínimo de 0,3 mg/L en horas de la mañana. A una profundidad de 1 metro se registra un promedio de 2,7 mg/L; presentándose el máximo valor de

8,4 mg/L en horas de la tarde y mínimo de 0,2 mg/L en horas de la mañana. A una profundidad de 1,8 metros registra promedio de 1,76 mg/L un poco menor que en la laguna primaria, con un valor máximo registrado de 5,5 mg/L en horas de la tarde y mínimo de 0,1 en horas de la mañana. Esta variación es debido a que los aireadores se ponen en funcionamiento en horas de la tarde.

Figura 2-39 Comportamiento del oxígeno disuelto promedio en el centro de la laguna secundaria



El comportamiento del Oxígeno disuelto promedio en el agua muestra una variación considerable que se hace más notoria desde la profundidad media hacia la superficie, siendo las aguas superficiales las que presentan el mayor contenido de OD. Esto es debido a la operación o funcionamiento de los aireadores, los cuales suministran el oxígeno necesario para la

depuración del agua residual. La figura indica condiciones de sobresaturación en

el plano cercano a la superficie (profundidad 0,2 m) al registrarse un valor máximo de 9,4 mg/L en horas de la tarde.

El oxígeno disuelto es máximo en horas de la tarde (4:00 p.m.) por que los aireadores, funcionan de 2 a 4 de la tarde, lo que sustenta que a esta hora del día el oxígeno disuelto sea máximo.

- **Conductividad**

La tabla 2-64 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 0,2 metros de profundidad.

Tabla 2-64. Conductividad del agua en el centro de la laguna primaria a 0,2 m de profundidad, $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	755,2	782,1	742,2	811,2
Martes	694,8	721,9	681,8	748,8
Miércoles	748,9	776,3	736,9	807,3
Jueves	709,1	735,7	820,3	760,7
Viernes	724,1	750,7	710,1	775,7
Media	726,4	753,3	738,3	780,7
Rango	694,8 - 755,2	721,9 - 782,1	681,8 - 820,3	748,8 - 811,2

La tabla 2-65 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 1 metros de profundidad.

Tabla 2-65. Conductividad del agua en el centro de la laguna primaria a 1 m de profundidad, $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	758,6	861,0	912,0	880,0
Martes	639,4	727,0	718,0	642,0
Miércoles	825,3	916,3	942,3	902,0
Jueves	535,7	704,6	650,7	583,0
Viernes	685,7	784,7	800,7	733,0
Media	688,9	798,7	804,7	748,0
Rango	535,7 - 825,3	704,6 - 916,3	650,7 - 942,3	583 - 902,0

La tabla 2-67 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 1,8 metros de profundidad.

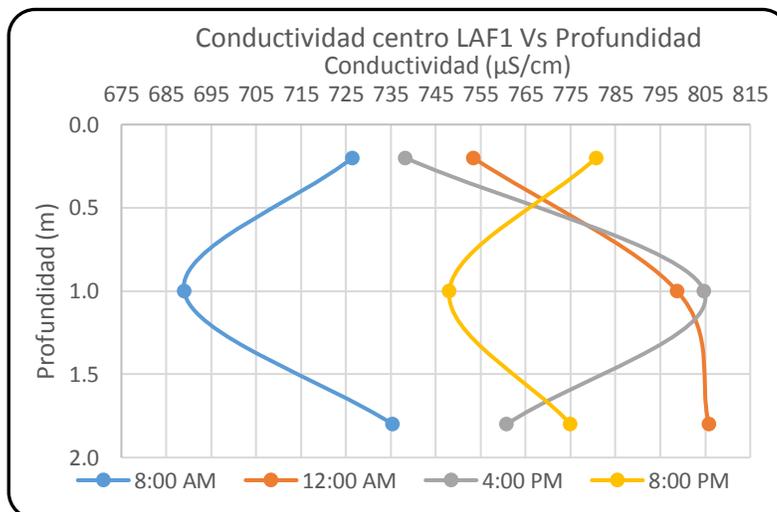
Tabla 2-66. Conductividad del agua en el centro de la laguna primaria a 1,8 m de profundidad, $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	834,0	896,0	818,0	872,0
Martes	668,0	734,0	684,0	698,0
Miércoles	905,0	937,0	878,0	911,0
Jueves	560,0	656,0	687,0	622,0
Viernes	710,0	806,0	737,0	772,0
Media	735,4	805,8	760,8	775,0
Rango	560,0 - 905,0	656,0 - 937,0	684,0 - 878,0	622 - 911,0

