

**EVALUACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE
ESTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA FÉ DE ANTIOQUIA,
COLOMBIA**

GLORIA CORREA RESTREPO. Ingeniera Sanitaria

**Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar al título de
Magíster en Ingeniería**

**Director. HERNÁN CUERVO FUENTES. M.Sc Ingeniería
Asesores. ROBERTO MEJÍA RUIZ. M.Sc Ingeniería
NÉSTOR AGUIRRE RAMÍREZ. Dr. Rer. Nat.**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MEDELLÍN
2008**

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	8.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10.
2. HIPÓTESIS	11.
3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	12.
3.1 UBICACIÓN	12.
3.2 GENERALIDADES	13.
3.3 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	13.
3.3.1 Estructura de alivio	14.
3.3.2 Canal de rejillas	14.
3.3.3 Desarenadores	14.
3.3.4 Cámara de cierre y desvío sistema preliminar	14.
3.3.5 Cámara de repartición de caudales	15.
3.3.6 Laguna anaerobia	15.
3.3.7 Lagunas facultativas	15.
3.3.8 Cámara de medición de caudal	15.
3.4 CRITERIOS DE DISEÑO	15.
3.4.1 Población de diseño	16.
3.4.2 Caudales de diseño	17.
3.4.3 Eficiencias esperadas	17.
3.5 Inconvenientes presentados en la planta de tratamiento	18.
4. MARCO TEÓRICO	19.
4.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS POR MEDIO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	21.
4.1.1 Clasificación de las lagunas de estabilización	21.
4.1.2 Ecología de las lagunas anaerobias	23.

4.1.3 Ecología de las lagunas facultativas	27.
4.1.4 Factores de influencia	29.
5. OBJETIVOS	40.
5.1 OBJETIVO GENERAL	40.
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40.
6. METODOLOGÍA	41.
6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	41.
6.2 VARIABLES	41.
6.3 DISEÑO DEL MUESTREO	42.
6.3.1 Caracterización fisicoquímica	42.
6.3.2 Ubicación de las estaciones de muestreo	42.
6.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	42.
7. RESULTADOS	44.
7.1 DATOS DE PRECIPITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	44.
7.2 MUESTREOS	45.
8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	45.
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS	72.
9.1 ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y VELOCIDAD DEL VIENTO	72.
9.2 ANÁLISIS DE VARIABLES OBTENIDAS EN DIVERSOS MUESTREOS	73.
9.2.1 Parámetros fisicoquímicos en afluentes y efluentes de cada unidad	73.
9.2.2 Parámetros fisicoquímicos en los centros de cada laguna	85.
9.2.3 Parámetros fisicoquímicos en afluentes y efluentes de cada laguna cuantificados en los muestreos compuestos	98.
9.2.4 Parámetros fisicoquímicos y biológicos en los centros de cada laguna cuantificados en los muestreos compuestos	102.
9.2.5 Análisis de sulfuros obtenidos en la laguna anaerobia	108.
9.2.6 Caudal en el sistema	113.
9.3 ANÁLISIS DE TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA	116.
9.4 ANÁLISIS DE CARGA DE APLICACIÓN	117.

9.5 ANÁLISIS DE EFICIENCIA EN EL SISTEMA	118.
9.6 COMPARACIÓN CON ALGUNOS PARÁMETROS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL CRUDA	121.
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123.
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127.
ANEXOS	130.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Eficiencias proyectadas	17.
Tabla 2. Composición típica del agua promedio de las aguas residuales domésticas	19.
Tabla 3. Parámetros de diseño típicos para lagunas de estabilización	23.
Tabla 4. Variables, métodos de análisis y sitio de muestreo	43.
Tabla 5. Precipitaciones en zona de estudio	44.
Tabla 6. Resultados estadígrafos de temperatura ambiente y velocidad del viento	46.
Tabla 7. Resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes y efluentes, y centro de la laguna anaerobia (muestreos puntuales)	46.
Tabla 8. Resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en centros de las lagunas facultativas, en los muestreos puntuales	53.
Tabla 9. Resultados estadígrafos para caudales afluentes y efluentes en cada unidad del sistema	57.
Tabla 10. Resultados estadígrafos para el caudal afluente del sistema	59.
Tabla 11. Resultados estadígrafos para el caudal efluente del sistema	60.
Tabla 12. Resultados estadígrafos para variables físicas y químicas por cada Estación del sistema	61.
Tabla 13. Resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema (muestreos compuestos)	62.
Tabla 14. Resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en centros	65.
Tabla 15. Resultados estadígrafos para clorofila "a" en las lagunas facultativas	68.
Tabla 16. Resultados promedios ponderados para sulfuros en la laguna Anaerobia	69.
Tabla 17. % de varianza para cada variable muestreo nictemeral centros	70.
Tabla 18. % de varianza para cada variable muestreo compuesto centros	71.
Tabla 19. % de varianza para cada variable muestreo sulfuros	71.
Tabla 20. % de varianza para clorofila "a" muestreo compuesto	72.
Tabla 21. Distribución porcentual de H ₂ S y HS ⁻	110.
Tabla 22. Tiempo de retención hidráulica en las lagunas	117.
Tabla 23. DBO _u afluente (27 °C)	117.
Tabla 24. Estimación de carga aplicada en cada laguna	117.
Tabla 25. Eficiencia por muestreo realizado	119.
Tabla 26. Eficiencia general del sistema	120.
Tabla 27. Aporte en DBO por S. Suspendidos en el efluente	121.
Tabla 28. Comparación con parámetros de diseño	121.
Tabla 29. Características del agua residual cruda	122.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del municipio de Santa Fe de Antioquia	12.
Figura 2. Esquema general de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa Fe de Antioquia	16.
Figura 3. Diagrama de distribución logarítmica de las especies de sulfuros	26.
Figura 4. Mecanismos de autopurificación en las lagunas facultativas	29.
Figura 5. Precipitaciones en la zona de estudio	45.
Figura 6. Temperatura ambiente en el sistema	72.
Figura 7. Velocidad del viento en el sistema	72.
Figura 8. Temperatura en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema en las diferentes horas del día	73.
Figura 9. Temperatura promedio en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema	75.
Figura 10. Oxígeno disuelto en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema en las diferentes horas del día	76.
Figura 11. Oxígeno disuelto promedio en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema	77.
Figura 12. Conductividad en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema en las diferentes horas del día	78.
Figura 13. Conductividad promedio en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema	80.
Figura 14. Potencial redox en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema en las diferentes horas del día	81.
Figura 15. Potencial redox promedio en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema	82.
Figura 16. pH en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema en las diferentes horas del día	83.
Figura 17. pH promedio en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema	84.
Figura 18. Temperatura en centro de laguna anaerobia	86.
Figura 19. Oxígeno disuelto en centro de laguna anaerobia	86.
Figura 20. Conductividad eléctrica en centro de laguna anaerobia	88.
Figura 21. Potencial redox en centro de laguna anaerobia	88.
Figura 22. Potencial de hidrógeno en centro de laguna anaerobia	90.
Figura 23. Temperatura en centro de laguna facultativa 1	91.
Figura 24. Temperatura en centro de laguna facultativa 2	91.
Figura 25. Oxígeno disuelto en centro de laguna facultativa 1	92.
Figura 26. Oxígeno disuelto en centro de laguna facultativa 2	92.
Figura 27. Conductividad eléctrica en centro de laguna facultativa 1	94.
Figura 28. Conductividad eléctrica en centro de laguna facultativa 2	94.

Figura 29. Potencial redox en centro de laguna facultativa 1	96.
Figura 30. Potencial redox en centro de laguna facultativa 2	96.
Figura 31. Potencial de hidrógeno en centro de laguna facultativa 1	97.
Figura 32. Potencial de hidrógeno en centro de laguna facultativa 2	97.
Figura 33. Sulfatos en afluentes y efluentes	98.
Figura 34. Nitratos en afluentes y efluentes	98.
Figura 35. Nitritos en afluentes y efluentes	99.
Figura 36. Nitrógeno amoniacal en afluentes y efluentes	99.
Figura 37. Ortofosfatos en afluentes y efluentes	99.
Figura 38. Alcalinidad en afluentes y efluentes	99.
Figura 39. Sólidos en afluentes y efluentes	101.
Figura 40. Sólidos sedimentables en afluentes y efluentes	101.
Figura 41. DQO en afluentes y efluentes	102.
Figura 42. DBO ₅ en afluentes y efluentes	102.
Figura 43. Sulfatos en los centros de las tres lagunas	103.
Figura 44. Nitratos en los centros de las tres lagunas	103.
Figura 45. Nitritos en los centros de las tres lagunas	104.
Figura 46. Nitrógeno amoniacal en los centros de las tres lagunas	104.
Figura 47. Ortofosfatos en los centros de las tres lagunas	104.
Figura 48. Alcalinidad total en los centros de las tres lagunas	104.
Figura 49. Sólidos en el centro de la laguna anaerobia	105.
Figura 50. Sólidos en el centro de la laguna facultativa 1	106.
Figura 51. Sólidos en el centro de la laguna facultativa 2	106.
Figura 52. Sólidos sedimentables en los centros de las lagunas	107.
Figura 53. DQO total en los centros de las lagunas	107.
Figura 54. DBO ₅ total en los centros de las lagunas	107.
Figura 55. Clorofila "a" en la laguna facultativa 1	107.
Figura 56. Clorofila "a" en la laguna facultativa 2	108.
Figura 57. Clorofila "a" en el efluente del sistema	108.
Figura 58. Temperatura del agua en la laguna anaerobia (muestreo sulfuros)	109.
Figura 59. Oxígeno disuelto en la laguna anaerobia (muestreo sulfuros)	109.
Figura 60. Potencial redox en la laguna anaerobia (muestreo sulfuros)	109.
Figura 61. pH en la laguna anaerobia (muestreo sulfuros)	109.
Figura 62. Diagrama pE – pH de especies de sulfuros	112.
Figura 63. Caudal afluente y efluente laguna anaerobia y salida sistema (E.S, S.A y S.S)	114.
Figura 64. Caudal lagunas facultativas	114.
Figura 65. Caudal en las estaciones por hora	115.
Figura 66. Caudal promedio por estación	115.
Figura 67. Caudal afluente y efluente de la planta	116.
Figura 68. Carga aplicada en cada laguna	118.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales domésticas puede llevarse a cabo mediante diversos métodos. Estos pueden alternarse de diferentes maneras, lo que ofrecerá como resultado diferentes secuencias de operaciones y procesos. Todos estos se basan en fenómenos físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, casi todas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas se conciben con base en procesos biológicos (Rolim, 2000).

En la búsqueda de soluciones para el tratamiento de las aguas residuales domésticas aplicando tecnología de bajo consumo de energía, dentro de los procesos biológicos, se ha promovido la utilización de las lagunas de estabilización, los procesos anaerobios de alta tasa, los tratamientos primarios de alta eficiencia, las zanjas de oxidación, los filtros percoladores, los humedales naturales y artificiales o combinación de estos procesos (Colombia. OPS, 1999).

La implementación de las lagunas de estabilización en algunos municipios colombianos, es atractiva en términos económicos, pero han producido algunos rechazos por parte de las comunidades aledañas por la generación de malos olores. También se ha detectado mal funcionamiento de las mismas, ocasionado posiblemente por aspectos constructivos y/o de operación y mantenimiento, puesto que se han tenido en la concepción de ser sistemas que pueden trabajar sin ninguna supervisión.

La zona costera colombiana, ha sido una de las que más ha construido lagunas de estabilización. En Antioquia se cuenta con lagunas de estabilización en los municipios de Necoclí, Arboletes, Concepción, La Ceja, Puerto Triunfo y Santa Fe de Antioquia. En los municipios de Puerto Berrío y Maceo están en construcción.

Actualmente existe la necesidad de realizar estudios que analicen el funcionamiento de las lagunas implementadas en nuestro país, para fundamentar los diseños futuros que se efectuarán en otras poblaciones.

De acuerdo con esto, se definió como objetivo central de esta investigación evaluar y monitorear el comportamiento actual del sistema de lagunas de estabilización, utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas del municipio de Santa Fe de Antioquia, para interpretar su funcionamiento en términos hidráulicos y cinéticos, eficiencia en remoción en carga orgánica, al igual que los posibles problemas ambientales asociados con la implementación del mismo. La metodología contempló la obtención de información primaria, mediante muestreos de campo y trabajo de laboratorio. Para ello, se efectuaron mediciones de variables fisicoquímicas y biológicas, incluyéndose seguimiento de 24 horas

para algunas variables. Igualmente se realizó una amplia revisión de información secundaria, principalmente en lo concerniente a caracterizaciones realizadas durante varios años, planos del proyecto y parámetros de diseño.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el año 2002, Colombia contaba con 237 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en 235 municipios, lo que representaba una cobertura de 21% en población. Al finalizar el 2005 el número de plantas aumentó a 401 en 345 municipios, alcanzando una cobertura de 31%, incluyendo 10 sistemas en construcción. Pese a este esfuerzo, que resulta importante, todavía hay 753 municipios sin plantas lo que equivale al 69% de la población del país (Minambiente, 2006).

Los datos anteriores representan para Colombia una alta deficiencia en la cobertura del tratamiento de sus aguas residuales, es por esto que, las corporaciones autónomas han puesto como meta principal, dentro de los programas de descontaminación del recurso hídrico, la promoción y financiación de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales. Esto ha llevado a implementar diversos tipos de tratamiento y como es lógico se han encontrado inconvenientes en su funcionamiento que apenas se comienzan a detectar.

Las lagunas de estabilización es una de las alternativas que más se acerca a reunir condiciones económicas, tanto por su bajo costo como su fácil construcción y operación. En la implementación de esta lagunas, se encuentran algunos problemas de funcionamiento, entre los cuales se aprecian eficiencias de remoción y/o comunidades de organismos presentes no esperados, como resultado en la mayoría de los casos, de concepciones defectuosas del proyecto a nivel de diseño, en cuanto a que muchos de los modelos matemáticos más usuales para el dimensionamiento de lagunas, son únicamente válidos para las condiciones en que fueron desarrollados y las consideraciones hechas, por lo general son idealizadas, como es el caso del diseño de las lagunas facultativas, o también a una aplicación inadecuada de ingeniería a nivel de construcción y de mantenimiento que usualmente es el resultado de falta de supervisión a nivel de operación (Cuervo, en prensa).

La necesidad de realizar estudios que analicen el funcionamiento de las lagunas implementadas en nuestro país, se hace prioritaria, puesto que estos sistemas deberán ser bien fundamentados en diseños futuros, para minimizar de esta manera problemas de funcionamiento y/o impacto ambiental que se percibe en la mayoría de ellos.

En consecuencia, la finalidad de esta investigación fue evaluar y monitorear el comportamiento actual del sistema de lagunas de estabilización utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas del municipio de Santa Fe de Antioquia, de tal forma que permita describirlo con la mejor aproximación y así

interpretar su funcionamiento en términos hidráulicos y cinéticos, eficiencia en remoción en carga orgánica, al igual que los posibles problemas ambientales asociados con la implementación del sistema.

Santa Fe de Antioquia cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, conformada por un sistema de lagunas de estabilización, con una secuencia o tren de tratamiento que incluye una laguna anaerobia que funciona en serie con dos facultativas que operan en paralelo. Hasta el momento no se tiene suficiente información que soporte el funcionamiento actual de las lagunas, pero se tiene conocimiento del malestar que está ocasionando la presencia de olores indeseables desde el momento de su construcción y operación.

Teniendo en cuenta lo anterior se formularon las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo es el comportamiento hidráulico del sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Santa Fe de Antioquia?

¿El comportamiento hidráulico favorece o desfavorece la eficiencia de remoción de carga orgánica?

¿Cuál es el modelo que mejor describe el comportamiento de las lagunas de estabilización?

¿Los parámetros de diseño asumidos en el diseño original están asociados con el comportamiento actual?

¿Hay factores ambientales que favorecen la generación y presencia de olores indeseables en algunos sectores del área de influencia del proyecto?

¿Puede mejorarse el funcionamiento de las lagunas de estabilización del municipio, tendiente a aumentar la remoción de carga orgánica y a minimizar el impacto ambiental que está ocasionando?

2. HIPÓTESIS

Si el modelo aplicado y el comportamiento hidráulico es el que más favorece los procesos de remoción de la materia orgánica en el sistema de lagunas objeto de estudio, entonces el proyecto está bien concebido desde el punto de vista de Ingeniería, por lo tanto, los problemas ambientales asociados con la implementación de ésta alternativa, para el tratamiento de las aguas residuales domésticas del municipio de Santa Fe de Antioquia, no se deben al diseño y construcción del proyecto en sí, sino a factores ambientales propiciados por su localización y/o aspectos de operación y mantenimiento.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

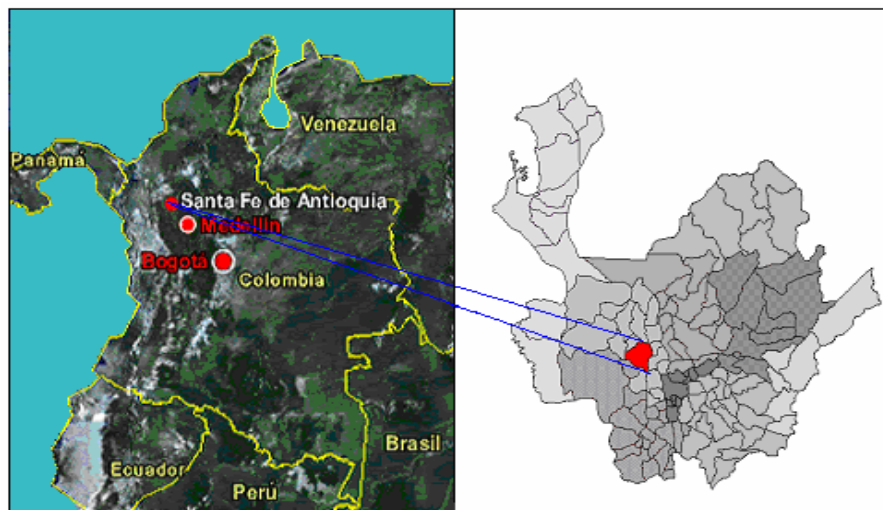
3.1 UBICACIÓN

El municipio de Santa Fe de Antioquia pertenece al occidente del departamento de Antioquia, República de Colombia. Está ubicado a los 60° 34' de latitud norte, 75° 50' de longitud y a una altura sobre el nivel del mar de 550 metros. Tiene una extensión de 493 kilómetros cuadrados aproximadamente, que se extienden desde el río Cauca hasta el ramal Las Alegrías en la Cordillera Occidental. Su distancia a Medellín es de 79 km, por la vía que conduce al mar pasando el Cauca en el puente del Paso Real (Municipios de mi tierra El Mundo, 2000).

En la figura 1 se muestra la ubicación del municipio de Santa Fe de Antioquia.

Santa de Fe de Antioquia limita al norte con los municipios de Giraldo y Buriticá, al oriente con Liborina, Olaya, Sopetrán y Ebéjico, al sur con Caicedo y Anzá y al occidente con Abriaquí (Anuario de Antioquia EL MUNDO, 2004).

Figura 1. Ubicación del municipio de Santa Fe de Antioquia



(tomado de Municipios de mi tierra El Mundo, 2000)

3.2 GENERALIDADES

El relieve de Santa Fe de Antioquia es variado. En las proximidades del río Cauca, las tierras son bajas y cálidas. El occidente del Municipio presenta un relieve abrupto, en un ramal de la cordillera occidental conocido como Las Alegrías con alturas hasta de 3000 metros sobre el nivel del mar. Allí predomina el clima frío. La temperatura promedio del municipio es de 27 °C.

En su territorio se encuentran dos cuencas: la del río Cauca, a la cual vierten sus aguas las quebradas Noque, Cañaverales, Daza, Juanes y La Aguada; y la del río Tonusco, con sus afluentes Pená, Puná, Pescado y Cuajarón. Las principales actividades económicas en el Municipio son: el turismo, agricultura (incluyendo árboles frutales) y ganadería, aunque vale la pena recordar que la minería fue el primer renglón económico que existió en la población.

Santa Fe de Antioquia, la ciudad más antigua del occidente antioqueño, quien fue fundada en el año de 1541, es considerada una ciudad museo, declarada Monumento Nacional por el Congreso de la República, mediante ley 150 de 1960, por su gran importancia histórica. El Municipio actualmente cuenta con una población total de 22.852 habitantes, de los cuales 11.738 viven en la cabecera municipal y 11.114 en el sector rural (Anuario de Antioquia EL MUNDO, 2004).