En depuración de aguas residuales la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos presentes en el agua, por lo tanto cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad. La relación entre conductividad y sólidos disueltos se expresa, dependiendo de las aplicaciones, con una buena aproximación por la siguiente igualdad:

$$\text{mg/L} \cdot \text{SDT} = F \cdot \mu\text{S}/\text{cm} \quad (F \text{ varía entre } 0,5 - 0,8)$$

Figura 2-40 Comportamiento de la conductividad en el centro de la laguna primaria

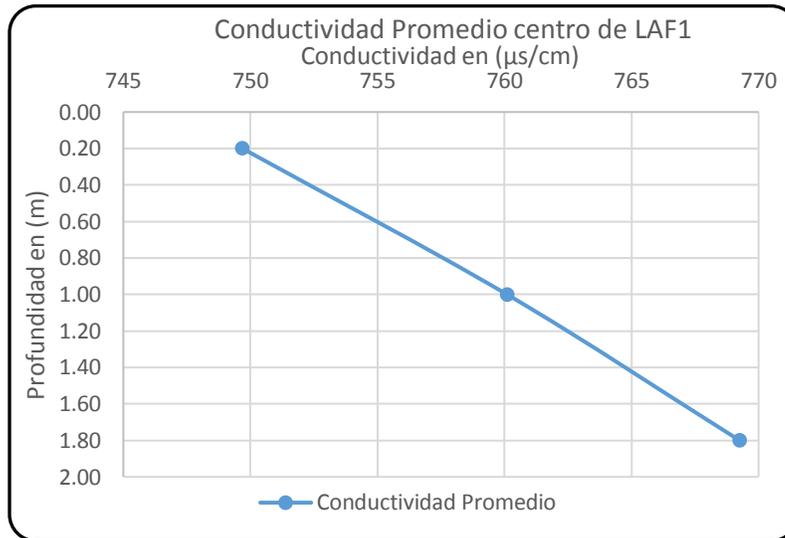


El análisis del gráfico muestra que la conductividad cerca de la superficie registra un promedio de $750 \mu\text{S}/\text{cm}$, con un máximo valor de $820 \mu\text{S}/\text{cm}$ en horas de inicio de la noche y mínimo de $682 \mu\text{S}/\text{cm}$ en horas tempranas de la mañana, la máxima variación se presenta en horas de la tarde

cuando entran en operación los equipos de aireación, la segunda muestra se toma a una profundidad de 1,0 metro, en este punto se registra un promedio de $760 \mu\text{S}/\text{cm}$, presentando el máximo valor de $942 \mu\text{S}/\text{cm}$ en horas de la tarde y

mínimo de 536 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en horas de la mañana. Finalmente la última muestra se toma cerca al fondo a una profundidad de 1,8 metros en donde se registra promedio de 769 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un valor máximo reportado de 937 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en horas del mediodía y mínimo de 560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en horas de la mañana

Figura 2-41 Comportamiento de la conductividad promedio en el centro de la laguna primaria



La conductividad muestra variación, la cual aumento gradual con la profundidad, debido posiblemente a cambios en la forma de alcalinidad de bicarbonatos a carbonatos.

La tabla 2-67 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 0,2 metros de profundidad.

Tabla 2-67. Conductividad del agua en el centro de la laguna secundaria a 0,2 m de profundidad $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	849,0	822,0	846,0	910,0
Martes	681,0	684,0	702,0	772,0
Miércoles	889,3	879,9	904,4	976,2
Jueves	603,7	589,1	606,6	668,8
Viernes	753,7	739,1	756,6	818,8
Media	755,3	742,8	763,1	829,2
Rango	604 - 889	589 - 880	607 - 904	669 - 976

La tabla 2-68 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 1 metros de profundidad.