3.3 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

El predio donde se ha localizado la planta de tratamiento de aguas residuales, es de propiedad del Municipio y se encuentra situado en la margen derecha de la vía que llega de Medellín, entre ésta y el caño La Maquea.

El área es relativamente plana ubicada en la llanura aluvial del caño La Maquea en la cuenca del río Cauca, a una altura sobre el nivel del mar de 550 m. La accesibilidad al lote se puede hacer en carro. Las viviendas más cercanas se encuentran a una distancia de 200 m, donde se localizan los barrios San Judas y Nueva Villa de Santa Fe. En total hay 110 viviendas equivalente a una población entre 450 y 500 habitantes, de la cual 200 son niños.

Debido a su conformación topográfica permitió desarrollar el sistema de tratamiento a gravedad en todas las unidades de tratamiento.

La planta de tratamiento consta de las siguientes estructuras:

3.3.1 Estructura de alivio. Debido a que el sistema de alcantarillado existente y proyectado es combinado, se requiere aliviar los caudales de aguas lluvias que sobrepasen los valores del caudal máximo de diseño de las aguas residuales consideradas; para este propósito se utiliza un vertedero lateral doble. El caudal de diseño para esta estructura es de 125.33 l/s.

La formulación teórica de dichas estructuras de alivio se obtiene de las Normas de Diseño de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín. Para el correcto funcionamiento de la estructura de alivio, se diseñaron los tramos de entrada y salida con régimen supercrítico.

Como consideración adicional de diseño, la caída del caudal vertido es de flujo libre, lo que significa que la diferencia mínima entre la cresta del vertedero y la lámina de agua de la tubería del caudal aliviado será de 0.05 m.

3.3.2 Canal de rejillas. Este canal incluye los siguientes dispositivos:

- **Rejilla gruesa.** Esta rejilla gruesa de limpieza manual, retiene sólidos gruesos mayores de 50 mm.
- **Rejilla fina.** Estructura de limpieza manual que retiene sólidos mayores de 20 mm.

3.3.3 Desarenadores. Se diseñaron tres (3) unidades paralelas: Dos (2) en funcionamiento y una (1) en proceso de limpieza y mantenimiento. Estas unidades están provistas de compuertas y vertederos tipo Sutro para el control de la velocidad de flujo.

3.3.4 Cámara de cierre y desvío sistema preliminar. Después del sistema preliminar se encuentra localizada esta cámara. Su función es la de controlar el flujo hacia las sucesivas unidades de tratamiento, utilizando compuertas que

permiten dirigirlo a la unidad correspondiente o en caso tal desviarlas hacia el caño La Maquea, cuando así sea necesario.

3.3.5 Cámara de repartición de caudales. Esta unidad está localizada después de la cámara de desvío de caudales del sistema de tratamiento preliminar. Su función es proveer de un caudal constante a la siguiente unidad de tratamiento, mediante cuatro (4) líneas de abastecimiento, las cuales cuentan cada una con sus respectivas compuertas de iguales características. Esta cámara también cuenta con una compuerta que permite desviar el flujo hacia el caño La Maquea.

3.3.6 Laguna anaerobia. Existe una (1) laguna anaerobia que tiene de largo 110m, ancho 50m y profundidad 2.5m en su centro, de lámina de agua. El efluente de esta unidad es conducido por una tubería a flujo libre que llega a dos (2) cámaras de conexión a la siguiente unidad de tratamiento. En estas cámaras existen dos (2) vertederos con compuertas para manejar un flujo igual hacia las dos lagunas siguientes.

3.3.7 Lagunas facultativas. Estas unidades (2), que trabajan en paralelo, presentan cada una 133m de largo, 54m de ancho y 1.5m de profundidad (lámina de agua). El efluente de estas lagunas llega a una cámara de medición de caudal para luego ser vertido al caño La Maquea.

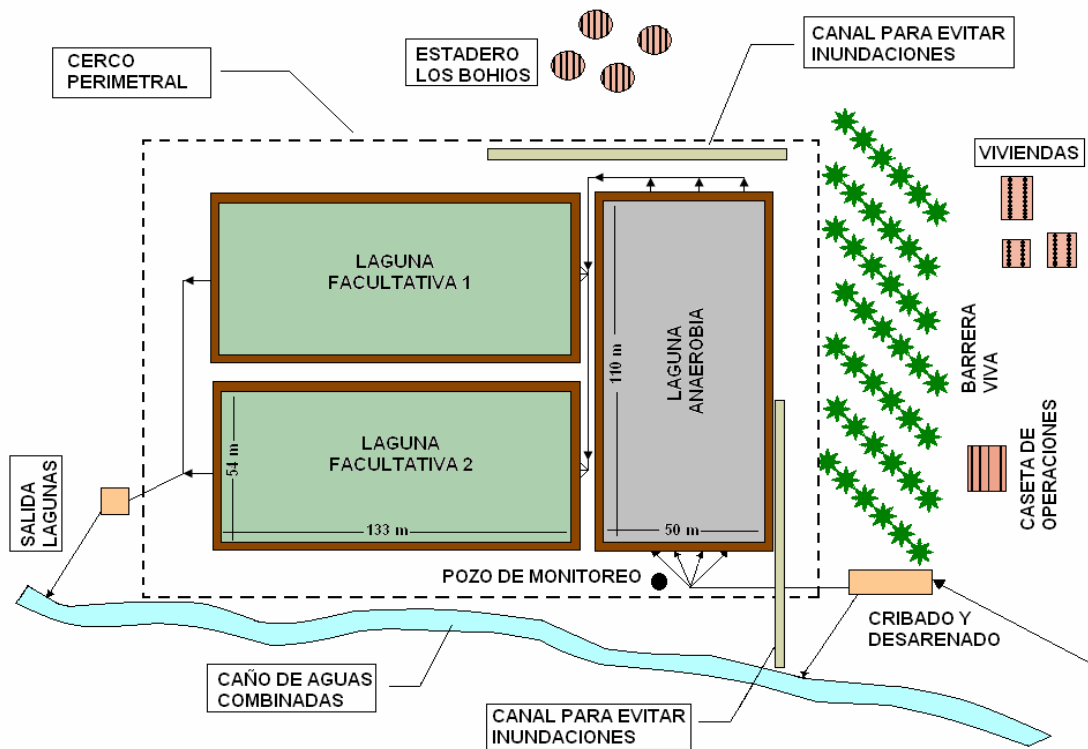
3.3.8 Cámara de medición de caudal. Esta cámara se localiza al final de la planta, para medir el caudal efluente de las lagunas facultativas (Plan Maestro Sistema de Alcantarillado municipio de Santa Fe de Antioquia, Hydra Ingeniería Limitada, 2001).

La figura 2 muestra el esquema general de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa Fe de Antioquia.

3.4 CRITERIOS DE DISEÑO

En año 2001 fueron entregados los diseños de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa Fe de Antioquia, por parte de la empresa Hydra Ingeniería Ltda. En el año 2004 se iniciaron las actividades de arranque del sistema (Colombia. Hydra Ing. Ltda. 2001).

Figura 2. Esquema general de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa Fe de Antioquia.



Las bases de diseño producto de las actividades previas de diagnóstico y de concertación con el Municipio de Santa Fe son las siguientes:

3.4.1 Población de diseño.

Población actual (año 2001)	: 20100 habitantes
Periodo de diseño	: 20 años (año 2021)
Población futura (año 2021)	: 31690 habitantes

3.4.2 Caudales de diseño.

Dotación per cápita de agua potable (2001)	: 280 l/hab/día
Dotación per cápita de agua potable (2021)	: 200 l/hab/día
Factor de mayoración (Qmax/Qmed)	: 2.01 determinado con base en los aforos realizados.
Caudal medio de diseño	: 62.35 l/s
Caudal máximo horario	: 125.33 l/s
Caudal mínimo	: 24.94 l/s
DBO ₅	: 200 mg/l
SST	: 200 mg/l

Tomando como referencia los valores anteriores, se utilizaron los siguientes criterios de diseño para las unidades:

- El tratamiento preliminar se diseñó para el caudal máximo de agua residual (125.33 l/s).
- Las unidades de tratamiento primario (laguna anaerobia) y las de postratamiento (lagunas facultativas) se diseñaron con el caudal medio diario (62.35 l/s).

3.4.3 Eficiencias esperadas. De acuerdo al decreto 1594 de 1994, se esperan las siguientes eficiencias:

Tabla 1. Eficiencias proyectadas

Parámetro	Condición a cumplir
pH	Entre 5.0 y 9.0 unidades
Temperatura	< 40° C
Material flotante	Ausente
DBO ₅	Remoción: 80% en carga
SST	Remoción: 80% en carga
Grasas y/o aceites	Remoción: 80% en carga

(Plan Maestro Sistema de Alcantarillado municipio de Santa Fe de Antioquia, Hydra Ingeniería Limitada, 2001).

3.5 INCONVENIENTES PRESENTADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Durante los primeros ocho meses, en el proceso de arranque y puesta en marcha del sistema se presentaron eventos de inundación de las áreas aferentes a las lagunas. Durante este tiempo se observó el desprendimiento de la geomembrana, tanto en la entrada de la laguna anaerobia como en las boquillas de ingreso del agua a las lagunas facultativas. Para evitar siguientes inundaciones, se construyeron obras perimetrales, pozos de monitoreo y actividades de limpieza del caño que recibe las aguas de la planta (Informe técnico CORANTIOQUIA, 2004).

Desde esta misma época se comenzaron a recibir quejas del sistema, en cuanto a la generación de olores indeseables. Actualmente para mitigar un poco los olores, en la planta de tratamiento se emplea una semilla de microorganismos específicos para el tratamiento anaerobio, ayudando en los procesos de transformación de la materia orgánica allí presente, de acuerdo a las indicaciones de la empresa encargada de dicha tecnología, AMBISA. Estas actividades comenzaron desde el segundo semestre del año 2005, donde se efectuó el proceso de inoculación en forma líquida sobre la superficie de la laguna anaerobia, aplicando 50 litros con una frecuencia de 3 veces por semana y también se incorporaron 200 bolas en forma sólida, las cuales contienen cierta cantidad de lodos de las lagunas (Informe Técnico AMBISA, 2006).

En la actualidad existen procesos por derechos de petición por parte de la comunidad, por los fuertes olores producidos en las lagunas. Este hecho tiene preocupada a las entidades ambientales, considerándose urgente una toma de decisiones que apunten a resolver este problema.

El hecho de contarse con un alcantarillado combinado en el municipio genera un inconveniente más en el tratamiento de sus aguas residuales, porque se pueden presentar sobrecargas hidráulicas en el sistema de tratamiento.

4. MARCO TEÓRICO

La contaminación ambiental es un problema que se ha venido agravando con el tiempo y que debe ser atendido de manera eficaz. El tratamiento de las aguas residuales, es decir, aquellas cuyas características han sido modificadas por diversos usos, es una manera de controlar la contaminación de los cuerpos de agua donde éstas son descargadas, con la finalidad de remover de éstas la mayor cantidad de residuos que pueden causar contaminación y asegurar de esta forma, que el cuerpo receptor tenga una calidad de agua tal que pueda sustentar los usos que se le dé a dicho cuerpo de agua, aguas abajo de la descarga, de acuerdo a la normatividad ambiental vigente (Cárdenas et al., 2005).

Las aguas que provienen de viviendas, edificaciones públicas y otras instalaciones, incluyendo el agua utilizada para limpieza de calles y control de incendios, se denominan aguas residuales domésticas (ARD). La composición de las aguas residuales domésticas es muy variable en razón a la diversidad de factores que la afectan. Entre estos, principalmente, el consumo medio de agua por persona y por día, por cuanto determina, preferentemente, su concentración, y la dieta de la población conjuntamente con el nivel de desarrollo o tamaño de la municipalidad, que caracteriza fundamentalmente su composición química (Cuervo, en prensa).

En la tabla 2 se presenta el rango de valores de los principales parámetros en los que normalmente fluctúa la composición de las aguas residuales domésticas.

Tabla 2. Composición típica promedio de las aguas residuales domésticas

Parámetro	Rango	Valor promedio	Valor promedio estrato medio en Colombia
pH, unidades	6.5 - 7.5	7.1	7.2
DBO ₅ , mg/l	90 - 450	230	265
DQO, mg/l	170 - 850	450	415
Grasas y aceites	50 - 180	70	80
Fósforo total, mg/l P	2 - 12	8	5
Nitrógeno total, mg/l N	12 - 90	45	28
Sólidos susp. totales, mg/l	150 - 450	230	268
Sólidos susp. volátiles, mg/l	75 - 340	175	201
Sólidos sedimentables, ml/l	3 - 12	8	6
Cloruros, mg/l	25 - 80	35	28
Sulfatos, mg/l	15 - 40	25	25
Aporte DBO ₅ , g/(hab. día)	40 - 65	50	54
Aporte DQO, g/(hab. día)	60 - 110	98	96
Aporte SS, g/(hab. día)	45 - 80	68	62

(Tomado del documento Cuervo, en prensa).

El tratamiento de las aguas residuales puede llevarse a cabo mediante procesos físicos, químicos o biológicos. Los mecanismos de tratamiento pueden ser alternados de diferentes maneras, lo que inevitablemente dará como resultado diferentes secuencias de operaciones y procesos o trenes de tratamiento. Específicamente, el tratamiento de las aguas residuales domésticas, se realiza en dos o tres etapas: Tratamiento físico, denominada también primera etapa o tratamiento primario, tratamiento biológico, denominada también segunda etapa o tratamiento secundario y tratamiento avanzado, denominada también tercera etapa o tratamiento terciario. Esta última etapa se considera como algo fuera de lo común para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, siendo más comúnmente utilizadas la primera y la segunda etapa (Rolim, 2000).

En la primera etapa, se preparan las aguas residuales domésticas para que puedan recibir un tratamiento posterior, sin perjudicar los equipos mecánicos, obstruir tuberías o causar depósitos permanentes en las estructuras de tratamiento o la presencia de materiales flotantes que crean un aspecto estético y ambiental desagradable. A este tratamiento se le denomina preliminar y comúnmente incluye un cribado y una cámara desarenadora. Luego de pasar por este proceso se eliminan los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante, y por tanto, se reduce el contenido de sólidos suspendidos y la carga orgánica. Dentro de las alternativas factibles de implementar para dicha remoción, son: sedimentador primario convencional, sedimentador primario de alta tasa, laguna de estabilización primaria y reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (RAMLFA) (Cuervo, en prensa).

El efluente de la primera etapa pasa luego al tratamiento secundario, que usualmente es un tratamiento biológico, debido a que las aguas residuales domésticas responden favorablemente a dicho tratamiento. La finalidad de este tratamiento, es remover la DBO soluble que escapa al tratamiento primario, además de un porcentaje adicional de sólidos suspendidos (SS). Estas remociones se realizan fundamentalmente por medio de microorganismos, que realizan las mismas reacciones y transformaciones que ocurrieran en un cuerpo receptor, cuando éste tiene una cierta capacidad asimilativa. Un tratamiento secundario de tipo biológico puede concebirse para remover aproximadamente entre un 70% y un 95% de la DBO soluble y los SS (Cuervo, en prensa).

Dentro de la gama de procesos biológicos es factible implementar: Lodos activados de tipo convencional y sus modificaciones, lagunas aireadas, Biodiscos, filtro percolador, RAMLFA, humedales y lagunas de estabilización.

Los tratamientos biológicos se clasifican en aerobios, anaerobios y facultativos. En el primer caso se requiere de la presencia de oxígeno disuelto en el medio; en el segundo caso el oxígeno está ausente; y en el tercero se pueden presentar las dos situaciones (Metcalf y Eddy, 1998).

Entre las técnicas de bajo costo utilizadas en los tratamientos biológicos para depurar las aguas residuales domésticas, ha sido las lagunas de estabilización. El lagunaje ha pasado en pocos años a convertirse en la elección prioritaria, para muchos países, incluso aplicadas en diversas condiciones climáticas, teniendo un recorrido de implantación desde los trópicos hasta Alaska (España. MOPT, 1991).

4.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS POR MEDIO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Las lagunas de estabilización son lugares de almacenamiento de aguas residuales, relativamente grandes y de poca profundidad, provistas de estructuras en tierra abiertas al sol y al aire y cuyo fin es el de lograr el tratamiento de las aguas residuales a través de procesos naturales, pero controlados (Metcalf y Eddy, 1998).

En la implantación de esta tecnología se han definido como objetivos fundamentales, remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación en la fuente receptora y eliminar los microorganismos potencialmente patógenos que representan un grave peligro para la salud. Aunque en muchas ocasiones se presenta un tercer objetivo y es utilizar su efluente con otras finalidades, como agricultura o piscicultura (España. MOPT, 1991).

La laguna de estabilización es aparentemente un método simple de tratamiento de las aguas residuales pero los mecanismos de purificación involucrados son complejos. Estos involucran procesos de sedimentación, digestión, oxidación, síntesis, fotosíntesis, respiración endógena, intercambio de gases, aireación, evaporación, corrientes térmicas y filtración (Rolim, 2000).

4.1.1 Clasificación de las lagunas. Existen varias formas de clasificar las lagunas. De acuerdo con el contenido de oxígeno, pueden ser: aeróbicas, anaeróbicas y facultativas. Si el oxígeno es suministrado artificialmente con aireación mecánica o aire comprimido se denominan aireadas. Con base en el lugar que ocupan respecto a otros procesos, las lagunas pueden clasificarse como: primarias o de aguas residuales crudas, secundarias, si reciben efluentes de otros procesos de tratamiento y de maduración, si su propósito fundamental es reducir el número de organismos patógenos (Cuervo, en prensa).

Las lagunas aeróbicas que han sido también referidas como fotosintéticas, son estanques de profundidad reducida (0.5 a 1.0 m) y diseñadas para una máxima producción de algas. En estas lagunas se mantienen condiciones aeróbicas a todo nivel y tiempo, y la reducción de materia orgánica es efectuada por acción de organismos aerobios. Estas unidades han sido utilizadas preferentemente para propósitos de producción y cosecha de algas y su uso en tratamiento de desechos no es generalizado (Colombia. OPS, 1999).

Las lagunas anaeróbicas son reservorios de mayor profundidad (2.5 a 5.0 m) y reciben cargas orgánicas más elevadas, de modo que la actividad fotosintética de las algas es suprimida, encontrándose ausencia de oxígeno en todos sus niveles. En estas condiciones, estas lagunas actuarán como un digestor anaeróbico abierto sin mezcla y debido a las altas cargas orgánicas que soportan, el efluente contiene un alto porcentaje de materia orgánica que requiere de otro proceso adicional para complementar el tratamiento.

Las lagunas facultativas son estanques de profundidad más reducida (1.5 a 2.5 m), en las cuales la actividad fotosintética de las algas ejerce un papel preponderante en la capa superior, al mantener un cierto nivel de oxígeno disuelto que varía de acuerdo a la profundidad y hora del día. En zona del fondo se depositan los sólidos suspendidos que sufren un proceso de reducción por estabilización anaerobia.

Las lagunas de maduración o pulimento son estanques cuya altura está entre 0.5 y 1.0 m, son utilizadas como procesos de tratamiento terciario y diseñadas con el propósito exclusivo de reducir los organismos patógenos (Cuervo, en prensa).

De todos los procedimientos de diseño de procesos de tratamiento biológicos, quizá sea el menos definido el de las lagunas de estabilización. Por ello, son numerosos los métodos que aparecen en la bibliografía y cuando se comparan los resultados obtenidos por cada uno de ellos son muchas las diferencias que se encuentran. Sin embargo, existen factores comunes que inciden en su funcionamiento, como son: la carga orgánica por unidad de área, la temperatura y patrones de viento, tiempo de detención real, dispersión y características de mezcla, energía solar, características de sólidos en el efluente, cantidad disponible de nutrientes esenciales para el metabolismo microbial.

La tabla 3 incluye datos típicos sobre los parámetros de diseño para los distintos tipos de lagunas (Cuervo, en prensa).

Tabla 3. Parámetros de diseño típicos para lagunas de estabilización

Parámetro	Tipo de lagunas				
	Aerobia	Facultativa	Maduración	Anaerobia	Aireada
1. Régimen de flujo	M.I	....	M.I	....	C.M
2. Tamaño de laguna (ha)	0,25 - 1,0	1.0 - 4.0(*)	1 - 4,0	0,2 - 1 (*)	1 - 4 (*)
3. Operación	serie	serie o paralelo	serie o paralelo	serie o paralelo	serie o paralelo
4. Tiempo de retención (días)	4.0 - 6.0	7,0 - 10,0	5.0 - 20	10.0 - 20.0	3.0 - 10
5. Profundidad (m)	0.30 - 0.50	1.8 - 2.5	1.0 - 1.5	2.5 - 5.0	3.0 - 5.0
6. pH	6.5 - 10.5	6.5 - 9.0	6.5 - 10.5	6.8 - 7.2	6.5 - 8.0
7. Carga de DBO ₅ (Kg/ha.d)	80 -160	200 - 400 +	15 - 60	400 - 1200	800 - 1500
8. Conversión de la DBO ₅	80 - 95	80 - 95	60 - 80	40 - 80	80 - 95
9. Sólidos susp. efluente (mg/l)	150 - 300 ^a	40 - 100 ^a	10 - 30 ^a	80 - 160	80 - 250 ^a

M.I = mezclado Intermitente

(*) = múltiples

+ = aumentando la altura hasta 2.5 m puede ampliarse hasta 400

^a = incluye algas, microorganismos y sólidos suspendidos residuales del afluente

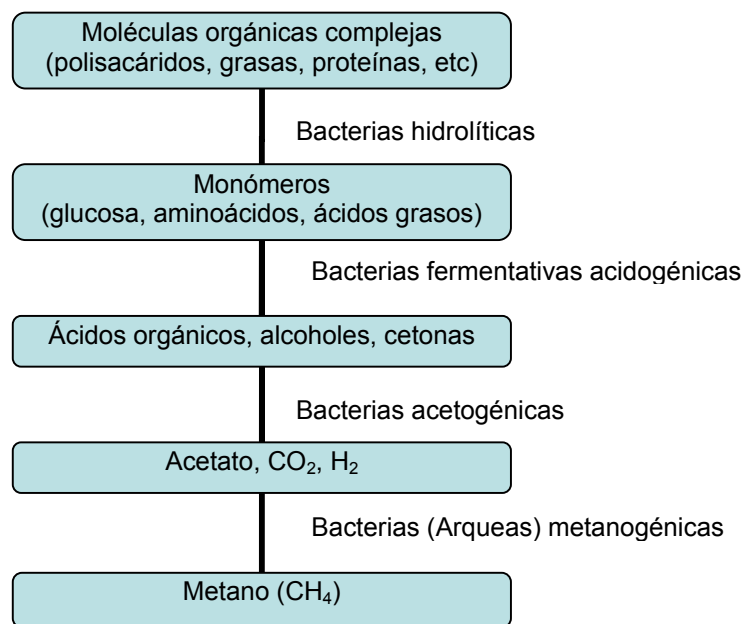
C.M = completamente mezclado

4.1.2 Ecología de las lagunas anaerobias. La laguna anaerobia es un biorreactor que combina la sedimentación de sólidos y su acumulación en el fondo, con la flotación de materiales del agua residual en la superficie y con biomasa activa suspendida en el agua residual o adherida a los lodos sedimentados y a la nata flotante. Una laguna anaerobia puede considerarse como un proceso anaerobio de tasa baja, en el cual la materia orgánica es estabilizada mediante su transformación en dióxido de carbono y metano. Usualmente son abiertas a la atmósfera, pero podrían cubrirse para recoger el metano producido y para controlar la emisión de olores (Romero, 2005).

Aunque existe una transferencia atmosférica de oxígeno en la capa superior, la laguna anaerobia recibe cargas orgánicas altas que hacen que su contenido sea anaerobio y que no exista crecimiento algal que produzca oxígeno, es decir, una laguna puede ser mantenida en condiciones anaeróbicas por la aplicación de una carga de DBO que exceda la producción de oxígeno por actividad fotosintética. La fotosíntesis puede reducirse, disminuyendo el área superficial e incrementando la altura. Las lagunas anaerobias pueden tornarse turbias debido a la presencia de sulfuros metálicos reducidos. Esta restricción en la penetración de la luz hace que el crecimiento de algas sea reducido (Cuervo, en prensa).

Normalmente existen dos etapas de descomposición anaerobia: en la primera de ellas conocida como fermentación ácida, los materiales orgánicos complejos, incluyendo grasa, proteínas y polisacáridos son desdoblados principalmente en ácidos y alcoholes de cadena corta, utilizando el oxígeno de la materia orgánica o el que se encuentra en aniones ricos en oxígeno, tales como los sulfatos. Los subproductos son gas carbónico (CO_2), hidrógeno (H_2), ácidos orgánicos, ácido sulfhídrico (H_2S) y otros gases malolientes. Los ácidos orgánicos se pueden acumular o servir de alimento para posterior oxidación. En la segunda etapa conocida como fermentación del metano, esos materiales son convertidos a gases principalmente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) (Cuervo, en prensa).

La actividad sinérgica de los diferentes grupos de bacterias involucradas en la digestión anaerobia de la materia orgánica se puede representar así:



Fuente: Romero, 2005

A diferencia de lo que ocurre con la fase acidogénica, hay pocos microorganismos capaces de desarrollar la actividad metanogénica, su metabolismo es más lento y además, son mucho más sensibles a distintas condiciones ambientales que se puedan presentar. Las bacterias Arqueas metanogénicas son anaerobias estrictas, es decir, mueren en presencia de oxígeno disuelto. Por otra parte, estas bacterias son también muy sensibles al pH. Puesto que existe una fase donde se están produciendo ácidos, si no existe en el medio un número adecuado de bacterias metanogénicas que transformen estos productos, y se produce su acumulación, el

pH disminuye. Se estima que para valores de pH inferiores a 6.8 la actividad metanígena comienza a presentar problemas, y que por debajo de pH=6.2 se detiene completamente. Cuando esto ocurre se liberan no sólo ácidos orgánicos que pueden tener olores desagradables, sino otros compuestos como ácido sulfhídrico, mercaptanos o escatol, que son los responsables principales de los olores que indican funcionamientos deficientes en las lagunas anaerobias (España. MOPT, 1991).

De acuerdo a lo anterior, el mayor problema que presentan las lagunas anaerobias es el olor, dependiendo esta variable del pH y del proceso de oxido- reducción que allí se presenta.

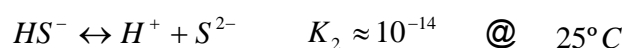
Como ya se mencionó anteriormente, uno de los gases que pueden ser emitidos en una laguna anaerobia hacia la atmósfera, es el ácido sulfhídrico (H_2S), con el olor identificado a huevos podridos. Este compuesto resulta, principalmente, de la reducción bacteriana del ión sulfato (SO_4^{2-}) existente en el agua. La bacteria reductora *Desulfovibrio* utiliza el sulfato como aceptador inorgánico de hidrógeno y produce una gran cantidad de sulfuros en un medio anaeróbico. Los sulfuros así formados se oxidan a otras formas del azufre, dependiendo de las condiciones de oxígeno, pH y microorganismos presentes en el agua.

En esta transformación se pueden presentar las diferentes especies del sulfuro como son el ión sulfhídrico (HS^-), que puede formarse por la disociación reversible del sulfuro de hidrógeno disuelto; es la combinación de un ión positivo de hidrógeno y el ión bivalente negativo del sulfuro. También se encuentra el ión sulfuroso (S^{2-}), que puede formarse por una segunda disociación del sulfuro de hidrógeno del agua. Básicamente está constituido por azufre elemental con dos electrones adicionales (Metcalf y Eddy, 1985).

En medio acuoso el equilibrio del sulfuro soluble, está representado por las siguientes ecuaciones:



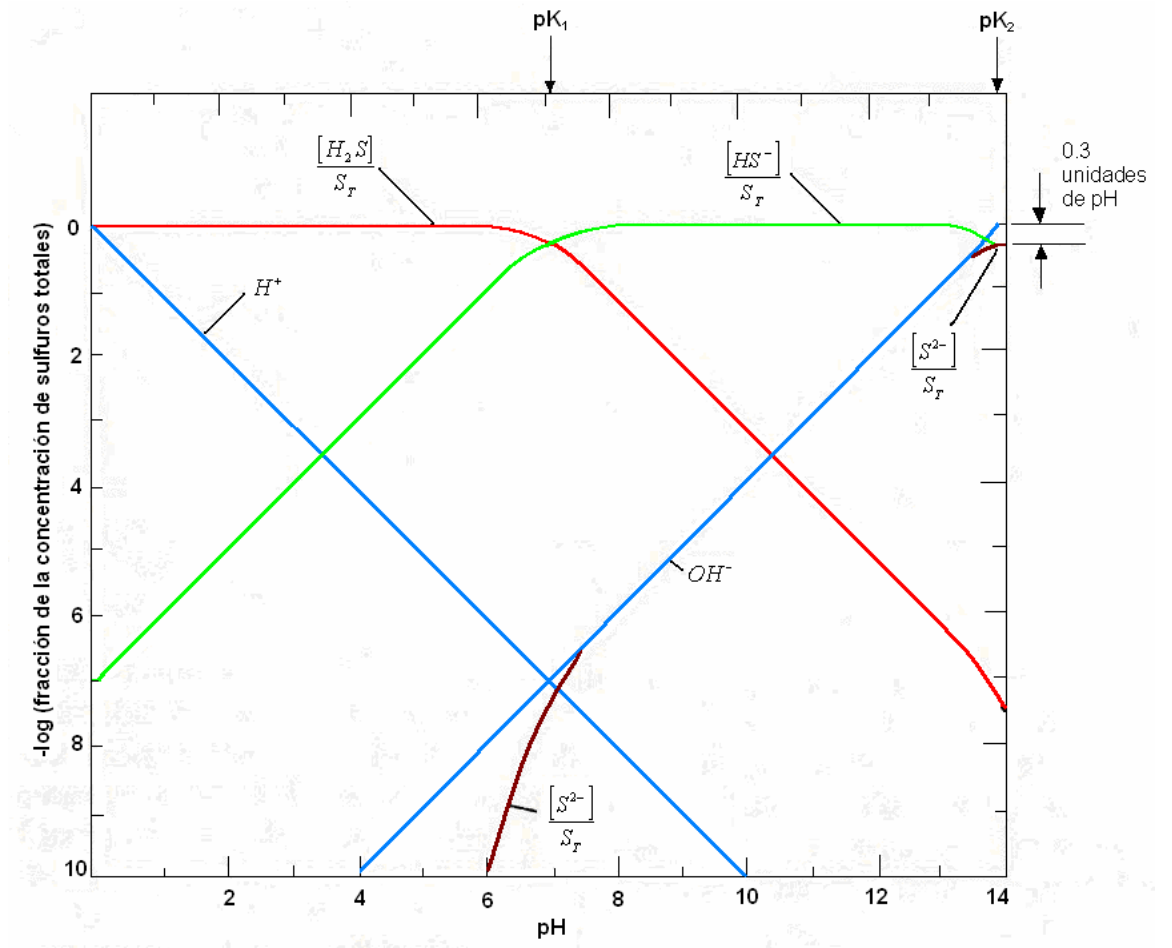
$$\frac{[H^+] \cdot [HS^-]}{[H_2S]} = K_1$$



$$\frac{[H^+][S^{2-}]}{[HS^-]} = K_2$$

De acuerdo al equilibrio del sulfuro soluble, existen relaciones bien definidas entre las concentraciones de las diversas especies solubles de sulfuro y el pH. Cuando se desarrollan estas ecuaciones se obtiene el diagrama de distribución logarítmica de la siguiente figura.

Figura 3. Diagrama de la distribución logarítmica de las especies solubles de sulfuros.



(Tomado de Metcalf y Eddy, 1985)

Con un pH comprendido entre 6.5 a 8.0 en agua residual, generalmente se encuentra las formas $H_2S_{(ac)}$ y HS^- (de acuerdo al diagrama). Es así como se puede determinar la forma de sulfuro presente en función del pH, calculando la distribución porcentual de la especie en el diagrama.

La transferencia de H_2S a la fase gaseosa depende de la concentración de H_2S disuelto en el agua y está influenciado por el pH. Para unas condiciones dadas se llega a alcanzar una concentración de sulfuro de hidrógeno de equilibrio, de manera que las pérdidas de la fase acuosa se igualen a la producción por la película biológica (Metcalf y Eddy, 1985).

Las lagunas anaerobias son utilizadas normalmente como primera fase en el tratamiento de aguas residuales urbanas con alta carga orgánica y alta temperatura. Cuando se usan como unidades de pretratamiento, el porcentaje de reducción en la carga del desecho es más importante que la calidad del efluente, siendo necesario dar un tratamiento adicional antes de descargar el desecho, generalmente se dispone a trabajar en serie con lagunas facultativas y de maduración (Yáñez, 1982).

4.1.3 Ecología de las lagunas facultativas. Las bacterias y las algas son los dos componentes biológicos principales de las lagunas facultativas y su interacción constituye el efecto ecológico más importante sobre el proceso de autopurificación. Estas constituyen un sistema de tratamiento bioquímico de crecimiento suspendido, sin recirculación de sólidos sedimentados. El crecimiento algal representa, por una parte, el suministro adecuado de oxígeno fotosintético para la actividad aerobia bacteriana y, por otra, la necesidad de removerlas del efluente para impedir que aumenten su concentración de sólidos suspendidos y de materia orgánica biodegradable. La población algal se representa usualmente por la concentración de clorofila "a".

Las variaciones locales en radiación solar debidas a la latitud, elevación y nubosidad, influyen sobre el diseño de una laguna de estabilización. Además la penetración de la luz solar y la disponibilidad de CO_2 determinan la porción de volumen de laguna con producción algal de oxígeno. En las lagunas facultativas la porción inferior es anaerobia y la porción superior es aerobia. La porción aerobia recibe oxígeno de la actividad fotosintética algal y de la reaeración superficial existente a través de la interfaz aire-líquido. Las variaciones de la cantidad de luz incidente producen cambios considerables en las condiciones de una laguna facultativa (Romero, 2005).

Cuando existe suficiente cantidad de energía solar y de nutrientes, junto con condiciones ambientales como temperatura, normalmente se desarrollan crecimientos de algas en la superficie de la laguna. Las algas utilizan los

subproductos de la oxidación bacteriana tales como: gas carbónico, fosfatos y amoníaco; al hacerlo producen oxígeno. Este oxígeno producido (normalmente en la capa de agua cercana a la superficie) puede ser accesible a todas las bacterias de la laguna si se tiene una mezcla adecuada (ver mecanismos de autopurificación en figura 4). La parte suspendida forma depósitos de lodos en el fondo que se descomponen por mecanismos anaerobios (Cuervo, en prensa).

Cuando no existe luz solar, algunas algas son capaces de ejecutar metabolismo quimiosintético como las bacterias y, por lo tanto, requieren oxígeno para el proceso de oxidación. Por otra parte, las algas pueden padecer metabolismo endógeno para obtener energía mediante la descomposición de su propio protoplasma (Romero, 2005).

Dependiendo de la carga orgánica de una laguna, la comunidad microbial varía. En general, los microorganismos de las lagunas son los mismos de los demás sistemas de tratamiento, principalmente bacterias y protozoos, sin embargo, los seres vivos más adaptados al medio serán los microorganismos facultativos, que pueden sobrevivir en las condiciones cambiantes de oxígeno disuelto típicas de estas lagunas a lo largo del día y del año (España. MOPT, 1991).

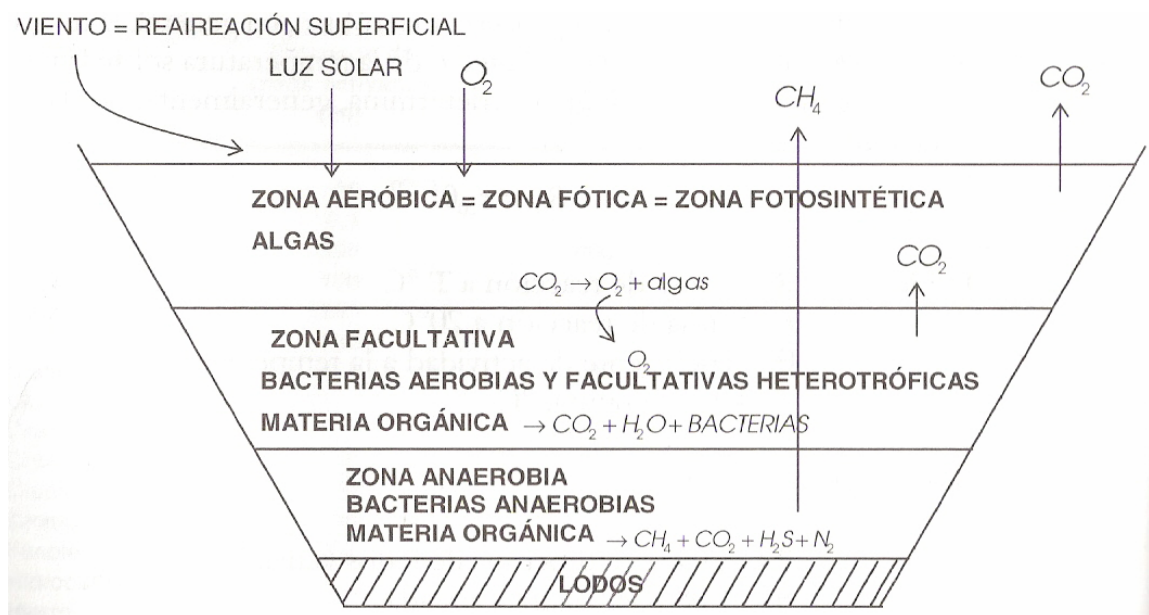
A diferencia de lo que ocurre con las lagunas anaerobias, el objetivo perseguido en las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido de nutrientes y bacterias coliformes (España. MOPT, 1991).

En una laguna de estabilización generalmente se lleva a cabo la remoción de microorganismos patógenos (virus, bacterias, protozoarios y helmintos) debido a la permanencia prolongada de los organismos dentro del reactor, que favorecen la muerte natural. En el caso de los helmintos su remoción generalmente se realiza mediante sedimentación según Romero (2005) y Amahmid et al ((2002). Más sin embargo, los estudios existentes en la cuantificación de patógenos presentan hoy grandes vacíos, porque existe polémica por parte de algunos investigadores en cuanto a que las bacterias utilizadas como indicadores de la presencia de patógenos en agua, sean las más ideales para detectarlos, como lo menciona Toze (1999) y Guastadisegni et al (2002). Incluso se ha encontrado en un sistema consistente de lagunas facultativas, maduración y pulimento, un efluente con quistes de *Giardia* de concentración cuatro veces por encima de lo permitido en la norma estadounidense para la reutilización del agua, aunque el análisis bacterial no indicaba la existencia de éstos (Quintero et al, 1998).

En la remoción de patógenos existe un modelo simple en la desinfección por acción de la luz solar, observándose que la inactivación de *Escherichia coli*,

alrededor del 75% del total, es atribuido a este fenómeno (Craggs *et al.*, 2004). También se determina que la inactivación de bacteria Coliforme fecal, Enterococo fecal, Coliphage F⁺, Coliphage somatic y huevos de Ascaris, puede ser realizada usando constantes de velocidad de primer orden de 0.001, 0.001, 0.001, 0.1 y 0.1 d⁻¹ respectivamente y el promedio per cápita de velocidad de acumulación de lodo está en el rango 0.021 a 0.036 m³/persona/año (Nelson *et al.*, 2004).

Figura 4. Mecanismos de autopurificación en lagunas facultativas



(Tomado de Romero, 2005)

4.1.4 Factores de influencia. La eficiencia de una laguna, medida como el grado de estabilización de la materia orgánica que entra, es dependiente no sólo de la cinética de los procesos biológicos, sino también, de las características hidráulicas del sistema. El comportamiento hidráulico y biológico de todas las lagunas de estabilización es afectado por diferentes factores, algunos son controlables por el hombre y otros no. Sin embargo, todos deben ser tenidos en cuenta en el diseño del proyecto, cuidando de minimizar el impacto ambiental que pueden ocasionar los factores no controlables por el hombre. Estos factores comunes son:

* **Temperatura.** Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas de estabilización son influenciadas notoriamente por la temperatura. Es una variable que se relaciona con la radiación solar y afecta tanto a la velocidad de la fotosíntesis como el metabolismo de las bacterias responsables de

la remoción de la materia orgánica. Esos fenómenos son retardados por las bajas temperaturas.