Tabla 2-68. Conductividad del agua en el centro de la laguna secundaria a 1 m de profundidad $\mu\text{S/cm}$.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	849,0	883,0	879,6	910,0
Martes	727,0	747,0	861,0	772,0
Miércoles	910,1	939,9	846,3	964,0
Jueves	628,9	653,1	741,5	681,0
Viernes	778,9	803,1	891,5	831,0
Media	778,8	805,2	844,0	831,6
Rango	629 - 910	653 - 940	742 - 892	681 - 964

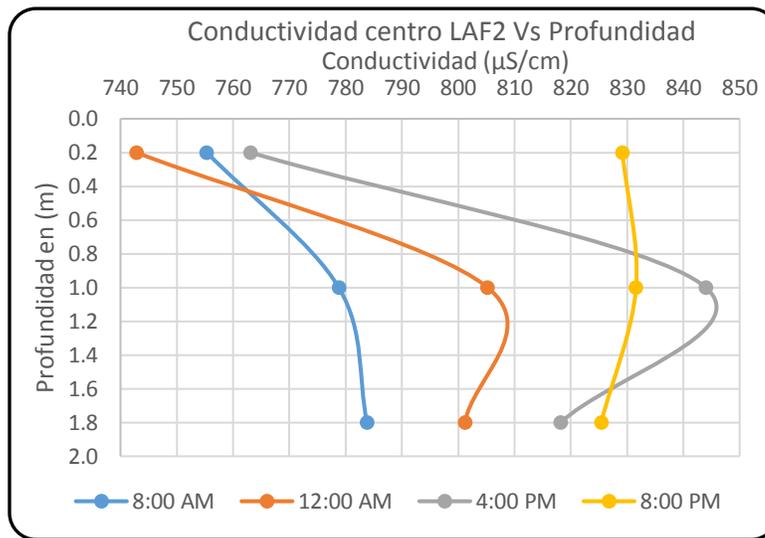
La tabla 2-69 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 1,8 metros de profundidad.

Tabla 2-69. Conductividad del agua en el centro de la laguna secundaria a 1,8 m de profundidad $\mu\text{S/cm}$.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	832,0	884,0	896,0	897,0
Martes	747,0	744,0	764,0	753,0
Miércoles	896,0	954,0	965,0	947,0
Jueves	647,0	637,0	658,0	714,0
Viernes	797,0	787,0	808,0	816,0
Media	783,8	801,2	818,2	825,4
Rango	647 - 896	637 - 954,0	658 - 965	714 - 947

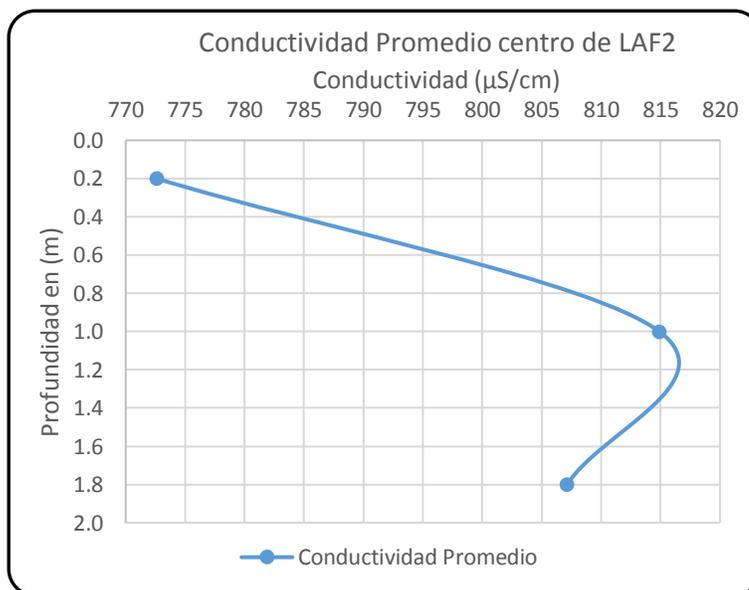
Las figuras 2-42 y 2-43 muestran el comportamiento de la conductividad del agua en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativas 2 (LAF2).

Figura 2-42 Comportamiento de la conductividad en el centro de la laguna secundaria



La laguna secundaria (LAF2) presentó valores de conductividad más altos que la primaria (LAF1). Posiblemente a un incremento en carbonatos y disminución en bicarbonatos.

Figura 2-43 Comportamiento de la conductividad promedio en el centro de la laguna secundaria



En la figura 2-43, se observa que la conductividad en la laguna secundaria varía desde 773 $\mu\text{S/cm}$ en la superficie, 815 $\mu\text{S/cm}$, a 1,0 metro de profundidad y 807 $\mu\text{S/cm}$ a 1,8 metros; es decir, de 42 $\mu\text{S/cm}$.

- **pH**

La tabla 2-70 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 0,2 metros de profundidad.

Tabla 2-70. pH del agua en el centro de la laguna primaria a 0,2 m de profundidad, Unidades de pH.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	8,2	8,7	8,3	8,0
Martes	7,4	7,7	7,7	7,2
Miércoles	8,8	9,5	9,6	8,5
Jueves	6,7	6,8	6,3	6,6
Viernes	6,8	6,9	6,4	6,7
Media	7,6	7,9	7,7	7,4
Rango	6,7 - 8,8	6,8 - 9,5	6,3 - 9,6	7 - 8,5

La tabla 2-71 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 1 metros de profundidad.

Tabla 2-71. pH del agua en el centro de la laguna primaria a 1 m de profundidad, Unidades de pH.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	8,3	8,3	7,7	7,6
Martes	7,5	7,1	7,1	6,8
Miércoles	8,6	8,9	8,0	8,3
Jueves	7,1	6,4	6,7	6,0
Viernes	7,2	6,5	6,8	6,1
Media	7,7	7,4	7,3	7,0
Rango	7,1 - 8,6	6,4 - 8,9	6,7 - 8,0	6 - 8,3

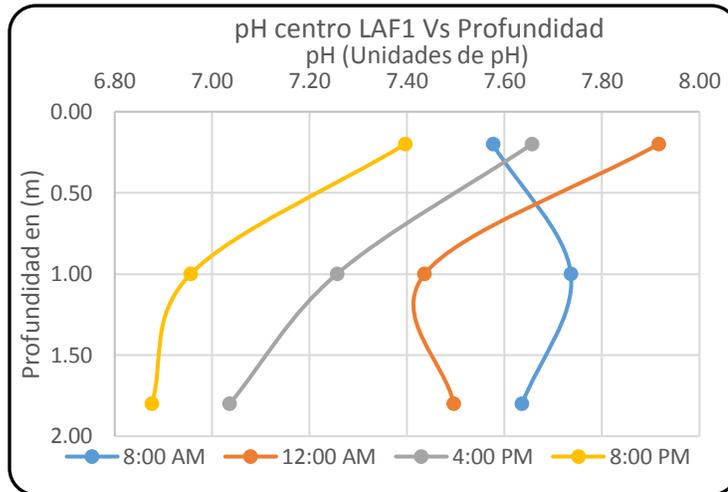
La tabla 2-72 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativa 1 (L.A.F.1) a 1,8 metros de profundidad.

Tabla 2-72. pH del agua en el centro de la laguna primaria a 1,8 m de profundidad, Unidades de pH.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	8,2	8,1	7,7	7,4
Martes	7,4	7,1	6,7	6,7
Miércoles	8,5	8,0	7,9	7,5
Jueves	7,0	7,1	6,4	6,4
Viernes	7,1	7,2	6,5	6,5
Media	7,6	7,5	7,0	6,9
Rango	7,0 - 8,5	7,1 - 8,1	6,4 - 7,9	6 - 7,5

Las figuras 2-44 y 2-45 muestran el comportamiento del pH del agua en el centro de la laguna primaria, laguna aireada facultativas 1 (LAF1).

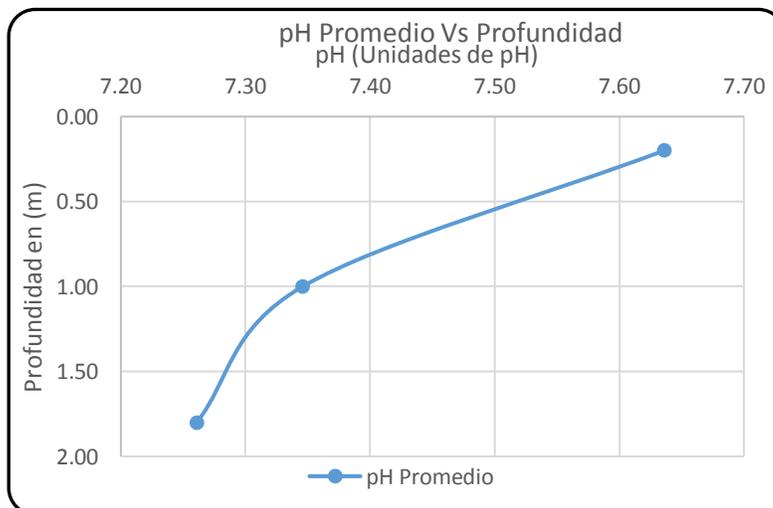
Figura 2-44 Comportamiento del pH en el centro de la laguna primaria