En nuestro medio tropical, donde no se presentan las variaciones estacionales que se dan en otras regiones, y teniendo en cuenta la gran capacidad calorífica del agua almacenada en grandes volúmenes, las variaciones de temperatura en el ambiente no afectan notoriamente la temperatura del agua en la laguna. Es el caso de estudio realizado durante 30 días continuos en un sistema de lagunas de estabilización en el oriente cercano a Medellín, el cual mostró que a pesar de las variaciones bruscas de temperatura en el ambiente (10 °C en horas de la noche y 28 °C al medio día) los cambios de temperatura en el agua no excedieron de 1 °C, es decir, la temperatura es prácticamente constante para todo el volumen de agua, con una temperatura levemente inferior a la media de aquella que la laguna presenta en las horas que la temperatura ambiente es más baja (Cuervo, 1987).

En las horas del día, en las cuales la temperatura ambiente supere la temperatura media del agua, ésta absorberá energía, y en la laguna se originará el fenómeno de estratificación térmica. Cuanto más elevada es la temperatura ambiente en relación con la del agua, mayor será el gradiente térmico, y por lo tanto, más notoria será la estratificación térmica (Colombia. OPS, 1999).

La producción óptima de oxígeno en lagunas facultativas indica que para algunas especies de algas se realiza en el rango de temperatura de 20 a 25°C. Para temperaturas por encima de los 35°C, la actividad fotosintética de las algas decrece. En las lagunas anaerobias, las bacterias metanógenas crecen mejor cuanto mayor es la temperatura, con intervalo óptimo de crecimiento entre 30-35°C (España. MOPT, 1991).

Dentro de la cinética del proceso biológico es necesario determinar la tasa de remoción de la materia orgánica, la cual depende a su vez de la constante de velocidad de reacción (k), que varía con la temperatura de acuerdo con la siguiente relación:

$$k_T / k_{20^\circ\text{C}} = \theta^{(T-20)} \quad \text{donde, } k_T = \text{coeficiente de velocidad de reacción a } T^\circ\text{C}$$
$$K_{20^\circ\text{C}} = \text{coeficiente de velocidad a } 20^\circ\text{C}$$
$$\Theta = \text{constante para corrección de temperatura}$$

El coeficiente k puede encontrarse a partir de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

De acuerdo a la cinética bioquímica una variación de 10°C en la temperatura produce cambios de aproximadamente 50% en la actividad biológica. Igual

consideración debe hacerse para la actividad que se ejerce en los lodos sedimentados, donde la digestión anaerobia es mucho más sensible a las bajas temperaturas, especialmente por debajo de los 17°C. Sin embargo, esta actividad aumenta en proporción de cerca de cuatro veces por cada 5°C de elevación para temperaturas por debajo de 22°C (Colombia. OPS, 1999).

En los modelos empleados para el diseño de las lagunas de estabilización, el problema radica en asignar un valor apropiado para dicha constante. Para un agua residual en particular, esta constante depende fundamentalmente de la carga orgánica por unidad de área, características de las aguas residuales, temperatura, energía solar disponible, tipo probable de microorganismos, deficiencias nutricionales, presencia de tóxicos, fuente de oxígeno y otros parámetros biológicos (Yáñez, 1982).

La temperatura también tiene influencia en la tasa de reducción bacteriana, implicando que la tasa de mortalidad de coliformes fecales en lagunas de estabilización es altamente dependiente de la temperatura, donde a mayor temperatura mayor será la remoción de estos microorganismos (España. MOPT, 1991).

* **Fotosíntesis.** En las lagunas facultativas, la materia orgánica del agua residual doméstica es oxidada por las bacterias heterotróficas, utilizando el oxígeno producido por las algas. Las algas, utilizando energía solar, con el CO₂ y el amoníaco producido por las bacterias, sintetizan materia orgánica y producen oxígeno. Durante el día, las algas pueden producir oxígeno en exceso del requerido para la respiración y crear condiciones de sobresaturación y pérdida de OD a la atmósfera. La oxidación fotosintética permite cargas de DBO de hasta 25 g DBO/m³ d; pero en ausencia de oxigenación fotosintética, la oxigenación atmosférica sólo permite cargas de hasta 5 g DBO/m³ d, para condiciones aeróbicas (Romero, 2005).

En muchos casos, las algas obtienen el carbón necesario para su crecimiento a partir del ión bicarbonato, cambiando los componentes de la alcalinidad y haciendo que predominen los carbonatos y los hidróxidos. Si el agua contiene concentraciones altas de calcio, el calcio se precipitará como carbonato y ayudará a prevenir el aumento continuo de pH. En lagunas anaeróbicas, con penetración de luz solar, las bacterias rojas del azufre son capaces de efectuar fotosíntesis, usando H₂S en vez de H₂O como donante de hidrógeno (Romero, 2005).

* **Radiación solar.** La luz es fundamental para la actividad fotosintética. Esta depende no sólo de la luz que alcanza la superficie del agua, sino de la que

penetra en profundidad. Dado que el medio es normalmente muy turbio, debido sobre todo a la presencia de las mismas algas, la luz que penetra en la laguna se atenúa rápidamente y se anula a poca distancia de la superficie. Puesto que la intensidad de la luz varía a lo largo del día y del año, la velocidad de crecimiento de las algas varía también de la misma forma. Este fenómeno da lugar a dos efectos fundamentales: el oxígeno disuelto y el pH del agua presentan valores mínimos al final de la noche, y aumentan durante las horas de luz solar hasta alcanzar valores máximos a media noche. A partir de este punto los valores decrecen de nuevo a lo largo de la noche (España. MOPT, 1991).

* **Vientos.** La acción de los vientos es útil cuando es posible la homogenización de la masa líquida, llevando oxígeno de la superficie a las capas más profundas, haciendo que el afluente y los microorganismos, sean dispersados en toda la extensión de esa masa. Auxilian al movimiento de las algas, principalmente de aquellas especies desprovistas de movimiento propio y consideradas grandes productoras de oxígeno, como las algas verdes del género *Chlorella*. Cuando la fotosíntesis no fuere suficiente al existir déficit de oxígeno, el viento puede contribuir para la transferencia y difusión de oxígeno de la atmósfera hacia la masa líquida. Como medida preventiva, se deben construir las lagunas en lugares donde la acción de los vientos dominantes no esté en dirección de las viviendas, considerando además que las lagunas anaeróbicas, las cuales pueden expedir olores desagradables, deben ser construidas por lo menos a 500 o 1000 metros de la comunidad (Colombia. OPS, 1999).

* **Precipitaciones.** El efecto inmediato de la lluvia es provocar un aumento del caudal de entrada, por lo que el tiempo de residencia del agua disminuye. Lluvias intensas pueden diluir el contenido de las lagunas rasas, afectando el alimento disponible para la biomasa. El aumento repentino del caudal podrá generar en el efluente grandes cantidades de sólidos, arrastre significativo de la población de algas y el acarreamiento de materiales inorgánicos, principalmente arcilla. Para evitar estos problemas, es conveniente la construcción de estructuras con rebose lateral para desviar los excesos de agua afluente y además deben construirse zanjas desviadoras de aguas lluvias para contener inundaciones (Rolim, 2000).

* **Área superficial.** El área superficial de una laguna de estabilización está determinada en función de la carga orgánica, usualmente expresada en términos de DBO₅, aplicada por día, principalmente para las lagunas facultativas. En climas cálidos, cargas orgánicas variando de 150 a 400 Kg. DBO₅/ha.día, han sido usadas con éxito para las lagunas facultativas. Las cargas más bajas se aplican a temperaturas del aire en torno a 20 °C y las más altas temperaturas próximas a 30 °C. Las cargas superficiales que exceden de 200 a 250 Kg. DBO₅/ha.día, han sido objeto de problemas ocasionales de malos olores, en cuanto que las cargas que excedan 400 Kg. DBO₅/ha.día, probablemente llevan a la anaerobiosis, esto es,

ausencia de oxígeno disuelto y/o a una caída brusca en la eficiencia total del sistema (Colombia. OPS, 1999).

Aunque las lagunas anaerobias son dimensionadas en función de las tasas volumétricas y de la relación que existe entre el tiempo de detención, temperatura y eficiencia de remoción, la tasa de aplicación por unidad de superficie puede ser considerada de gran importancia, debido a que puede dar una buena indicación para que la laguna permanezca totalmente anaerobia. Este valor debe estar por encima de un mínimo de unos 1000 Kg DBO/ha/día (Cuervo, en prensa).

* **Tiempo de retención.** La actividad biológica en las lagunas está influenciada por las características de circulación del agua. Cuando se proyecta una laguna, se calcula el tiempo necesario para alcanzar un determinado grado de depuración. Desde el punto de vista de la depuración lo que importa es realmente todo el material que entra en la laguna permanece en ella durante ese tiempo, o si hay diferencias importantes entre el tiempo que una parte u otra del fluido permanece en la laguna. Cuando esto ocurre, la fracción que atraviesa rápidamente el estanque alcanza un grado menor de estabilización que la que permanece embalsada durante más tiempo. Estas diferencias en el tiempo real de residencia provocan siempre la disminución de la eficacia de la depuración (España. MOPT, 1991).

La circulación del agua a través de la laguna viene afectada por la forma y tamaño de ésta, la situación de entradas y salidas, velocidad y dirección de los vientos dominantes y la aparición de las diferencias de densidad dentro del estanque. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan en la aparición de zonas muertas, es decir, partes de la laguna en las que el agua permanece estancada durante largos períodos de tiempo. La distribución de las aguas residuales en una laguna debe ser lo más uniforme posible, para que se pueda utilizar todo el volumen de la laguna proyectada para el tratamiento, obteniéndose con eso el tiempo de retención ideal (Rolim, 2000).

Se puede considerar una laguna como un reactor de caudal continuo que puede presentar estos tipos de flujo: Flujo pistón, mezcla completa, flujo disperso y una combinación de éstos. Los patrones de caudal de dicho reactor van a depender de estas condiciones de mezcla y por tanto afectarán el tiempo de exposición para el tratamiento y distribución del sustrato en el reactor (Colombia. OPS, 1999).

Entre los estudios recientes en cuanto a la hidráulica en las lagunas de estabilización, se tiene la implementación de una técnica para cuantificar la distribución de velocidad y flujo patrón por medio de un procesamiento de imagen, gravando continuamente el flujo, obteniéndose con dicha técnica información rápida de estas variables (Shilton y Bailey, 2006).

Pero sin lugar a dudas, la utilización de trazadores de color ha sido la técnica más usada para chequear el comportamiento hidráulico de una laguna. Con estos trazadores se ha logrado demostrar que hidráulicamente, las lagunas son similares a un reactor de mezcla completa, tal es el caso de estudio del comportamiento hidrodinámico de tres lagunas facultativas, utilizando trazador de tinta Sulforhodamine B (Torres *et al.*, 1999).

Una laguna completamente mezclada o con recirculación, puede sufrir nitrificación en menor tiempo que una laguna de comportamiento hidráulico flujo pistón sin recirculación, porque es mayor la concentración inicial de bacterias nitrificantes. De esta forma, el sistema flujo pistón es más eficiente en la remoción de materia orgánica. Para lograr flujo tipo pistón se ha experimentado con la instalación de pantallas en las lagunas, favoreciendo de esta manera la eficiencia de sistema (Villasmil *et al.*, 1999).

De acuerdo a lo anterior, el tiempo de retención hidráulico tiene alta relación con la remoción de nitrógeno, verificándose que influye en forma directamente proporcional sobre la remoción del mismo (Mayo y Mutamba, 2004).

* **pH.** La actividad fotosintética demanda un consumo grande de CO₂ por las algas. Además, el uso factible de carbono, a partir del ión bicarbonato y la producción de ión OH⁻ hace que se obtengan períodos de pH altos en las lagunas facultativas o aeróbicas. Durante las últimas horas diurnas se pueden observar valores de pH superiores a 9. El desarrollo de un pH demasiado alto hace que la actividad bacterial disminuya, se reduce la producción de CO₂ y se limita el proceso simbiótico (Romero, 2005).

En países de clima tropical, las lagunas anaeróbicas con tiempo de retención de 1 a 5 días y profundidades superiores de 3 metros, tienen funcionamiento satisfactorio, con pH óptimo variando de 7 a 7.2, con predominio de la fase metánica sobre la fase ácida de formación de ácidos volátiles (Colombia. OPS, 1999).

* **Oxígeno disuelto.** Las concentraciones de oxígeno disuelto, OD, en la laguna, son el reflejo de la intensa actividad fotosintética. Dependiendo de cada estanque, en una laguna facultativa la capa oxigenada superficial presenta una variación diurna de OD y puede que el oxígeno disminuya notablemente durante la noche; pero también puede ocurrir que se observe concentraciones de sobresaturación de OD durante el día, hasta valores determinados, en algunos estudios, de 36 mg/l (Romero, 2005).

Además de las variaciones diarias en el contenido en oxígeno disuelto, éste presenta también variaciones importantes en profundidad. La profundidad a la que se anula el oxígeno disuelto se llama oxipausa, y su posición depende de la actividad fotosintética, el consumo de oxígeno por las bacterias, la temperatura y el grado de mezcla inducido por el viento (España. MOPT, 1991).

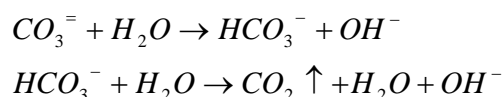
* **Alcalinidad.** La alcalinidad en el agua es la medida de la capacidad de neutralizar los ácidos, y se debe principalmente, a sales de ácidos débiles o bases fuertes; estas sustancias actúan como amortiguadores para resistir la caída del pH, resultante de la adición de ácidos.

Una de las características más sobresalientes de las aguas residuales domésticas, es su contenido ácido o alcalino que es regulado o amortiguado por el sistema dióxido de carbono (CO₂) – bicarbonato (HCO₃).

A diferencia del pH que es un factor intensivo, la acidez o la alcalinidad en el agua es el resultado de la disociación o la hidrólisis de sus solutos. Estrictamente hablando, la acidez y/o la alcalinidad no pueden considerarse como contaminantes directos o específicos, sino más bien como una medida de los efectos de una combinación de sustancias y condiciones en el agua.

En otras palabras, la concentración del ión H⁺ depende de la concentración de los iones bicarbonato y carbonato, donde el efecto del bicarbonato y carbonato es reducir un cambio en el pH. Esta resistencia o capacidad amortiguadora alcanza su máximo nivel cuando las concentraciones del carbonato y bicarbonato son iguales.

En las lagunas facultativas, el sistema carbonato está sujeto a cambios cíclicos durante el día. Aunque los cambios en la alcalinidad no son tan grandes, sí ocurren cambios en los componentes de la misma, como son los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Las variaciones se deben principalmente a la actividad fotosintética de las algas. Si el CO₂ producido por las bacterias no satisface los requerimientos de las algas durante el día, éstas extraen el CO₂ de los bicarbonatos y carbonatos ocasionando un incremento en el pH de acuerdo a las siguientes reacciones de equilibrio del sistema carbonato:



En los efluentes de lagunas de estabilización que funcionen correctamente, el pH en las horas diurnas fluctúan entre 7 y 10.5, por lo tanto, ocurre un incremento en

la alcalinidad y en la capacidad de amortiguación, al mismo tiempo que el oxígeno disuelto aumenta (Cuervo, en prensa).

* **Nutrientes.** Entre los nutrientes esenciales para el crecimiento algal, además del carbono, se mencionan generalmente al nitrógeno orgánico, al fósforo, al azufre, al calcio y al magnesio. El nitrógeno entra a la laguna de estabilización con el agua residual en forma de nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico y nitratos; además, algunas especies de algas pueden fijar nitrógeno atmosférico. Las proteínas son desunidas, mediante hidrólisis, en aminoácidos, los cuales son descompuestos por las bacterias en amoníaco. El amoníaco soluble se combina con el ión H^+ para formar ión amonio que luego de la oxidación mediante las bacterias nitrificantes produce nitritos y nitratos. Las algas, al utilizar amoníaco como fuente de nitrógeno para construir su material celular, remueven nitrógeno y disminuyen la demanda nitrogenácea de oxígeno del agua residual (Romero, 2005).

El contenido de fósforo de las aguas residuales municipales es, generalmente, suficiente para el desarrollo del crecimiento algal. Las algas utilizan fósforo inorgánico y lo asimilan en síntesis celular; las bacterias y las algas son fuente de fósforo orgánico a través de su respiración y descomposición (Romero, 2005).

El azufre no es, como el nitrógeno y fósforo, uno de los nutrientes mayoritarios en las lagunas de estabilización. Sin embargo, presentan una trascendencia importante de alguna de sus formas en el proceso de depuración. En el agua residual bruta, los sulfatos son normalmente la única forma presente y mediante reducción bacteriana pasan a sulfuros. Esta transformación tiene lugar en medio anaerobio, pero también puede ocurrir en la zona anaerobia de las lagunas facultativas (España. MOPT, 1991).

Cuando se da el caso que las trazas de elementos inorgánicos necesarios para el crecimiento biológico, se precipitan como sulfuros inorgánicos, se crea ambientes deficientes en estos nutrientes (Metcalf y Eddy, 1985).

* **DBO y sólidos suspendidos.** La producción de efluentes, con DBO alta, en muchas lagunas de estabilización, es el resultado de crecimiento de biomasa suspendida en la laguna y no al escape de DBO del afluente a través de ella; como lo confirman los ensayos de DBO sobre efluentes filtrados y no filtrados. Esto realza la capacidad de las lagunas para tratar aguas residuales, pero también enfatiza la necesidad de separar apropiadamente la biomasa algal y bacteriana del efluente, si se desean efluentes de alta calidad en términos de DBO y sólidos suspendidos totales (Romero, 2005).

La reducción de sólidos en suspensión en el tratamiento anaerobio es del orden del 70%. Estos sólidos se acumulan en el fondo de las lagunas y dan lugar a la formación de una capa de fangos. A medida que aumenta el tiempo de almacenamiento de los fangos en las lagunas, su contenido en materia orgánica disminuye debido a la degradación anaerobia a la que están sometidos (España. MOPT, 1991).

* **Potencial redox.** Igual como ocurre en las reacciones de ácido base, solubilidad, o formación compleja, las reacciones de oxidación- reducción tienden hacia un estado de equilibrio. Así como los ácidos y bases han sido interpretados como protones donadores y protones aceptores, las reducciones y oxidaciones son definidas como electrones donadores y electrones aceptores.

El entendimiento del equilibrio oxidación-reducción, puede ayudar a indicar si una reacción particular es posible bajo condiciones ambientales dadas. Esto no expresará si la reacción en hecho ocurrirá, pero sin embargo tal entendimiento es útil en la evaluación de cómo las condiciones podrían ser modificadas para fomentar las transformaciones deseables, o para prevenir aquellas que no se desean. Las reacciones de oxidación- reducción pueden ser demasiado complejas, pero aproximaciones gráficas pueden ser útiles para reducir esta complejidad, además que ilustran el significado de factores involucrados para un caso particular (Sawyer y McCarty, 1978).

El estado de oxidación-reducción de ambientes acuáticos en equilibrio, puede ser expresado en términos de su potencial redox (E). A dicho potencial corresponde unidades en voltios, o también puede ser expresado como el logaritmo negativo de la actividad de los electrones, pE. Estos términos son también directamente relacionados con la energía libre del sistema. En forma análoga ocurre en las reacciones ácido-base, donde el pH se expresa como el logaritmo negativo de la actividad del protón (H^+).

Los potenciales redox que pueden presentarse en la naturaleza van desde un mínimo de -0.42 voltios hasta un máximo de +0.82 voltios. El límite inferior corresponde a un ambiente muy reductor, rico en hidrógeno gas, y por tanto, apropiado para el crecimiento de microorganismos anaerobios estrictos, como son las bacterias metanógenas. El límite máximo se produce en ambientes muy oxigenados, y por tanto, oxidantes (España. MOPT, 1991).

A medida que aumenta el potencial redox del medio, los microorganismos capaces de desarrollarse pasan a ser anaerobios estrictos a anaerobios aerotolerantes, es decir, que resisten la presencia de oxígeno, aunque crecen mejor en su ausencia.