El análisis del gráfico muestra que el pH en la capa superior registra un promedio de 7,6 unidades de pH, con un máximo valor de 9,6 unidades de pH en horas del mediodía y mínimo de 6,3 unidades de pH en horas de inicio de la noche; a una profundidad de 1 metro el promedio es de 7,3 unidades de pH, presentando el máximo

valor de 8,9 unidades de pH en horas de la mañana y mínimo de 6 unidades de pH en horas de la noche; a una profundidad de 1,8 metros se registra promedio de 7,3 unidades de pH con un valor máximo de 8,5 unidades de pH en horas de la mañana y mínimo de 3,4 en horas del inicio de la noche.

Figura 2-45 Comportamiento del pH promedio en el centro de la laguna primaria



En la figura 2-45, se observa que el pH en la laguna primaria varía así: 7,6 unidades de pH en la superficie, 7,3 unidades de pH a 1,0 metro de profundidad y 7,26 unidades de pH a una profundidad de 1,8 metros; es decir la variación es de sólo 0,34 que no es significativa.

La tabla 2-73 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 0,2 metros de profundidad.

Tabla 2-73. pH del agua en el centro de la laguna secundaria a 0,2 m de profundidad, Unidades de pH.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	8,4	7,3	8,2	8,1
Martes	7,6	8,7	7,4	7,1
Miércoles	8,8	9,3	8,9	8,4
Jueves	7,1	7,6	6,6	6,7
Viernes	7,2	7,7	6,7	6,8
Media	7,8	8,1	7,6	7,4
Rango	7,1 - 8,8	7,3 - 9,3	6,6 - 8,9	7 - 8,4

La tabla 2-74 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 1 metros de profundidad.

Tabla 2-74. pH del agua en el centro de la laguna secundaria a 1 m de profundidad, Unidades de pH.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	8,2	7,8	7,7	7,6
Martes	7,2	7,2	6,9	6,7
Miércoles	9,3	8,5	8,1	7,6
Jueves	6,0	6,4	6,4	6,5
Viernes	6,1	6,5	7,2	6,7
Media	7,4	7,3	7,3	7,0
Rango	6,0 - 9,3	6,4 - 8,5	6,4 - 8,1	6 - 7,6

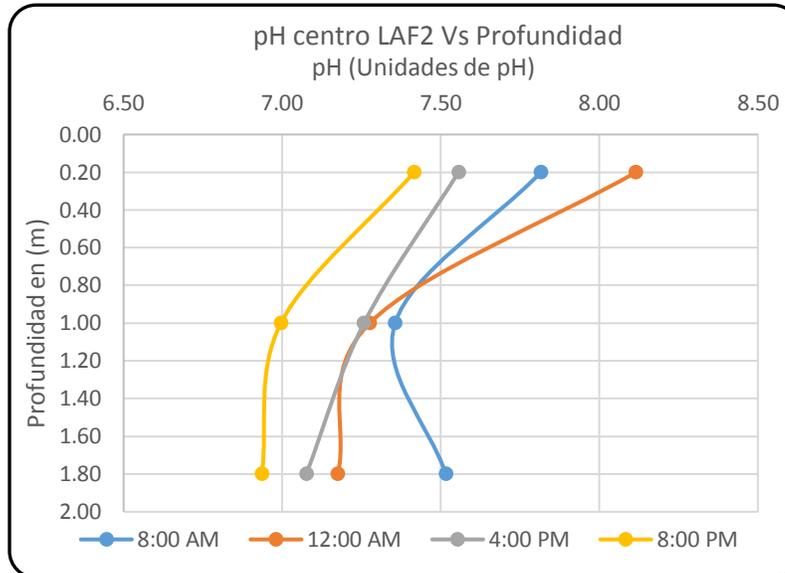
La tabla 2-75 muestra los valores obtenidos en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativa 2 (L.A.F.2) a 1,8 metros de profundidad.

Tabla 2-75. pH del agua en el centro de la laguna secundaria a 1,8 m de profundidad, Unidades de pH.