Cuando una laguna anaerobia presenta muy poca carga, y se favorece el desarrollo de algas en superficie, aumenta el potencial redox, lo que puede producir la muerte de las bacterias metanógenas, dado que el valor óptimo para la fermentación anaerobia de materia orgánica es de -330 mV (Díaz-Báez, Espitia y Molina, 2002).

Se puede advertir que para un alto valor de pE, habrá una baja actividad del electrón (condiciones de oxidación altas) y si pE es bajo, entonces la actividad del electrón es alta (condiciones de reducción altas). Siendo pE una medida de la energía libre involucrada en la transferencia de electrones, se expresa de la siguiente manera (Snoeyink y Jenkins, 1997):

$$pE = -\frac{\Delta G}{n2.3RT} \quad \therefore \quad pE^\circ = -\frac{\Delta G^\circ}{n2.3RT} \quad \text{y} \quad pE^\circ = \frac{1}{n} \log K$$

Donde ΔG , es cambio de energía libre de la reacción

K , es constante de equilibrio de la reacción

n , es número de electrones intercambiados

R , es constante universal de los gases

T , es temperatura absoluta

Lo anterior quiere decir que la escala de energía libre del electrón por mol de electrón, puede ser expresada en ΔG (calorías), en potencial, E (voltios) o en pE (adimensional). Cuando se expresa la energía ganada en la transferencia de 1 mol de electrones a una oxidación de H_2 , expresada en voltios, es el potencial redox. Es por esto que, la relación entre pE y E está dada por la siguiente expresión:

$$pE = \frac{FE_H}{2.3RT} \quad \text{donde } E_H \text{ es el potencial redox y } F \text{ es la carga eléctrica}$$

A 25 °C se tiene que $pE = 16.9E_H$

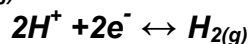
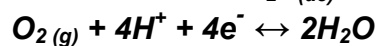
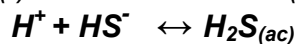
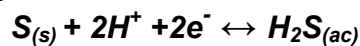
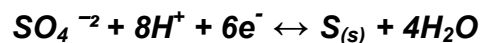
Bajo ciertas condiciones es posible medir E_H electroquímicamente. La relación termodinámica del potencial E_H , con la composición de la solución está dada por la ecuación de Peters-Nernst:

$$E_H = E_H^\circ + \frac{2.3RT}{nF} \log \frac{(ox)}{(red)}$$

***Diagramas pE – pH.** Se han realizado varios intentos para describir de esta manera, las relaciones de estabilidad de la distribución de varias formas solubles e insolubles a través de representaciones gráficas simples. Esencialmente se han utilizado dos tipos de tratamientos gráficos. El primero de ellos es el equilibrio entre especies químicas, en un particular estado de oxidación, como función de pH y composición de la solución (tal como se indicó en el diagrama de distribución de la figura 3); el segundo es el equilibrio entre especies químicas en un pH particular como función de pE (o E_H).

Los diagramas de campo de estabilidad pE – pH, representan una guía fácil para comprender como los protones y electrones simultáneamente, cambian el equilibrio bajo varias condiciones y pueden indicar cuales especies predominan, bajo alguna condición dada de pE y pH (Morgan y Stumm, 1970).

Las ecuaciones a utilizar en el análisis gráfico para las especies de sulfuros son:



Las anteriores ecuaciones se relacionan con la formulación de Peters- Nernst, y se soluciona el sistema para proceder a realizar el diagrama de áreas de cada una de las especies descritas. Dicho diagrama se construye en el numeral 9.2.5, figura 62.

En los países tropicales las variaciones diarias de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en lagunas de estabilización son poco conocidas. Entre estos podemos citar a Mejía (2006) en cuyo caso se encuentran comportamientos no esperados en cada unidad del sistema, trabajando con una temperatura ambiente entre los 13 y 17 °C, aunque existen remociones en carga orgánica mayores al 70% y a Cárdenas et al (2005) donde se encuentran eficiencias de remoción de DBO_5 de 77%, trabajando el sistema con temperaturas mayores de 31 °C. Casos similares se pueden observar en Rojas (1995) quien obtuvo valores de remoción de DBO_5 de 74% y en Silva et al (1987) de 88%. Estos estudios a diferencia de Mejía (2006), constan de lagunas anaerobias seguidas de facultativas y finalmente de maduración.

La universidad de Dar es Salaam, en Tanzania, ha estudiado por más de 3 años las variaciones diurnas de pH, oxígeno disuelto, temperatura del aire y del agua e intensidad de la luz solar, en lagunas de estabilización para tratar sus aguas residuales, concluyéndose que éstas se dan debido a la variación diaria y horaria de la intensidad de la luz, ya que de ella depende la abundancia y actividad de grupos específicos de microorganismos (Kayombo *et al.*, 2002).

En la evaluación hidráulica y optimización de las lagunas de estabilización de la Compañía Nacional de Chocolates en Rionegro-Antioquia, donde se utilizó cloruro de sodio como trazador, además de que se hicieran mediciones de temperatura ambiente y del agua durante 45 días continuos las 24 horas, se concluye a partir de este monitoreo (de interés para esta investigación), que la temperatura ambiente no afecta notoriamente la temperatura del agua en la laguna, a pesar de los cambios bruscos de temperatura en el medio (Cuervo, 1987).

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar y monitorear el comportamiento actual del sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales domésticas del municipio de Santa Fe de Antioquia.

5.2 ESPECÍFICOS

Evaluar el sistema de lagunas para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Santa Fé de Antioquia desde su diseño original y operativo teniendo en cuenta: caudal y carga de diseño, factores ambientales, sistemas de entrada y salida, y dimensiones físicas.

Realizar mediciones *in situ* de los siguientes parámetros: caudal, temperatura del ambiente y del agua, pH, oxígeno disuelto, para la evaluación de su variación en el espacio y el tiempo.

Efectuar muestreos en 14 puntos del sistema para el análisis de los parámetros: pH, alcalinidad, temperatura, oxígeno disuelto, potencial redox, pH, H₂S, sólidos totales, sólidos suspendidos, Demanda Bioquímica de Oxígeno total y soluble (DBO), Demanda Química de Oxígeno total y soluble (DQO), Nitrógeno, Fósforo y Oxígeno Disuelto, para la evaluación de su variación en el espacio y el tiempo.

Evaluar el comportamiento de la formación de H₂S en función del pH y del potencial de oxidación reducción en la laguna anaerobia, para la interpretación de las relaciones de estabilidad de la distribución de las especies de sulfuros en este sistema.

6. METODOLOGÍA

Se efectuó una visita de reconocimiento a la zona de estudio, para ajustar el diseño de muestreo, luego se realizó la revisión de los diferentes métodos de diseño para lagunas, con el propósito de comparar el diseño actual y revisar la información secundaria para el análisis de los estudios acerca del sistema.

Se recolectó la información primaria como son los datos climatológicos e hidrológicos del lugar y aspectos constructivos del sistema. Posteriormente, se procedió con los muestreos de campo y el trabajo de laboratorio.

6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

En esta investigación, se formularon hipótesis estadísticas, teniendo en cuenta el diseño del sistema y su funcionamiento, casos 1 y 2.

Caso 1:

H₀: El modelo aplicado y el comportamiento hidráulico no favorecen la remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos.

H₁: El modelo aplicado y el comportamiento hidráulico si favorecen la remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos.

Caso 2:

H₀: Puede mejorarse el funcionamiento de las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia.

H₁: No puede mejorarse el funcionamiento de las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia.

6.2 VARIABLES

Variable dependiente: La variable respuesta fue la Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO).

Variables independientes: Tiempo de retención hidráulica, temperatura del agua, tasa de aplicación superficial, concentración de la biomasa, pH, potencial redox.

VARIABLES CONTROL: Se controlaron los sitios de muestreo, siendo fijos en cada sistema de lagunas: a la entrada del afluente, en el centro de cada laguna y a la salida de las mismas.

VARIABLES EXÓGENAS: Temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento y precipitación.

6.3 DISEÑO DEL MUESTREO

6.3.1 Caracterización fisicoquímica. De acuerdo a la visita de reconocimiento a la zona de estudio, se determinó realizar 5 muestreos generales, en los cuales se ubicaron cinco estaciones de muestreo: Entrada del sistema, salida de la laguna anaerobia, salida de la laguna facultativa 1, salida de la laguna facultativa 2 y salida total del sistema; además se consideró los centros de cada laguna, donde se tomaron muestras a tres profundidades: Superficie, medio y fondo. De esta manera se realizaron mediciones en 14 puntos. También se realizaron dos muestreos más para el análisis de producción de ácido sulfhídrico (H_2S) en la laguna anaerobia a dos profundidades diferentes. La toma de datos de caudal se hizo simultáneamente con la toma de muestras descritas.

La tabla 4 muestra las variables medidas, métodos de análisis y sitio de muestreo.

Todos estos muestreos se efectuaron durante un período de 24 horas, excepto en los centros de las lagunas facultativas, en las cuales se realizó con una duración de 12 horas. En los muestreos generales, en los 14 puntos establecidos, se tomaron tanto muestras puntuales como compuestas cada cuatro horas y para los muestreos de H_2S se midieron cada 3 horas. Esta información se consigna en los anexos del 1 al 9.

6.3.2 Ubicación de las estaciones del muestreo. En cuanto a los muestreos generales, las estaciones se ubicaron a la entrada, en el centro (con diferentes profundidades) y a la salida de cada laguna. Para la toma de sulfuros sólo se localizó una estación en la laguna anaerobia, a dos profundidades.

6.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se aplicaron estimadores estadísticos de tendencia central y dispersión, tanto para las variables climáticas como las fisicoquímicas. Para el cálculo de concentraciones promedias, se utilizó la media aritmética ponderada y en algunos casos se aplicó la media geométrica.

Tabla 4. Variables a medir, métodos de análisis y sitio de muestreo

Variable	Unidad	Método	Ubicación en el sistema ⁽²⁾	Referencia ⁽¹⁾
Temperatura ambiente	°C	Lectura directa	C	Standard Methods
Velocidad del viento	m/s	Anemómetro	C en facultativas	Standard Methods
Caudal	l/s	Canal vertedero	E y S	-
Temperatura del agua	°C	Lectura directa	E, C y S	Standard Methods
pH	Unidad de pH	Electrométrico	E, C y S	4500-H+-B
Potencial Redox	mv	Electrométrico	E, C y S	Standard Methods
Conductividad eléctrica	µmhos/cm	Electrométrico	E, C y S	2510-B
Oxígeno disuelto	mg/L O ₂	Electrométrico	E, C y S	Standard Methods
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	Titulométrico	E, C y S	2320-B
Nitrógeno total	mg/L N-NO ₃	Kjeldahl	E y S	4500-NORG-B
Nitratos	mg/L N-NO ₃	Colorimétrico	E, C y S	4500+NO ₃ --D
Nitritos	mg/L N-NO ₂	Colorimétrico	E, C y S	4500-NO ₂ --B
Nitrógeno amoniacal	mg/L NH ₄	Destilación	E, C y S	4500-NH ₃ -E
Fósforo total	mg/L P-PO ₄	Ácido ascórbico	E y S	4500-P-E
Fósforo soluble	mg/l PT	Ácido ascórbico	E, C y S	4500-P-E
Sólidos totales	mg/l S.T	Gravimétrico	E, C y S	2540-B
Sólidos suspendidos	mg/L S.S	Gravimétrico	E, C y S	2540-D
Sólidos disueltos	mg/L S.D	Gravimétrico	E, C y S	2540-C
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	Gravimétrico	E, C y S	2540 E
Sulfatos	mg/L SO ₄	Turbidimétrico	E, C y S	Standard Methods
DQOtot	mg/l O ₂	Reflujo cerrado	E, C y S	5220 B
DQOsol	mg/l O ₂	Reflujo cerrado	E y S	5220 D
DBO ₅ total	mg/l O ₂	Winkler	E, C y S	Standard Methods
DBO ₅ sol	mg/l O ₂	Winkler	E y S	5210 B
H ₂ S	mg/l H ₂ S	Sulfuros	C anaerobia	Standard Methods
Pigmentos totales	ug/l	Espectrofotométrico	C en facultativas	10200H

⁽¹⁾ De acuerdo al Standard Methods (2002);

⁽²⁾ E, C y S significan entrada, centro y salida en cada laguna respectivamente.

Para cada variable se determinó como medidas de dispersión de datos, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. De igual forma, se determinó el valor máximo, el valor mínimo y el rango de variación.

Con la información procesada de la forma anterior, se procedió a construir figuras de cada variable que mostrasen las diferencias en cada estación, y en los diversos tiempos establecidos, con el fin de interpretar el funcionamiento actual de las lagunas de estabilización. Para el caso de los sulfuros después de mostradas las diferencias temporo-espaciales, se identificó el comportamiento de la laguna anaerobia en el diagrama pE-pH.

7. RESULTADOS

7.1 DATOS DE PRECIPITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Los datos de la tabla 5 y la figura 5, describen las precipitaciones medidas durante los años 2002 al 2006 en la estación COTOVÉ HDA, localizada en 7550 W de longitud y 0632 N de latitud, con una elevación de 0530 m.s.n.m.

De acuerdo con el histórico presentado los meses con menor cantidad de lluvia fueron: enero, febrero, marzo, agosto y diciembre. La tendencia de la precipitación total anual aumentó con el tiempo, obteniéndose un promedio por año de 998,9 mm de lluvia.

Tabla 5. Precipitaciones en zona de estudio

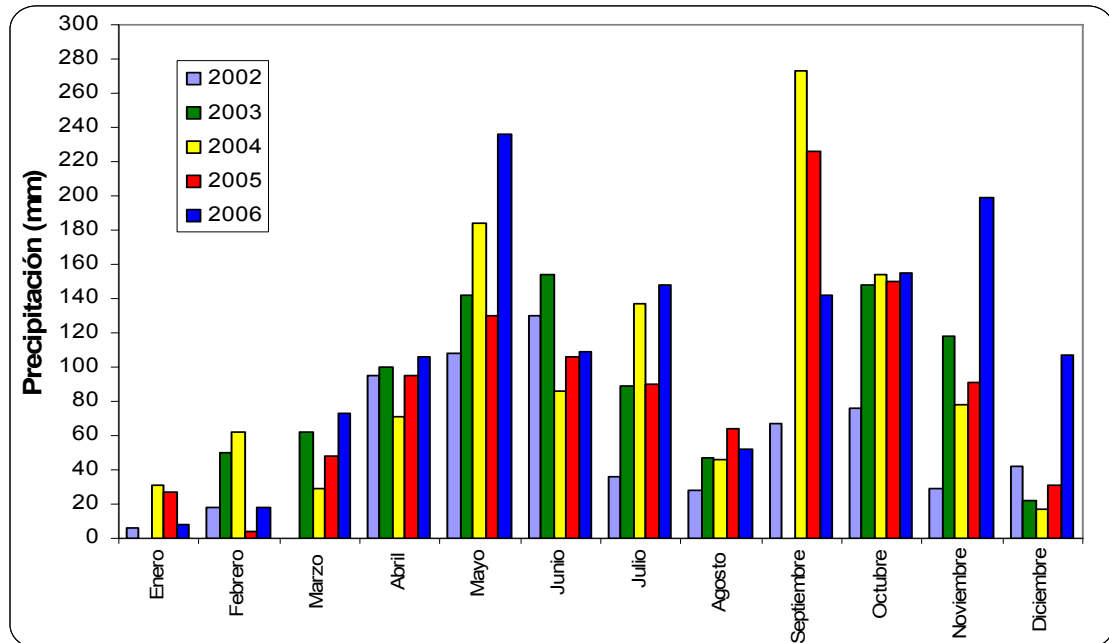
PRECIPITACIÓN (mm): ESTACIÓN COTOVÉ HDA								
MES	AÑO					Estadígrafos		
	2002	2003	2004	2005	2006	Media	Máximo	Mínimo
Enero	6,4	0,2	30,8	27,1	7,6	6,1	30,8	0,2
Febrero	17,7	49,9	61,6	3,8	18,2	20,7	61,6	3,8
Marzo	....	62,4	29,4	48,3	72,7	50,4	72,7	29,4
Abril	95,2	100,1	71,1	94,8	105,6	92,5	105,6	71,1
Mayo	107,8	142,4	184,1	130,0	236,0	154,0	236,0	107,8
Junio	129,8	153,6	86,5	105,9	109,4	114,8	153,6	86,5
Julio	36,2	89,1	136,7	89,6	148,0	89,8	148,0	36,2
Agosto	28,4	46,6	46,5	63,9	51,6	45,9	63,9	28,4
Septiembre	67,4	....	273,3	226,1	141,7	155,9	273,3	67,4
Octubre	75,6	147,7	154,5	150,0	154,8	132,0	154,8	75,6
Noviembre	29,5	118,2	77,6	90,6	199,0	86,6	199,0	29,5
Diciembre	41,8	22,5	17,2	31,2	106,6	35,2	106,6	17,2
Total anual	635,8	932,7	1169,3	1061,3	1351,2	998,9		

.... Datos insuficientes

Fuente: IDEAM

La figura 5, representa el comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio

Figura 5. Precipitaciones en zona de estudio



7.2 MUESTREOS

La información obtenida en todos los muestreos se consigna en los anexos del 1 al 15.

8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En las tablas 6 a la 16 se presentan los resultados estadísticos de las variables medidas tanto en los cinco muestreos generales como en los muestreos para cuantificar sulfuros. Se determinó la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación; los valores máximo y mínimo y el rango de variación. En dichas tablas, n representa el número de muestras analizadas.

Tabla 6. Resultados estadígrafos para temperatura ambiente y velocidad del viento en el sistema

Variable Estadígrafo	Temperatura ambiente °C (En el sistema)							Velocidad del viento (m/s) (En el sistema)						
	Hora													
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	27,41	30,76	29,88	25,03	24,54	23,78	22,97	0,91	0,74	1,16	0,47	0,50	0,61	0,49
Varianza	3,49	3,16	7,84	3,01	3,66	0,07	1,82	0,02	0,76	1,17	0,28	0,19	0,90	0,37
Desviación estándar	1,87	1,78	2,80	1,73	1,91	0,27	1,35	0,13	0,87	1,08	0,53	0,44	0,95	0,61
Mínimo	24,4	28,0	28,0	22,6	23,4	23,6	22,1	0,8	0,4	0	0,2	0,1	0,1	0,1
Máximo	29,3	32,5	34,5	27	28	24,2	25,2	1,1	2,4	2,4	1,5	1,1	1,8	1,5
Rango	4,9	4,5	6,5	4,4	4,6	0,6	3,1	0,3	2	2,4	1,3	1,0	1,7	1,4
Coefficiente Vari%	6,81	5,78	9,37	6,93	7,79	1,13	5,87	14,31	118,06	93,37	112,51	87,95	154,92	125,68

Tabla 7. Resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes, efluentes y centro de laguna anaerobia (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable Estadígrafo	Temperatura agua °C (E.S)							Oxígeno disuelto (mg/l) (E.S)						
	Hora													
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	25,39	28,75	27,39	25,49	25,18	25,39	25,71	0,66	0,81	1,15	2,26	1,18	1,74	0,80
Varianza	7,59	5,32	1,71	1,55	0,37	0,57	0,97	0,71	0,57	0,66	4,20	1,75	2,21	1,21
Desviación estándar	2,75	2,31	1,31	1,24	0,61	0,76	0,98	0,84	0,75	0,81	2,05	1,32	1,49	1,10
Mínimo	22,1	26,7	26,0	23,8	24,4	24,9	24,8	0,12	0,17	0,21	0,16	0,03	0,02	0,03
Máximo	29,7	32,3	29,3	26,9	26,1	26,7	27,3	2,1	2,1	1,8	4,1	2,9	3,56	2,6
Rango	7,6	5,6	3,3	3,1	1,7	1,8	2,5	1,98	1,93	1,59	3,94	2,87	3,54	2,57
Coefficiente Vari%	10,85	8,02	4,77	4,88	2,42	2,97	3,83	128,02	92,47	70,68	90,49	111,92	85,25	137,19

Convención: E.S = Entrada al sistema; S.A = Salida anaerobia; S.F1 = Salida facultativa 1; S.F2 = Salida facultativa 2; S.S = Salida sistema total;
E.F1 = Entrada facultativa 1; E.F2 = Entrada facultativa 2; C.A = Centro anaerobia; C.F1 = Centro facultativa 1; C.F2 = Centro facultativa 2.