Día	Hora			
	8:00 AM	12:00 AM	4:00 PM	8:00 PM
Lunes	8,1	7,7	7,6	7,4
Martes	7,3	7,1	6,8	6,8
Miércoles	8,5	8,4	7,7	7,8
Jueves	6,8	6,3	6,6	6,3
Viernes	6,9	6,4	6,7	6,4
Media	7,5	7,2	7,1	6,9
Rango	6,8 - 8,5	6,3 - 8,4	6,6 - 7,7	6 - 7,8

Las figuras 2-46 y 2-47 muestran el comportamiento del pH del agua en el centro de la laguna secundaria, laguna aireada facultativas 2 (LAF2).

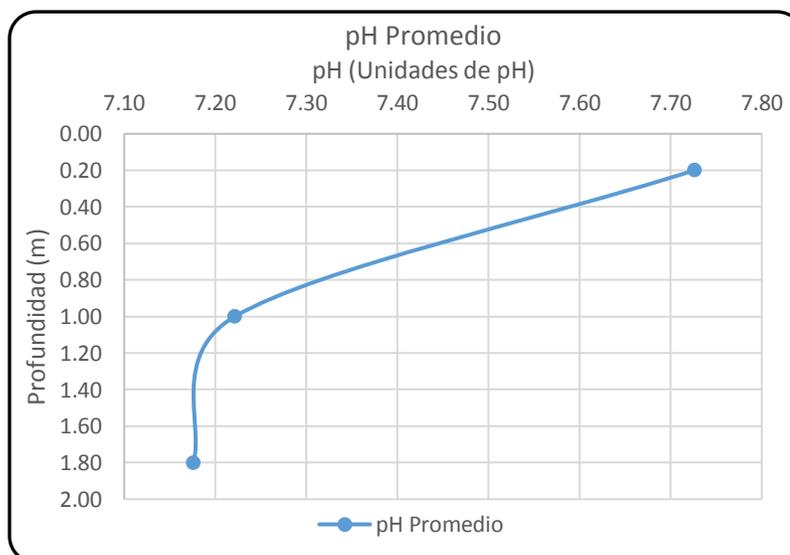
Figura 2-46 Comportamiento del pH en el centro de la laguna secundaria



El análisis del gráfico muestra que el pH cerca de la superficie registra un promedio de 7,7 unidades de pH, con un máximo valor de 9,3 unidades de pH en horas de la mañana y mínimo de 6,6 unidades de pH en horas de inicio de la noche; a una profundidad de 1,0 metro, se registra un promedio de 7,2 unidades de pH,

presentando el máximo valor de 9,3 unidades de pH en horas de la mañana y mínimo de 6 unidades de pH en horas de la noche; a una profundidad de 1,8 metros se registra promedio de 7,18 unidades de pH con un valor máximo reportado de 8,5 unidades de pH en horas de la mañana y mínimo de 6,3 unidades de pH en horas de inicio de la noche.

Figura 2-47 Comportamiento del pH promedio en el centro de la laguna secundaria.



En la figura 2-47, se observa que el pH en la laguna secundaria varía así: 7,7 unidades de pH en la superficie, 7,2 unidades de pH a 1,0 metro de profundidad y 7,18 unidades de pH a una profundidad de 1,8 metros; es decir la variación es de sólo 0,52.

2.2 Eficiencia del sistema de tratamiento

La tabla 2-76 y 2-77 muestran el rendimiento en porcentaje, obtenido en cada una de las lagunas que componen el sistema de tratamiento de la planta.

Tabla 2-76. Eficiencia de remoción para laguna primaria. LAF1, en %.

Parámetro	Fecha del muestreo					Promedio
	10/8/2016	17/08/16	27/10/16	5/12/2016	20/12/16	
DBO ₅	56	55	44	52	46	51
DQO	72	54	58	59	64	61
Sólidos sedimentables	62	49	88	64	68	66
Sólidos susp. totales	90	91	49	72	65	74
Coliformes fecales	-	-	51,67	76,59	72,25	66,84
Coliformes totales	-	-	47,41	77,69	82,56	69,22
Grasas y aceites	42	-	66	58	61	39

Tabla 2-77. Eficiencia de remoción para laguna secundaria. LAF2, en %.