Tabla 7. Continuación resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes, efluentes y centro de laguna anaerobia (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable	Conductividad ($\mu\text{s/cm}$) (E.S)							Potencial redox (mv) (E.S)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	965	747	773	779	725	672	797	-61	-41	-74	-59	-143	36	-101
Varianza	27800,9	2764,8	1526,2	2790,6	50449,4	13618,6	22858,1	17112,6	8597,5	18632,0	15100,4	11020,6	1781,8	16316,9
Desviación estándar	166,74	52,58	39,07	52,83	224,61	116,70	151,19	130,82	92,72	136,50	122,88	104,98	42,21	127,74
Mínimo	790	684	714	742	514	562	662	-194	-132	-217	-254	-312	-20	-254
Máximo	1144	810	820	857	984	833	1021	128	105	70	5	-48	71	55
Rango	354	126	106	115	470	271	359	322	237	287,4	258,8	263,8	91	308,8
Coficiente Vari%	17,28	7,04	5,05	6,78	30,99	17,36	18,96	215,39	223,57	184,91	207,93	73,51	117,60	126,20
Variable	pH (unidades de pH) (E.S)							Temperatura agua °C (S.A)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	7,51	7,54	7,19	7,23	7,22	7,21	7,13	27,36	31,46	28,90	26,41	25,48	25,80	25,26
Varianza	0,11	0,12	0,21	0,40	0,36	0,34	0,47	8,35	4,06	5,85	1,67	1,32	0,67	4,26
Desviación estándar	0,34	0,35	0,46	0,63	0,60	0,58	0,69	2,89	2,02	2,42	1,29	1,15	0,82	2,06
Mínimo	7,10	7,10	6,37	6,25	6,29	6,25	6,21	23,90	28,80	26,40	24,60	24,60	25,00	21,90
Máximo	8,04	7,90	7,49	7,86	7,81	7,81	7,94	31,50	33,90	32,50	28,20	27,30	27,00	27,60
Rango	0,94	0,8	1,12	1,61	1,52	1,56	1,73	7,60	5,10	6,10	3,60	2,70	2,00	5,70
Coficiente Vari%	4,50	4,63	6,42	8,70	8,33	8,10	9,63	10,56	6,41	8,37	4,90	4,51	3,17	8,17
Variable	Oxígeno disuelto (mg/l) (S.A)							Conductividad ($\mu\text{s/cm}$) (S.A)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	0,27	2,10	2,74	0,32	0,19	0,23	0,63	852	872	884	839	798	828	834
Varianza	0,02	2,51	7,88	0,07	0,01	0,02	0,25	8034,9	12358,8	9116,2	6383,0	10321,7	6950,8	4582,2
Desviación estándar	0,15	1,58	2,81	0,26	0,11	0,15	0,50	89,64	111,17	95,48	79,89	101,60	83,37	67,69
Mínimo	0,18	0,04	0,34	0,05	0,05	0,03	0,08	803	775	798	764	680	715	752
Máximo	0,53	4,23	7,20	0,60	0,30	0,40	1,10	1014	1012	1010	968	931	930	933
Rango	0,35	4,19	6,86	0,55	0,25	0,37	1,02	211,0	237,0	212,0	204,0	251,0	215,0	181,0
Coficiente Vari%	55,20	75,34	102,63	80,36	58,64	67,71	79,65	10,52	12,75	10,80	9,52	12,73	10,07	8,12

Tabla 7. Continuación resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes, efluentes y centro de laguna anaerobia (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable	Potencial redox (mv) (S.A)							pH (unidades de pH) (S.A)						
	Hora							Hora						
Estadígrafo	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	-215	-58	-70	-271	-258	-270	-138	7,26	7,31	7,20	6,99	6,94	6,95	7,01
Varianza	5885,30	6976,82	23251,6	602,41	760,09	1473,37	23463,4	0,05	0,06	0,17	0,19	0,20	0,24	0,20
Desviación estándar	76,72	83,53	152,48	24,54	27,57	38,38	153,18	0,22	0,25	0,42	0,44	0,45	0,49	0,45
Mínimo	-296	-191	-269	-317	-302	-315	-333	6,94	6,88	6,44	6,18	6,15	6,08	6,20
Máximo	-99	-4	72	-256	-234	-220	-4	7,50	7,55	7,50	7,26	7,23	7,26	7,32
Rango	197	187	341	61	68	95	329	0,56	0,67	1,06	1,08	1,08	1,18	1,12
Coefficiente Vari%	35,67	143,83	218,23	9,05	10,70	14,20	111,21	3,01	3,39	5,78	6,24	6,43	6,99	6,37
Variable	Temperatura agua °C (S.F1)							Oxígeno disuelto (mg/l) (S.F1)						
	Hora							Hora						
Estadígrafo	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	26,97	31,03	29,31	26,23	25,33	25,25	25,08	6,46	15,20	10,18	3,12	0,43	0,55	2,98
Varianza	7,16	3,75	3,84	2,69	1,21	1,02	1,39	54,37	113,83	38,17	3,26	0,15	0,15	32,61
Desviación estándar	2,68	1,94	1,96	1,64	1,10	1,01	1,18	7,37	10,67	6,18	1,81	0,38	0,38	5,71
Mínimo	22,8	29,2	26,9	24,4	24,1	24,4	24,0	0,18	1,42	0,60	1,10	0,14	0,16	0,24
Máximo	30,0	34,2	32,2	28,8	27,0	26,8	27,1	18,2	24,0	15,7	5,1	1,1	1,1	13,3
Rango	7,2	5	5,3	4,4	2,9	2,4	3,1	18,02	22,58	15,1	3,95	0,98	0,93	13,06
Coefficiente Vari%	9,92	6,24	6,68	6,25	4,34	4,00	4,70	114,19	70,18	60,69	57,95	89,63	70,31	191,31
Variable	Conductividad (µs/cm) (S.F1)							Potencial redox (mv) (S.F1)						
	Hora							Hora						
Estadígrafo	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	718	668	685	722	739	747	756	65	4	-24	-24	-97	-121	-48
Varianza	7648,7	33900,6	14295,2	2740,6	2859,2	1484,2	1968,4	10399,0	4620,7	1291,2	6390,4	9251,4	3075,4	11884,4
Desviación estándar	87,46	184,12	119,56	52,35	53,47	38,53	44,37	101,98	67,98	35,93	79,94	96,18	55,46	109,02
Mínimo	594	542	577	670	675	703	701	-93	-124	-65	-141	-223	-206	-219
Máximo	805	961	836	800	795	788	815	141	32	25	30	-7	-68	45
Rango	211	419	259	130	120	85	114	234	156	90	171,1	215,5	138	263,5
Coefficiente Vari%	12,18	27,57	17,45	7,25	7,23	5,16	5,87	156,85	1737,72	148,09	336,61	99,12	45,80	229,03

Tabla 7. Continuación resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes, efluentes y centro de laguna anaerobia (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable	pH (unidades de pH) (S.F1)							Temperatura agua °C (S.F2)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	7,81	8,39	8,26	7,85	7,36	7,18	7,23	26,37	31,37	29,51	26,50	24,99	24,89	25,14
Varianza	0,61	0,71	0,89	0,98	0,46	0,38	0,31	7,16	3,99	5,64	2,13	1,12	0,84	1,92
Desviación estándar	0,78	0,84	0,94	0,99	0,68	0,62	0,56	2,68	2,00	2,37	1,46	1,06	0,92	1,39
Mínimo	6,90	7,45	6,62	6,29	6,26	6,16	6,31	23,10	28,90	26,60	24,50	24,30	24,30	24,10
Máximo	9,00	9,60	8,80	8,80	8,00	7,72	7,74	30,50	34,40	32,90	28,50	26,90	26,50	27,60
Rango	2,1	2,15	2,18	2,51	1,74	1,56	1,43	7,40	5,50	6,30	4,00	2,60	2,20	3,50
Coficiente Vari%	9,97	10,01	11,39	12,61	9,25	8,62	7,72	10,14	6,37	8,04	5,51	4,24	3,69	5,51
Variable	Oxígeno disuelto (mg/l) (S.F2)							Conductividad (µs/cm) (S.F2)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	4,13	14,09	10,75	3,26	1,04	0,44	2,80	770	709	728	790	787	781	777
Varianza	40,49	22,52	72,85	11,88	2,54	0,11	26,97	3599,7	17285,7	11856,4	1890,9	691,9	642,2	2585,7
Desviación estándar	6,36	4,75	8,54	3,45	1,59	0,33	5,19	60,00	131,48	108,89	43,48	26,30	25,34	50,85
Mínimo	0,29	6,13	1,31	0,54	0,22	0,02	0,06	684	533	614	749	764	760	706
Máximo	15,60	17,50	20,10	8,93	4,05	0,80	12,20	840	876	902	855	823	819	833
Rango	15,31	11,37	18,79	8,39	3,83	0,78	12,14	156,0	343,0	288,0	106,0	59,0	59,0	127,0
Coficiente Vari%	154,21	33,68	79,41	105,63	153,32	76,62	185,22	7,79	18,54	14,96	5,51	3,34	3,24	6,54
Variable	Potencial redox (mv) (S.F2)							pH (unidades de pH) (S.F2)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	57,97	-12,46	0,93	-3,29	-28,43	-120,40	-59,41	7,68	8,47	8,20	7,59	7,28	7,26	7,31
Varianza	4790,61	504,51	1071,62	2194,78	379,53	2824,25	7089,16	0,29	0,51	0,75	0,41	0,27	0,35	0,23
Desviación estándar	69,21	22,46	32,74	46,85	19,48	53,14	84,20	0,54	0,71	0,86	0,64	0,52	0,60	0,48
Mínimo	-32	-39	-20	-59	-55	-219	-170	7,25	7,88	7,02	6,52	6,42	6,18	6,46
Máximo	131	16	61	56	-12	-83	6	8,60	9,70	8,89	8,25	7,82	7,72	7,70
Rango	163	55	81	115	43	136	176	1,35	1,82	1,87	1,73	1,40	1,54	1,24
Coficiente Vari%	119,39	180,29	3511,91	1425,09	68,52	44,14	141,72	6,98	8,43	10,53	8,46	7,11	8,20	6,59

Tabla 7. Continuación resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes, efluentes y centro de laguna anaerobia (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable	Temperatura agua °C (S.S)							Oxígeno disuelto (mg/l) (S.S)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	26,38	30,77	29,13	26,50	24,79	24,84	25,06	3,53	10,41	7,80	2,46	0,58	0,29	3,37
Varianza	6,47	3,17	5,06	2,68	1,23	0,93	2,47	27,80	66,52	36,59	1,34	0,22	0,04	32,97
Desviación estándar	2,54	1,78	2,25	1,64	1,11	0,96	1,57	5,27	8,16	6,05	1,16	0,47	0,21	5,74
Mínimo	23,30	29,10	26,50	24,40	23,90	24,20	24,00	0,50	4,40	1,22	0,54	0,22	0,03	0,08
Máximo	30,30	33,40	32,30	28,90	26,60	26,30	27,80	13,10	21,20	15,25	3,60	1,38	0,56	13,60
Rango	7	4,3	5,8	4,5	2,7	2,1	3,8	12,6	16,8	14,03	3,06	1,16	0,53	13,52
Coficiente Vari%	9,64	5,78	7,72	6,17	4,48	3,87	6,27	149,36	78,37	77,54	46,97	80,86	70,63	170,13
Variable	Conductividad (µs/cm) (S.S)							Potencial redox (mv) (S.S)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	744	715	737	761	763	767	766	57	5	25	-1	-85	-101	-27
Varianza	5614,3	12838,8	6806,9	2562,9	1363,2	883,3	2308,6	2559,0	250,7	504,5	1883,5	2347,6	1462,1	2164,6
Desviación estándar	74,93	113,31	82,50	50,63	36,92	29,72	48,05	50,59	15,83	22,46	43,40	48,45	38,24	46,53
Mínimo	636	564	670	727	725	741	702	2	-7	-6	-37	-144	-170	-85
Máximo	831	861	862	842	801	804	820	107	30	54	56	-31	-76	10
Rango	195	297	192	115	76	63	118	105	36,6	60,2	93	113,4	93,9	95
Coficiente Vari%	10,07	15,85	11,20	6,65	4,84	3,87	6,27	88,58	321,96	90,43	4112,02	56,99	37,82	171,85
Variable	pH (unidades de pH) (S.S)							Temperatura agua °C (C.A – superficie)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	7,67	8,36	8,10	7,53	7,31	7,24	7,28	27,50	29,69	28,41	26,42	25,69	25,69	25,57
Varianza	0,40	0,38	0,51	0,54	0,40	0,35	0,24	10,43	2,07	3,00	0,87	0,04	0,48	0,54
Desviación estándar	0,63	0,62	0,71	0,74	0,64	0,60	0,49	3,23	1,44	1,73	0,93	0,19	0,70	0,73
Mínimo	7,27	7,90	6,90	6,32	6,25	6,18	6,44	23,60	28,20	26,50	25,10	25,40	25,10	25,00
Máximo	8,80	9,30	8,72	8,29	7,94	7,70	7,74	32,50	31,50	30,90	27,60	25,90	26,80	26,80
Rango	1,53	1,4	1,82	1,97	1,69	1,52	1,3	8,9	3,3	4,4	2,5	0,5	1,7	1,8
Coficiente Vari%	8,26	7,42	8,81	9,76	8,69	8,22	6,79	11,74	4,85	6,10	3,53	0,75	2,71	2,86

Tabla 7. Continuación resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes, efluentes y centro de laguna anaerobia (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable	Oxígeno disuelto (mg/l) (C.A – superficie)							Conductividad (µs/cm) (C.A – superficie)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	0,35	0,33	0,54	0,20	0,13	0,17	0,18	859	872	871	811	775	817	840
Varianza	1,42	0,95	0,91	0,12	0,01	0,01	0,05	5918,3	13172,2	10053,1	8587,0	24401,0	5719,9	9255,2
Desviación estándar	1,19	0,97	0,95	0,34	0,10	0,11	0,22	76,93	114,77	100,27	92,67	156,21	75,63	96,20
Mínimo	0,06	0,04	0,24	0,03	0,00	0,10	0,07	795	760	759	748	530	746	742
Máximo	2,40	2,20	2,40	0,72	0,26	0,30	0,60	983	1006	995	963	945	936	937
Rango	2,34	2,16	2,16	0,69	0,26	0,2	0,53	188	246	236	215	415	190	195
Coefficiente Vari%	341,61	298,38	176,71	172,61	76,21	62,57	117,86	8,95	13,16	11,52	11,42	20,15	9,25	11,45
Variable	Potencial redox (mv) (C.A – superficie)							pH (unidades de pH) (C.A – superficie)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	-170	-160	-174	-270	-246	-271	-216	7,06	7,20	7,10	6,98	6,98	6,96	6,89
Varianza	16196,8	16846,3	3436,9	1410,2	8090,4	4451,8	5295,9	0,26	0,07	0,22	0,21	0,21	0,22	0,23
Desviación estándar	127,27	129,79	58,63	37,55	89,95	66,72	72,77	0,51	0,27	0,47	0,46	0,46	0,47	0,47
Mínimo	-351	-251	-256	-326	-330	-381	-287	6,20	6,80	6,29	6,20	6,22	6,15	6,15
Máximo	-27	53	-117	-236	-93	-215	-91	7,43	7,50	7,40	7,31	7,43	7,33	7,40
Rango	323,8	303,8	139	90,6	237,1	166,4	196,2	1,23	0,7	1,11	1,11	1,21	1,18	1,25
Coefficiente Vari%	75,04	81,36	33,66	13,92	36,58	24,61	33,68	7,28	3,73	6,60	6,54	6,59	6,75	6,89
Variable	Temperatura agua °C (C.A – medio)							Oxígeno disuelto (mg/l) (C.A – medio)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	26,98	28,60	27,11	26,29	25,79	25,69	25,65	0,40	0,28	0,47	0,13	0,11	0,09	0,08
Varianza	6,0	3,0	8,7	0,6	0,3	0,5	0,7	0,10	0,11	0,04	0,20	0,02	0,01	0,13
Desviación estándar	2,45	1,73	2,95	0,75	0,57	0,74	0,85	0,32	0,34	0,20	0,45	0,12	0,11	0,36
Mínimo	25,10	26,40	23,00	25,20	25,00	25,10	24,90	0,10	0,10	0,27	0,03	0,00	0,02	0,02
Máximo	31,20	30,70	30,70	27,20	26,60	26,90	27,10	0,87	0,76	0,76	1,00	0,28	0,30	0,80
Rango	6,1	4,3	7,7	2	1,6	1,8	2,2	0,77	0,66	0,49	0,97	0,28	0,28	0,78
Coefficiente Vari%	9,07	6,04	10,88	2,85	2,21	2,87	3,33	78,22	118,07	41,71	347,44	112,08	120,14	456,56

Tabla 7. Continuación resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes, efluentes y centro de laguna anaerobia (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable	Conductividad ($\mu\text{s/cm}$) (C.A – medio)							Potencial redox (mv) (C.A – medio)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	856	871	875	866	822	843	843	-184	-232	-184	-274	-280	-284	-215
Varianza	5903,4	8711,3	7642,9	7952,8	9249,4	6172,7	9140,8	17861,1	5282,9	3945,7	1643,5	1771,0	3901,0	405,2
Desviación estándar	76,83	93,33	87,42	89,18	96,17	78,57	95,61	133,65	72,68	62,81	40,54	42,08	62,46	20,13
Mínimo	791	799	786	789	727	743	746	-355	-279	-249	-331	-345	-386	-235
Máximo	982	997	989	1014	939	934	936	-34	-103	-108	-225	-239	-235	-185
Rango	191	198	203	225	212	191	190	320,6	176	141	106,5	106,2	151,2	50
Coefficiente Vari%	8,98	10,71	9,99	10,30	11,71	9,32	11,34	72,82	31,37	34,12	14,79	15,05	22,00	9,37
Variable	pH (unidades de pH) (C.A – medio)							Temperatura agua °C (C.A – fondo)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	7,12	7,19	7,07	6,92	6,94	6,92	6,85	26,90	28,70	27,81	25,85	25,60	25,72	25,63
Varianza	0,27	0,05	0,26	0,16	0,15	0,23	0,24	6,80	5,47	3,58	0,56	0,17	0,32	0,74
Desviación estándar	0,52	0,22	0,51	0,40	0,39	0,48	0,49	2,61	2,34	1,89	0,75	0,41	0,56	0,86
Mínimo	6,30	6,90	6,19	6,22	6,25	6,10	6,10	24,50	25,50	25,90	24,90	24,90	25,10	25,00
Máximo	7,52	7,50	7,44	7,24	7,15	7,33	7,37	31,10	31,10	30,80	26,70	25,90	26,60	27,10
Rango	1,22	0,6	1,25	1,02	0,9	1,23	1,27	6,6	5,6	4,9	1,8	1,0	1,5	2,1
Coefficiente Vari%	7,27	3,00	7,25	5,85	5,62	6,93	7,22	9,69	8,15	6,80	2,90	1,61	2,19	3,35
Variable	Oxígeno disuelto (mg/l) (C.A – fondo)							Conductividad ($\mu\text{s/cm}$) (C.A – fondo)						
Estadígrafo	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	0,09	0,16	0,28	0,14	0,10	0,09	0,04	918	983	998	1033	935	1061	1097
Varianza	0,000	0,025	0,098	0,061	0,005	0,068	0,002	11536,0	10967,9	24042,9	253457,5	38319,0	362114,6	17226,2
Desviación estándar	0,02	0,16	0,31	0,25	0,07	0,26	0,05	107,41	104,73	155,06	503,45	195,75	601,76	131,25
Mínimo	0,07	0,09	0,09	0,03	0,02	0,02	0,00	810	830	823	818	778	756	933
Máximo	0,12	0,46	0,80	0,60	0,20	0,60	0,12	1042	1103	1231	1988	1221	2200	1223
Rango	0,05	0,37	0,71	0,57	0,18	0,58	0,12	232	273	408	1170	443,0	1444	290
Coefficiente Vari%	21,36	96,53	111,23	175,96	75,58	303,72	117,26	11,70	10,65	15,53	48,71	20,93	56,72	11,97