Parámetro	Fecha del muestreo					Promedio
	10/8/2016	17/08/16	27/10/16	5/12/2016	20/12/16	
DBO ₅	38	22	68	51	86	53
DQO	-	56	62	24	74	41
Sólidos sedimentables	56	39	-	30	76	15
Sólidos susp. totales	45	74	30,67	47	79	55
Coliformes fecales	-	-	97,84	99,69	99,49	99
Coliformes totales	-	-	62,68	83,8	83,5	76,66
Grasas y aceites	45	67	49	10	22	39

Tabla 2-78. Eficiencia de remoción del sistema de tratamiento, en %.

Parámetro	Fecha del muestreo					Promedio
	10/8/2016	17/08/16	27/10/16	5/12/2016	20/12/16	
DBO5	76	69	83	79	93	80
DQO	70	80	85	71	91	79
Sólidos sedimentables	85	73	86	78	95	83
Sólidos susp. totales	95	98	68	85	85	86
Coliformes fecales	-	-	99,26	99,95	99,97	99,73
Coliformes totales	-	-	93,98	98,14	98,75	96,96
Grasas y aceites	70	58	83	64	71	69

El sistema de 2 lagunas en serie analizado, satisface remoción de tratamiento mayor de 80% en DBO, SST, SSED, CF, CT; remoción de DQO del 79% y en grasas y aceites del 69%.

2.3 Cargas, tiempos de retención y niveles de potencia.

El tiempo de retención requerido depende del porcentaje de remoción deseado y del valor de la tasa de remoción de DBO, la cual varía entre 0,5 y 0,8 d⁻¹ (RAS 2017).

Las tablas 2-80 y 2-81 muestran las cargas orgánicas y los tiempos de retención de cada una de las lagunas que componen el sistema de tratamiento de agua residual (STAR).

Tabla 2-79. Cálculo de cargas de la laguna Aireada Facultativa 1 (LAF1).

Laguna Aireada Facultativa 1 (LAF1)					
Fecha de muestreo	CO (KgDBO/d)	COS (KgDBO/ha.d)	COV (gDBO/m ³ d)	Tiempo de retención (días)	Nivel de potencia
10/08/16	96	191	8	24	1,18 W/m ³
17/08/16	154	305	12	13	
27/10/16	191	378	15	16	
05/12/16	91	180	7	28	
20/12/16	109	216	9	34	
Promedio	128	254	10	23	

Tabla 2-80. Cálculo de cargas de la laguna Aireada Facultativa 2 (LAF2).

Laguna Aireada Facultativa 2 (LAF2)

Fecha de muestreo	CO (KgDBO/d)	COS (KgDBO/ha.d)	COV (gDBO/m ³ d)	Tiempo de retención (días)	Nivel de potencia
10/08/16	38	75	3	23	0,62 W/m ³
17/08/16	61	122	5	13	
27/10/16	99	197	8	15	
05/12/16	40	78	3	27	
20/12/16	54	107	4	33	
Promedio	59	116	5	22	

En las tablas 2-79 y 2-80 se puede observar que las lagunas funcionan con tiempos de retención superiores a los recomendados por el RAS 2017, de 4 a 10 días para lagunas aireadas facultativas.

Los niveles de potencia instalados son de 1,18 W/m³ en la laguna primaria y de 0,62 W/m³ en la laguna secundaria, valor aceptable para la primaria ya que es mayor a 1 W/m³ pero inferior al recomendable² en la secundaria.

² Reglamento de Saneamiento Básico y Agua Potable RAS 2017. Artículo 196.

2.4 Fuente receptora.

Se toman muestras del agua en la fuente receptora (rio Bogotá), ± 50 metros aguas arriba del vertimiento (N 1051038,8584 E 1030469,8533) y ± 50 metros aguas abajo (N 1050850.965 y E 1030441,4527).

Los resultados se plasman en la tabla 2-81. Tipo de muestra, agua superficial (muestreo simple).

Tabla 2-81. Resultados del análisis en la fuente receptora.

Parámetro	Sitio de muestreo	
	Aguas arriba (12 pm)*	Aguas abajo (15 pm)*
Coliformes fecales, NMP/100mL	810	8.40E+04
Coliformes totales, NMP/100mL	2.40E+03	1.73E+06
DBO, mgO ₂ /L	2	2
DQO, mgO ₂ /L	10	10
Caudal, L/s	6283	6442
Oxígeno disuelto, mgO ₂ /L	5,3	6,7
pH, Unidades	9,96	6,4
Temperatura, °C	16,5	19,6
Temperatura ambiente, °C	14	16
Sólidos suspendidos Totales, mg/L	11	11

* Hora del muestreo

Los resultados de los análisis realizados a la fuente receptora (Tabla 2-81) muestran que el vertimiento no altera las concentraciones de DBO y DQO y mejora la de OD.

3 CONCLUSIONES

El sistema lagunar trabaja con un caudal de operación de 5,17 L/s, menor al caudal de diseño de 6 L/s.

El sistema de tratamiento opera aerobicamente con OD mayor de 1,2 mg/L.

La carga orgánica promedio del sistema lagunar es de 291 y 123 kgDBO/d, respectivamente en cada laguna; la carga orgánica superficial promedio es de 577 y 273 kgDBO/Ha*día respectivamente, valores aceptables para lagunas aireadas.

Los tiempos de retención hidráulica de 23 días son ampliamente satisfactorios para lagunas aireadas, 4 a 10 días según el RAS 2017.

La baja temperatura ambiente registrada en la noche (8.5°C), no altera significativamente la temperatura al interior del cuerpo de agua residual. La temperatura promedio en las lagunas es muy similar, entre 14,6 en la superficie y 13,9 °C a 1,8 m de profundidad.

La temperatura del agua en las lagunas es de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ superior a la temperatura ambiente.

La conductividad oscila entre 773 y 807 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y aumenta gradualmente con la profundidad, debido posiblemente a cambios en la forma de alcalinidad de bicarbonatos a carbonatos.

El pH presentó un comportamiento similar en las dos lagunas, se mantiene entre 7 y 7,4 unidades de pH.

La potencia instalada de $1,18 \text{ W}/\text{m}^3$ en la laguna primaria satisface el criterio de $\geq 1 \text{ W}/\text{m}^3$ del RAS 2017 para lagunas aireadas facultativas. La potencia instalada de $0,62 \text{ W}/\text{m}^3$ en la laguna secundaria no satisface el criterio de $\geq 1 \text{ W}/\text{m}^3$ del RAS 2017 para lagunas aireadas facultativas.

4 Bibliografía

Correa Restrepo, G. (2008). *Evaluación y Monitoreo del Sistema de Lagunas de Estabilización del Municipio de Santa fé de Antioquia*, Repositorio Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

COLOMBIACrites & Tchobanoglous. (2000). *Sistema de Manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados – Tomo 2*. Bogotá: McGraw Hill.

Crites R., Tchobanoglous G. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Mc Graw Hill, Bogotá, Colombia.

Ferrer P. (2008). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales*. Alfaomega, México.

González Leal, G. R. (2012). *Microbiología del agua: Conceptos y Aplicaciones*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.

Metcalf y Eddy (1994). *Ingeniería Sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*. 3ª ed. Labor, Barcelona, España.

Metcalf & Eddy, (2004). *Wasterwater Engineering - Treatment and Reuse -Fourth Edition-*.

MINIAMBIENTE. (17 de marzo de 2015). *Por la 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*. Recuperado el 20 de junio de 2016, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia.
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones#newResoluciones-2015>

MINIAMBIENTE. (18 de marzo de 2016). *Minambiente presenta nueva Norma de Vertimientos que permitirá mejorar la calidad agua del país*. Recuperado el 10 de junio de 2015, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia.
www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1700:minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais

MINIVIENDA. (8 de junio de 2017). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO*. Recuperado el 26 de julio de 2017, de RAS 2017:

[http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.Tratamiento de aguas residuales.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.Tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf)

Romero Rojas, J. A. (2005). *Lagunas de estabilización*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

Romero Rojas, J. A. (2006). *Purificación del agua*. 2 ed. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

Romero Rojas, J. A. (2009). *Calidad del agua*. 3 ed. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

Rolim M., S. (2000). *Sistemas de Lagunas de Estabilización*. Editorial Mc Graw Hill, Bogotá, Colombia, 2000. pp.30 – 38 .

Tchobanoglous, G. (1985). *Aguas Residuales*. Editorial McGraw Hill, México D.F.

Ville Claude, A. (1988). *Biología y Microbiología*. Editorial McGraw Hill, 7ta. Edición revisada, México D.F.

Yáñez F. (1993), *Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento de Lagunas de Estabilización*. Cuenca, Ecuador.

Yáñez F. (1980), *Evaluación de las lagunas de estabilización San Juan, reporte final de la primera fase*. CEPIS. 2da. Edición. Lima, Perú.