Tabla 7. Continuación resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes, efluentes y centro de laguna anaerobia (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable Estadígrafo	Potencial redox (mv) (C.A – fondo)							pH (unidades de pH) (C.A – fondo)						
	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	-273	-219	-220	-274	-281	-285	-230	6,94	6,87	6,99	6,88	6,89	6,90	6,79
Varianza	3697,47	6781,67	6407,93	1717,49	3862,86	4601,13	539,66	0,44	0,26	0,23	0,19	0,17	0,21	0,21
Desviación estándar	60,81	82,35	80,05	41,44	62,15	67,83	23,23	0,66	0,51	0,48	0,44	0,41	0,46	0,46
Mínimo	-343	-278	-304	-332	-376	-398	-267	5,80	6,14	6,17	6,18	6,18	6,10	6,10
Máximo	-183	-74	-93	-224	-215	-219	-202	7,35	7,40	7,30	7,30	7,22	7,22	7,30
Rango	159,7	204,0	211,0	107,7	161,0	179,0	65,0	1,55	1,26	1,13	1,12	1,0	1,12	1,2
Coefficiente Vari%	22,30	37,59	36,37	15,14	22,13	23,80	10,08	9,53	7,40	6,93	6,38	5,94	6,63	6,83

Tabla 8. Resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en centros de lagunas facultativas (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable Estadígrafo	T. agua °C (C.F1 – superficie)				O.D (mg/l) (C.F1 – superficie)				Conduct. (µs/cm) (C.F1 – superficie)			
	Hora				Hora				Hora			
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	27,94	29,30	29,05	26,28	9,04	8,02	6,19	1,48	731	747	723	754
Varianza	15,50	3,37	8,52	2,32	44,40	49,17	17,17	1,02	9773,58	11597,02	9526,96	3755,48
Desviación estándar	3,94	1,84	2,92	1,52	6,66	7,01	4,14	1,01	98,86	107,69	97,61	61,28
Mínimo	25,00	27,70	27,20	24,30	1,00	0,06	0,52	0,16	581	596	590	675
Máximo	35,00	32,20	34,30	28,10	15,69	16,20	11,50	2,30	825	884	837	804
Rango	10	4,5	7,1	3,8	14,69	16,14	10,98	2,14	244	288	247	129
Coefficiente Vari%	14,09	6,27	10,05	5,79	73,70	87,48	66,92	68,47	13,53	14,42	13,50	8,12

Tabla 8. Continuación resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en centros de lagunas facultativas (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable	Potencial redox (mv) (C.F1 – superficie)				pH (unidades de pH) (C.F1 – superficie)				Temperatura agua °C (C.F1 – medio)			
Estadígrafo	Hora				Hora				Hora			
	<i>7:30 a.m</i>	<i>11:30 a.m</i>	<i>3:30 p.m</i>	<i>7:30 p.m</i>	<i>7:30 a.m</i>	<i>11:30 a.m</i>	<i>3:30 p.m</i>	<i>7:30 p.m</i>	<i>7:30 a.m</i>	<i>11:30 a.m</i>	<i>3:30 p.m</i>	<i>7:30 p.m</i>
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	42	-22	-23	-97	7,75	8,09	7,98	7,68	28,92	29,14	27,65	25,88
Varianza	1570,02	17452,39	2563,45	1125,61	0,93	0,66	1,41	0,55	17,18	1,51	3,29	2,33
Desviación estándar	39,62	132,11	50,63	33,55	0,97	0,81	1,19	0,74	4,14	1,23	1,81	1,53
Mínimo	6	-244	-65	-146	6,78	7,22	6,48	6,61	25,00	27,80	26,40	24,20
Máximo	104	107	46	-60	9,20	9,10	9,39	8,40	36,00	30,70	30,90	28,10
Rango	98,2	350,7	111	86,1	2,42	1,88	2,91	1,79	11	2,9	4,5	3,9
Coefficiente Vari%	94,12	598,31	222,26	34,46	12,46	10,04	14,87	9,69	14,33	4,22	6,56	5,90
Variable	Oxígeno disuelto (mg/l) (C.F1 – medio)				Conductividad (µs/cm) (C.F1 – medio)				Potencial redox (mv) (C.F1 – medio)			
Estadígrafo	Hora				Hora				Hora			
	<i>7:30 a.m</i>	<i>11:30 a.m</i>	<i>3:30 p.m</i>	<i>7:30 p.m</i>	<i>7:30 a.m</i>	<i>11:30 a.m</i>	<i>3:30 p.m</i>	<i>7:30 p.m</i>	<i>7:30 a.m</i>	<i>11:30 a.m</i>	<i>3:30 p.m</i>	<i>7:30 p.m</i>
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	7,18	4,20	1,14	1,02	728	767	790	787	42	31	-12	-84
Varianza	44,60	6,51	1,53	0,80	8125,56	6501,40	5018,98	2018,14	953,65	3061,75	493,72	76,68
Desviación estándar	6,68	2,55	1,24	0,89	90,14	80,63	70,84	44,92	30,88	55,33	22,22	8,76
Mínimo	0,63	0,24	0,08	0,07	606	680	699	739	10	-48	-26	-96
Máximo	17,70	7,30	3,11	2,00	824	865	874	831	80	102	26	-75
Rango	17,07	7,06	3,03	1,93	218	185	175	92	69,7	150,3	52,3	21,1
Coefficiente Vari%	93,06	60,74	108,53	88,00	12,39	10,52	8,97	5,71	74,23	176,90	189,91	10,48
Variable	pH (unidades de pH) (C.F1 – medio)				Temperatura agua °C (C.F1 – fondo)				O. disuelto (mg/l) (C.F1 – fondo)			
Estadígrafo	Hora				Hora				Hora			
	<i>7:30 a.m</i>	<i>11:30 a.m</i>	<i>3:30 p.m</i>	<i>7:30 p.m</i>	<i>7:30 a.m</i>	<i>11:30 a.m</i>	<i>3:30 p.m</i>	<i>7:30 p.m</i>	<i>7:30 a.m</i>	<i>11:30 a.m</i>	<i>3:30 p.m</i>	<i>7:30 p.m</i>
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	7,81	7,78	7,44	7,21	29,06	29,33	27,42	25,75	5,53	2,41	0,70	0,63
Varianza	0,83	0,20	0,39	0,21	11,26	3,53	4,12	2,15	24,54	1,48	0,49	0,34
Desviación estándar	0,91	0,45	0,62	0,45	3,36	1,88	2,03	1,47	4,95	1,22	0,70	0,59
Mínimo	6,84	7,30	6,42	6,42	26,40	27,00	25,80	24,10	0,73	0,41	0,09	0,06
Máximo	9,00	8,40	8,00	7,50	34,80	31,50	31,00	28,00	13,40	3,50	1,83	1,30
Rango	2,16	1,1	1,58	1,08	8,4	4,5	5,2	3,9	12,67	3,09	1,74	1,24
Coefficiente Vari%	11,62	5,80	8,36	6,31	11,55	6,41	7,40	5,69	89,52	50,46	98,98	92,49

Tabla 8. Continuación resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en centros de lagunas facultativas (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable Estadígrafo	Conduct. ($\mu\text{s/cm}$) (C.F1 – fondo)				Potencial redox (mv) (C.F1 – fondo)				pH (unidades de pH) (C.F1 – fondo)			
	Hora				Hora				Hora			
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	738	803	800	799	40	27	-73	-135	7,79	7,60	7,25	7,06
Varianza	7025,69	4142,50	4789,74	1593,12	2422,61	1727,74	2288,95	9178,09	0,68	0,05	0,41	0,14
Desviación estándar	83,82	64,36	69,21	39,91	49,22	41,57	47,84	95,80	0,82	0,23	0,64	0,38
Mínimo	633	754	712	742	-39	-37	-128	-292	7,04	7,40	6,17	6,43
Máximo	832	898	890	835	90	79	-8	-31	9,00	7,90	7,80	7,39
Rango	199	144	178	93	129,4	115,9	120	261	1,96	0,5	1,63	0,96
Coefficiente Vari%	11,35	8,02	8,66	5,00	123,61	152,15	65,50	71,15	10,55	3,03	8,79	5,34
Variable Estadígrafo	T. agua °C (C.F2 – superficie)				O. disuelto (mg/l) (C.F2 – superficie)				Conduct. ($\mu\text{s/cm}$) (C.F2 – superficie)			
	Hora				Hora				Hora			
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	29,68	30,01	29,14	26,17	11,29	6,96	9,02	3,62	772	760	778	782
Varianza	5,94	0,92	7,68	1,97	91,44	28,78	53,87	9,96	7189,30	15896,30	9169,92	1509,07
Desviación estándar	2,44	0,96	2,77	1,40	9,56	5,36	7,34	3,16	84,79	126,08	95,76	38,85
Mínimo	27,80	28,50	27,10	24,50	1,03	0,24	0,81	0,80	666	603	641	727
Máximo	33,90	31,10	34,00	28,30	24,60	13,50	19,55	8,50	879	913	885	815
Rango	6,1	2,6	6,9	3,8	23,57	13,26	18,74	7,7	213	310	244	88
Coefficiente Vari%	8,21	3,19	9,51	5,36	84,71	77,10	81,37	87,21	10,98	16,58	12,32	4,97
Variable Estadígrafo	Potencial redox (mv) (C.F2 – superficie)				pH (unidades de pH) (C.F2 – superficie)				Temperatura agua °C (C.F2 – medio)			
	Hora				Hora				Hora			
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	61	24	-12	-39	7,93	8,13	7,86	7,60	28,92	29,35	27,72	25,73
Varianza	1568,13	3797,04	692,02	1468,05	0,37	0,42	1,14	0,25	3,15	1,01	1,49	2,07
Desviación estándar	39,60	61,62	26,31	38,32	0,61	0,65	1,07	0,50	1,77	1,00	1,22	1,44
Mínimo	25	-34	-52	-74	7,06	7,46	6,58	6,89	27,70	27,70	26,00	24,60
Máximo	119	124	17	20	8,70	9,20	9,11	8,15	32,00	30,20	29,30	28,20
Rango	94,2	158,3	69,2	94	1,64	1,74	2,53	1,26	4,3	2,5	3,3	3,6
Coefficiente Vari%	64,87	252,13	224,84	99,16	7,69	7,99	13,56	6,58	6,13	3,42	4,41	5,6

Tabla 8. Continuación resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en centros de lagunas facultativas (muestreos puntuales a diferentes horas)

Variable Estadígrafo	Oxígeno disuelto (mg/l) (C.F2 – medio)				Conductividad (µs/cm) (C.F2 – medio)				Potencial redox (mv) (C.F2 – medio)			
	Hora				Hora				Hora			
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	7,13	3,32	4,38	0,83	796	801	828	797	69	28	-18	-201
Varianza	22,28	4,74	24,59	0,41	3538,27	4038,65	3528,55	2467,77	651,96	3254,06	1411,61	6370,30
Desviación estándar	4,72	2,18	4,96	0,64	59,48	63,55	59,40	49,68	25,53	57,04	37,57	79,81
Mínimo	0,40	0,47	0,14	0,20	750	732	756	715	38	-37	-72	-301
Máximo	12,10	6,50	11,90	1,70	876	883	880	847	101	102	21	-85
Rango	11,7	6,03	11,76	1,5	126	151	124	132	63,3	139	93	215,7
Coefficiente Vari%	66,17	65,62	113,32	76,65	7,47	7,93	7,18	6,23	37,26	200,44	203,53	39,79
Variable Estadígrafo	pH (unidades de pH) (C.F2 – medio)				Temperatura agua °C (C.F2 – fondo)				Oxígeno disuelto (mg/l) (C.F2 – fondo)			
	Hora				Hora				Hora			
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	7,69	7,63	7,32	7,13	28,83	28,98	27,52	25,77	4,20	2,08	0,74	1,06
Varianza	0,11	0,15	0,32	0,09	3,99	1,51	1,33	1,78	7,44	2,14	4,70	1,73
Desviación estándar	0,34	0,39	0,56	0,29	2,00	1,23	1,15	1,33	2,73	1,46	2,17	1,32
Mínimo	7,19	7,16	6,35	6,63	27,40	27,30	25,70	24,60	0,50	0,41	0,08	0,18
Máximo	8,09	8,20	7,75	7,38	32,20	30,30	28,70	28,00	7,60	4,30	4,94	3,20
Rango	0,9	1,04	1,4	0,75	4,8	3	3	3,4	7,1	3,89	4,86	3,02
Coefficiente Vari%	4,41	5,05	7,69	4,11	6,93	4,23	4,19	5,17	64,93	70,33	293,51	124,55
Variable Estadígrafo	Conductividad (µs/cm) (C.F2 – fondo)				Potencial redox (mv) (C.F2 – fondo)				pH (unidades de pH) (C.F2 – fondo)			
	Hora				Hora				Hora			
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	806	825	837	836	-3	-20	-140	-188	7,47	7,35	7,26	7,09
Varianza	2792,02	3149,16	3364,63	1520,39	4103,83	5044,81	12620,65	9111,02	0,12	0,14	0,28	0,09
Desviación estándar	52,84	56,12	58,01	38,99	64,06	71,03	112,34	95,45	0,34	0,37	0,53	0,30
Mínimo	754	765	767	774	-88	-100	-286	-290	7,01	6,93	6,34	6,64
Máximo	878	886	891	880	72	79	-12	-74	7,90	7,72	7,60	7,44
Rango	124	121	124	106	159,7	178,7	274,3	216,2	0,89	0,79	1,26	0,8
Coefficiente Vari%	6,56	6,80	6,93	4,66	2107,28	346,81	80,13	50,66	4,56	5,06	7,27	4,23

Tabla 9. Resultados estadígrafos para caudales afluentes y efluentes en cada unidad del sistema

Variable Estadígrafo	Q (l/s) E.S							Q (l/s) S.A						
	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	44,5	43,2	38,0	37,8	21,5	11,5	17,3	23,1	27,3	28,1	29,9	24,3	19,1	17,5
Varianza	103,30	48,77	22,17	1597,26	120,62	8,94	34,37	50,77	30,15	66,96	156,53	161,51	57,58	27,19
Desviación estándar	10,16	6,98	4,71	39,97	10,98	2,99	5,86	7,13	5,49	8,18	12,51	12,71	7,59	5,21
Mínimo	36,6	33,5	29,9	24,1	16,8	10,1	8,4	17,8	19,0	17,5	22,2	14,7	11,7	12,4
Máximo	62,8	50,7	41,1	115,3	42,3	17,0	22,5	34,4	32,6	37,6	52,6	47,2	29,9	23,6
Rango	26,15	17,2	11,2	91,2	25,5	6,95	14,1	16,6	13,6	20,1	30,4	32,5	18,2	11,2
Coefficiente Vari%	22,86	16,18	12,39	105,72	51,12	26,00	33,94	30,78	20,11	29,12	41,83	52,20	39,68	29,88
Variable Estadígrafo	Q (l/s) E.F1							Q (l/s) E.F2						
	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	10,1	13,3	13,9	13,3	10,1	6,7	7,2	12,9	14,0	13,8	16,1	13,8	12,2	10,2
Varianza	17,74	6,67	18,14	90,47	46,72	14,97	8,09	11,31	11,62	29,89	12,12	45,81	25,22	6,21
Desviación estándar	4,21	2,58	4,26	9,51	6,84	3,87	2,84	3,36	3,41	5,47	3,48	6,77	5,02	2,49
Mínimo	6,8	9,9	9,1	8,1	6,3	4,2	5,0	10,0	9,1	8,3	12,9	7,9	7,5	7,4
Máximo	16,9	17,1	19,6	31,1	21,8	13,0	11,0	17,5	18,2	20,8	21,5	25,4	20,4	13,3
Rango	10,06	7,16	10,47	23,00	15,54	8,80	6,00	7,47	9,12	12,47	8,56	17,5	12,87	5,92
Coefficiente Vari%	41,74	19,46	30,59	71,29	67,64	58,12	39,34	26,10	24,42	39,48	21,56	48,90	41,20	24,52
Variable Estadígrafo	Q (l/s) S.F1							Q (l/s) S.F2						
	Hora							Hora						
	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	15,3	20,8	20,4	21,6	20,8	15,4	13,9	20,0	20,3	24,8	27,8	27,8	22,3	16,5
Varianza	285,04	231,38	93,16	394,09	309,44	104,83	47,71	242,70	191,73	153,49	61,34	307,60	310,33	94,69
Desviación estándar	16,88	15,21	9,65	19,85	17,59	10,24	6,91	15,58	13,85	12,39	7,83	17,54	17,62	9,73
Mínimo	9,2	14,3	15,8	11,4	9,4	6,8	10,6	8,7	12,5	14,3	18,7	15,9	9,9	7,4
Máximo	47,5	49,7	38,5	59,1	53,0	33,1	26,9	48,7	46,5	46,9	39,9	60,2	54,9	33,4
Rango	38,3	35,4	22,7	47,7	43,6	26,3	16,3	40,0	34,0	32,6	21,2	44,3	45,0	26,0
Coefficiente Vari%	110,03	72,99	47,35	91,72	84,39	66,33	49,67	77,98	68,33	49,96	28,13	63,05	78,87	58,83

Tabla 9. Continuación resultados estadígrafos para caudales afluentes y efluentes en cada unidad del sistema

Variable	Q (l/s) S.S						
	Hora						
Estadígrafo	7:30 a.m	11:30 a.m	3:30 p.m	7:30 p.m	11:30 p.m	3:30 a.m	6:00 a.m
n	5	5	5	5	5	5	5
Media	35,9	43,6	45,3	50,4	50,0	39,5	30,9
Varianza	1021,25	808,56	473,34	710,61	1112,23	650,37	253,30
Desviación estándar	31,96	28,44	21,76	26,66	33,35	25,50	15,92
Mínimo	19,60	26,80	30,13	30,13	33,97	26,44	19,57
Máximo	96,15	96,15	85,27	98,99	113,20	87,91	60,30
Rango	76,5	69,3	55,1	68,9	79,2	61,5	40,7
Coficiente Vari%	89,12	65,27	48,04	52,93	66,67	64,55	51,46
Variable	Caudal promedio al día (l/s)						
Estadígrafo	Estación de muestreo						
	E.S	S.A	E.F1	E.F2	S.F1	S.F2	S.S
n	7	7	7	7	7	7	7
Media	27,5	23,8	10,3	13,2	18,1	22,4	41,7
Varianza	191,35	21,86	9,02	3,41	10,86	18,20	52,67
Desviación estándar	13,83	4,68	3,00	1,85	3,30	4,27	7,26
Mínimo	11,50	17,45	6,66	10,16	13,91	16,54	30,93
Máximo	44,46	29,91	13,92	16,15	21,64	27,84	50,37
Rango	33,0	12,5	7,3	6,0	7,7	11,3	19,4
Coficiente Vari%	50,38	19,65	29,23	14,02	18,23	19,01	17,42

Tabla 10. Resultados estadígrafos para caudal afluyente del sistema

Variable	CAUDAL AFLUENTE DEL SISTEMA (l/s)							
	Estadígrafo							
Hora	n	Media	Varianza	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Coefficiente Vari%
6 a.m	5	36,7	27,01	5,20	30,1	43,5	13,4	14,15
7 a.m	5	39,7	19,01	4,36	33,9	43,5	9,6	10,99
8 a.m	5	51,2	518,69	22,77	36,3	91,6	55,3	44,48
9 a.m	5	51,7	522,89	22,87	33,9	91,6	57,7	44,20
10 a.m	5	45,0	70,34	8,39	33,9	56,8	22,9	18,63
11 a.m	5	44,4	52,45	7,24	32,5	50,7	18,2	16,32
12 m	5	39,9	160,69	12,68	19,7	50,7	31	31,74
1 p.m	5	38,6	160,30	12,66	16,4	48,3	31,9	32,83
2 p.m	5	37,2	155,39	12,47	16,4	47,1	30,7	33,51
3 p.m	5	40,4	39,31	6,27	30,3	47,1	16,8	15,53
4 p.m	5	37,4	7,25	2,69	33,9	41,1	7,2	7,20
5 p.m	5	62,7	3702,80	60,85	33,9	171,5	137,6	97,05
6 p.m	5	61,1	4327,21	65,78	30,3	178,7	148,4	107,70
7 p.m	5	59,1	4480,51	66,94	25,0	178,7	153,7	113,18
8 p.m	5	31,7	130,27	11,41	24,1	51,9	27,8	35,98
9 p.m	5	26,8	117,82	10,85	19,1	45,9	26,8	40,50
10 p.m	5	27,5	171,59	13,10	19,5	50,7	31,2	47,60
11 p.m	5	23,4	126,60	11,25	17,4	43,5	26,1	48,00
12 p.m	5	22,0	115,41	10,74	15,8	41,1	25,3	48,92
1 a.m	5	17,0	34,93	5,91	8,9	25,5	16,6	34,72
2 a.m	5	14,0	11,71	3,42	9,11	18,6	9,49	24,40
3 a.m	5	12,7	6,98	2,64	10,2	17,0	6,8	20,84
4 a.m	5	11,4	10,78	3,28	8,4	17,0	8,6	28,74
5 a.m	5	13,0	11,49	3,39	8,4	17,8	9,4	26,02
6 a.m	5	17,4	26,20	5,12	8,4	21,0	12,6	29,34

Tabla 11. Resultados estadígrafos para caudal efluente del sistema

Variable	CAUDAL EFLUENTE DEL SISTEMA (l/s)							
	Estadígrafo							
Hora	n	Media	Varianza	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Coficiente Vari%
6 a.m	5	41,6	1153,46	33,96	19,6	101,7	82,1	81,58
7 a.m	5	41,6	1153,79	33,97	19,6	101,7	82,1	81,60
8 a.m	5	41,5	762,83	27,62	26,4	90,6	64,2	66,54
9 a.m	5	43,0	711,01	26,66	30,1	90,6	60,5	62,02
10 a.m	5	43,8	689,25	26,25	30,1	90,6	60,5	59,99
11 a.m	5	44,6	678,88	26,06	26,4	90,6	64,2	58,43
12 m	5	47,6	936,47	30,60	26,4	101,7	75,3	64,28
1 p.m	5	46,0	523,89	22,89	26,4	85,2	58,8	49,79
2 p.m	5	46,8	503,12	22,43	26,4	85,2	58,8	47,96
3 p.m	5	47,8	612,36	24,75	26,4	90,6	64,2	51,72
4 p.m	5	47,3	369,15	19,21	30,1	79,9	49,8	40,62
5 p.m	5	50,4	572,74	23,93	26,4	90,6	64,2	47,50
6 p.m	5	53,1	562,01	23,71	26,4	90,6	64,2	44,68
7 p.m	5	53,8	515,98	22,72	30,1	90,6	60,5	42,23
8 p.m	5	56,2	889,88	29,83	30,1	107,4	77,3	53,04
9 p.m	5	58,7	1195,28	34,57	31,0	119,1	88,1	58,86
10 p.m	5	58,5	1418,46	37,66	32,5	125,1	92,6	64,38
11 p.m	5	56,4	1041,99	32,28	34,0	113,2	79,2	57,19
12 p.m	5	54,8	1104,42	33,23	34,2	113,2	79,0	60,61
1 a.m	5	53,0	1160,00	34,06	33,4	113,2	79,8	64,28
2 a.m	5	46,6	628,50	25,07	28,6	90,6	62,0	53,74
3 a.m	5	45,6	660,58	25,70	27,3	90,6	63,3	56,38
4 a.m	5	42,7	582,50	24,13	26,4	85,2	58,8	56,47
5 a.m	5	38,0	338,82	18,41	22,1	69,8	47,7	48,46
6 a.m	5	34,0	239,20	15,47	19,6	60,0	40,4	45,44

Tabla 12. Resultados estadígrafos para variables físicas y químicas por cada estación del sistema

Variable Estadígrafo	Temperatura agua °C					Oxígeno disuelto (mg/l)				
	Estación					Estación				
	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Media	26,4	27,4	27,2	26,9	26,8	1,2	1,0	5,8	5,1	4,1
Varianza	1,84	5,06	5,28	6,34	5,38	0,34	1,09	29,87	26,75	13,98
Desviación estándar	1,36	2,25	2,30	2,52	2,32	0,58	1,05	5,46	5,17	3,74
Mínimo	25,2	25,3	25,1	24,9	24,8	0,7	0,2	0,4	0,4	0,3
Máximo	28,8	31,5	31,0	31,4	30,8	2,3	2,7	15,2	14,1	25,1
Rango	3,57	6,20	5,94	6,49	5,97	1,61	2,55	14,77	13,65	24,77
Coficiente Vari%	5,13	8,21	8,45	9,34	8,67	49,09	104,05	93,60	101,84	91,90
Variable Estadígrafo	Conductividad (µs/cm)					Potencial redox (mv)				
	Estación					Estación				
	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Media	801	846	716	765	750	-62	-180	-35	-23	-19
Varianza	8376,13	826,46	1052,02	999,89	380,95	3035,05	8742,87	3862,76	3078,10	3294,44
Desviación estándar	91,52	28,75	32,43	31,62	19,52	55,09	93,50	62,15	55,48	57,40
Mínimo	672	798	668	709	715	-143	-271	-121	-120	-101
Máximo	965	884	756	790	767	36	-58	65	58	57
Rango	292,61	86,00	87,87	80,59	52,40	178,70	213,00	186,10	178,37	158,20
Coficiente Vari%	11,43	3,40	4,53	4,14	2,60	88,46	51,96	178,01	244,20	294,98
Variable Estadígrafo	pH (unidades de pH)									
	Estación									
	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S					
n	7	7	7	7	7					
Media	7,33	7,10	7,77	7,68	7,66					
Varianza	0,03	0,02	0,24	0,23	0,19					
Desviación estándar	0,16	0,16	0,49	0,48	0,43					
Mínimo	7,13	6,94	7,18	7,26	7,24					
Máximo	7,54	7,31	8,39	8,47	8,36					
Rango	0,41	0,37	1,22	1,21	1,11					
Coficiente Vari%	2,24	2,20	6,28	6,24	5,68					

Tabla 13. Resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema (muestreos compuestos)

Variable	SO ₄ ²⁻ (mg/l)					NO ₃ ⁻ -N (mg/l)				
	Estación de muestreo					Estación de muestreo				
Estadígrafo	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	44,7	25,1	22,0	23,9	22,2	2,6	22,3	9,9	13,0	11,9
Varianza	294,00	178,89	65,84	99,97	41,86	0,72	180,71	5,51	39,34	7,69
Desviación estándar	17,15	13,38	8,11	10,00	6,47	0,85	13,44	2,35	6,27	2,77
Mínimo	21,0	3,0	15,3	14,4	15,7	1,1	9,0	8,7	7,3	9,1
Máximo	62,7	35,9	32,1	40,2	31,8	3,1	41,0	14,3	22,1	15,4
Rango	41,7	32,9	16,8	25,8	16,1	2,0	32,0	5,6	14,8	6,3
Coefficiente Vari%	38,36	53,22	36,84	41,91	29,09	32,10	60,40	23,66	48,08	23,27
Variable	NO ₂ ⁻ -N (mg/l)					NH ₃ -N (mg/l)				
	Estación de muestreo					Estación de muestreo				
Estadígrafo	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	0,183	0,122	0,121	0,114	0,113	24,22	19,68	12,99	15,59	14,13
Varianza	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	240,79	253,08	102,54	155,57	91,22
Desviación estándar	0,10	0,07	0,09	0,07	0,08	15,52	15,91	10,13	12,47	9,55
Mínimo	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	17,20	10,90	6,20	7,30	6,60
Máximo	0,270	0,180	0,180	0,170	0,180	41,8	42,9	24,0	29,4	26,7
Rango	0,267	0,177	0,177	0,167	0,177	24,6	32,0	17,8	22,1	20,1
Coefficiente Vari%	56,23	56,43	75,44	64,02	70,64	64,06	80,83	77,96	79,99	67,61
Variable	PO ₄ ³⁻ (mg/l)					Alcalin.(mg/l CaCO ₃)				
	Estación de muestreo					Estación de muestreo				
Estadígrafo	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	28,5	30,7	17,5	20,6	20,7	277,6	332,1	304,8	293,8	312,9
Varianza	20,66	11,62	10,13	17,90	31,13	523,26	622,25	742,21	1199,07	1259,19
Desviación estándar	4,55	3,41	3,18	4,23	5,58	22,87	24,94	27,24	34,63	35,49
Mínimo	21,3	25,3	14,6	15,0	14,3	249,5	299,5	269,5	239,6	251,8
Máximo	33,8	34,6	21,3	26,4	29,6	304,4	359,3	329,4	314,4	344,4
Rango	12,5	9,3	6,7	11,4	15,3	54,9	59,8	59,9	74,8	92,6
Coefficiente Vari%	15,97	11,10	18,15	20,57	26,96	8,24	7,51	8,94	11,78	11,34

Tabla 13. Continuación de resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema (muestreos compuestos)

Variable	S.Disueltos (mg/l)					S.Sedimentables (ml/l)				
	Estación de muestreo					Estación de muestreo				
Estadígrafo	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	563,6	529,4	501,7	484,6	494,3	5,9	0,3	0,4	0,2	0,8
Varianza	31863,5	19099,6	13487,7	15789,0	14849,4	2,1	0,0	1,1	0,0	0,6
Desviación estándar	178,50	138,20	116,14	125,65	121,86	1,43	0,18	1,06	0,09	0,78
Mínimo	398,0	396,0	388,0	360,0	402,0	3,5	0,1	0,1	0,1	0,2
Máximo	824,0	704,0	674,0	686,0	688,0	7,0	0,5	2,5	0,3	2,0
Rango	426	308	286	326	286	3,5	0,4	2,4	0,2	1,8
Coefficiente Vari%	31,67	26,10	23,15	25,93	24,65	24,18	61,50	242,99	39,89	91,73
Variable	S.Totales (mg/l)					S.Suspendidos (mg/l)				
	Estación de muestreo					Estación de muestreo				
Estadígrafo	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	780,3	610,6	624,6	596,4	595,0	261,1	120,1	150,1	125,8	120,3
Varianza	56905,5	25663,7	19699,3	24385,1	23431,5	7914,5	3730,5	1218,2	426,4	78,7
Desviación estándar	238,55	160,20	140,35	156,16	153,07	88,96	61,08	34,90	20,65	8,87
Mínimo	578,0	476,0	460,0	462,0	453,9	162,0	74,0	122,0	92,0	112,0
Máximo	1166,0	786,0	800,0	828,0	820,0	344,0	224,0	204,0	142,0	132,0
Rango	588	310	340	366	366	182,0	150,0	82	50	20,0
Coefficiente Vari%	30,57	26,24	22,47	26,18	25,73	34,08	50,86	23,25	16,42	7,37
Variable	S.S.V (mg/l)					DQO sol (mg/l)				
	Estación de muestreo					Estación de muestreo				
Estadígrafo	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Media	199,5	110,4	127,5	109,8	106,7	97,6	122,8	30,7	40,1	38,4
Varianza	15307,4	3090,5	1972,9	485,1	346,2	3070,1	20597,8	759,8	2360,6	1843,7
Desviación estándar	123,72	55,59	44,42	22,03	18,61	55,41	143,52	27,56	48,59	42,94
Mínimo	62,0	74,0	92,0	84,0	91,2	23,5	9,0	9,0	9,0	9,0
Máximo	340,0	206,0	204,0	138,0	138,0	165,2	367,6	67,4	114,6	107,9
Rango	278	132	112	54	47	141,7	358,6	58,4	105,6	98,9
Coefficiente Vari%	62,02	50,34	34,84	20,07	17,44	56,76	116,92	89,72	121,29	111,91

Tabla 13. Continuación de resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema (muestreos compuestos)

Variable	DQO tot (mg/l)				
	Estación de muestreo				
Estadígrafo	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	5	5	5	5	5
Media	551,7	260,4	240,5	226,5	282,2
Varianza	26492,8	13816,1	5136,2	2202,4	7979,3
Desviación estándar	162,77	117,54	71,67	46,93	89,33
Mínimo	313,0	134,0	182,0	179,0	161,8
Máximo	695,1	455,3	360,2	303,0	388,0
Rango	382,1	321,3	178,2	124	226,2
Coefficiente Vari%	29,50	45,14	29,80	20,72	31,65
Variable	DBO5 sol (mg/l)				
Estadígrafo	Estación de muestreo				
	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	5	5	5	5	5
Media	67,1	33,1	18,4	18,0	12,6
Varianza	1292,7	100,7	14,0	13,7	40,3
Desviación estándar	35,95	10,04	3,74	3,70	6,35
Mínimo	18,4	20,1	13,6	14,4	5,4
Máximo	111,0	45,4	21,9	24,4	20,2
Rango	92,6	25,3	8,3	10,0	14,8
Coefficiente Vari%	53,55	30,33	20,29	20,57	50,41
Variable	DBO5 tot (mg/l)				
Estadígrafo	Estación de muestreo				
	E.S	S.A	S.F1	S.F2	S.S
n	5	5	5	5	5
Media	249,2	79,7	60,7	51,6	48,1
Varianza	6605,5	2514,0	294,9	163,7	152,2
Desviación estándar	81,27	50,14	17,17	12,80	12,34
Mínimo	122,0	38,3	45,5	39,9	36,1
Máximo	313,1	161,1	88,2	69,7	66,8
Rango	191,1	122,8	42,7	29,8	30,7
Coefficiente Vari%	32,61	62,88	28,30	24,82	25,63

Tabla 14. Resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en centros de cada laguna (muestreos compuestos)

Variable	SO ₄ ²⁻ (mg/l) (C.A)			SO ₄ ²⁻ (mg/l) (C.F1)			SO ₄ ²⁻ (mg/l) (C.F2)			NO ₃ ⁻ -N (mg/l) (C.A)		
	Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad		
Estadígrafo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo
n	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4
Media	23,5	16,8	6,0	17,8	20,6	15,1	22,9	22,3	17,7	4,8	7,7	37,3
Varianza	51,09	104,68	7,75	22,70	76,89	135,46	64,37	72,24	96,66	12,06	9,01	17,04
Desviación estándar	7,15	10,23	2,78	4,76	8,77	11,64	8,02	8,50	9,83	3,47	3,00	4,13
Mínimo	14,5	6,7	3,5	11,8	9,2	3,6	12,8	10,3	4,9	2,8	6,0	32,0
Máximo	30,7	28,9	8,9	24,5	30,9	32,8	32,9	31,4	27,4	10,4	12,4	42,0
Rango	16,2	22,25	5,4	12,69	21,7	29,2	20,1	21,1	22,5	7,6	6,4	10,0
Coefficiente Vari%	30,47	61,00	46,75	26,77	42,53	77,27	35,06	38,14	55,55	72,57	38,91	11,06
Variable	NO ₃ ⁻ -N (mg/l) (C.F1)			NO ₃ ⁻ -N (mg/l) (C.F2)			NO ₂ ⁻ -N (mg/l) (C.A)			NO ₂ ⁻ -N (mg/l) (C.F1)		
	Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad		
Estadígrafo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo
n	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5
Media	16,5	6,3	8,1	9,5	10,6	17,8	0,049	0,053	0,102	0,075	0,074	0,116
Varianza	17,12	21,08	31,48	2,24	2,50	86,84	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,04
Desviación estándar	4,14	4,59	5,61	1,50	1,58	9,32	0,08	0,09	0,24	0,10	0,10	0,20
Mínimo	12,0	2,8	3,1	8,0	8,4	10,0	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Máximo	21,5	12,6	15,0	11,6	12,3	34,0	0,140	0,160	0,400	0,190	0,200	0,400
Rango	9,5	9,8	11,9	3,6	3,9	24,0	0,14	0,16	0,40	0,19	0,20	0,40
Coefficiente Vari%	25,11	73,46	69,18	15,79	14,97	52,22	170,66	177,45	239,22	136,52	136,56	176,16
Variable	NO ₂ ⁻ -N (mg/l) (C.F2)			NH ₃ -N (mg/l) (C.A)			NH ₃ -N (mg/l) (C.F1)			NH ₃ -N (mg/l) (C.F2)		
	Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad		
Estadígrafo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo
n	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5
Media	0,068	0,067	0,054	24,4	24,6	29,6	17,2	11,6	17,1	16,3	15,2	19,2
Varianza	0,01	0,01	0,03	140,09	153,49	2105,10	76,74	58,29	59,25	57,77	94,81	57,83
Desviación estándar	0,12	0,10	0,16	11,84	12,39	45,88	8,76	7,63	7,70	7,60	9,74	7,60
Mínimo	0,003	0,003	0,003	18,3	17,3	15,6	10,5	8,0	8,2	12,0	8,1	8,8
Máximo	0,240	0,220	0,320	43,4	44,4	107,0	30,1	25,8	29,3	30,5	32,7	28,5
Rango	0,237	0,217	0,317	25,1	27,1	91,4	19,6	17,8	21,1	18,5	24,6	19,7
Coefficiente Vari%	171,38	155,30	303,30	48,54	50,30	154,83	51,04	65,70	44,96	46,66	63,86	39,53

Tabla 14. Continuación de resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en centros de cada laguna (muestreos compuestos)

Variable	P04³⁻ (mg/l) (C.A)			P04³⁻ (mg/l) (C.F1)			P04³⁻ (mg/l) (C.F2)			Alcalin.(mg/l CaCO3) (C.A)		
Estadígrafo	Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad		
	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo
n	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4
Media	26,6	27,4	41,9	20,0	18,5	21,1	22,2	20,8	24,7	346	338	501
Varianza	1,78	7,61	413,98	37,71	26,04	65,65	34,50	30,82	58,32	1761,64	910,27	25437,8
Desviación estándar	1,33	2,76	20,35	6,14	5,10	8,10	5,87	5,55	7,64	41,97	30,17	159,49
Mínimo	24,7	25,2	17,2	11,1	10,5	13,0	14,2	13,4	427,0	299,5	294,5	359,3
Máximo	27,8	30,4	57,6	26,6	22,8	29,0	30,4	28,4	32,4	399,3	359,0	673,8
Rango	3,08	5,24	40,4	15,49	12,3	16,0	16,2	15	-394,6	99,8	64,5	314,4
Coefficiente Vari%	5,02	10,05	48,56	30,64	27,52	38,46	26,46	26,69	30,95	12,13	8,92	31,84
Variable	Alcalin.(mg/l CaCO3) (C.F1)			Alcalin.(mg/l CaCO3) (C.F2)			S.Disueltos (mg/l) (C.A)			S.Disueltos (mg/l) (C.F1)		
Estadígrafo	Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad		
	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo
n	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5
Media	280	300	292	300	311	312	461	468	1879	438	477	491
Varianza	1057,02	748,21	926,83	835,67	1534,79	1701,73	4797,03	10656,7	248852	2510,8	12475,7	4318,6
Desviación estándar	32,51	27,35	30,44	28,91	39,18	41,25	69,26	103,23	498,85	50,11	111,69	65,72
Mínimo	249,5	269,5	264,5	249,5	254,5	254,5	398,0	378,0	1528,0	400,0	382,0	427,0
Máximo	314,4	339,4	344,4	317,0	359,3	349,4	530,0	602,0	2648,0	512,0	669,0	604,0
Rango	64,9	69,9	79,9	67,5	104,8	94,8	132,0	224	1120	112,0	287,0	177,0
Coefficiente Vari%	11,62	9,13	10,43	9,64	12,59	13,23	15,04	22,07	26,56	11,43	23,44	13,38
Variable	S.Disueltos (mg/l) (C.F2)			S.sediment. (ml/l) (C.A)			S.sediment. (ml/l) (C.F1)			S.sediment. (ml/l) (C.F2)		
Estadígrafo	Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad		
	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo
n	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5
Media	444	444	508	2,1	7,6	44,4	0,1	0,0	8,3	0,4	1,0	8,6
Varianza	2243,2	1419,1	16546,9	16,9	8,9	30250,5	0,1	0,0	13,0	0,0	5,0	121,6
Desviación estándar	47,36	37,67	128,63	4,12	2,98	173,93	0,27	0,04	3,60	0,07	2,24	11,03
Mínimo	388,0	402,0	427,0	0,1	5,0	19,0	0,0	0,0	6,0	0,3	0,0	5,0
Máximo	512,0	504,0	738,0	7,0	11,0	390,0	0,6	0,1	15,0	0,5	5,0	30,0
Rango	124,0	102,0	311,0	6,9	6,0	371,0	0,6	0,1	9	0,2	5,0	25,0
Coefficiente Vari%	10,67	8,49	25,33	192,32	39,37	391,63	223,61	223,61	43,18	17,97	223,61	128,11

Tabla 14. Continuación de resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en centros de cada laguna (muestreos compuestos)

Variable	S.Totales (mg/l) (C.A)			S.Totales (mg/l) (C.F1)			S.Totales (mg/l) (C.F2)			S.Suspend. (mg/l) (C.A)		
	Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad		
Estadígrafo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo
n	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4
Media	564	651	8264	549	543	866	547	484	973	98	165	5810
Varianza	3673,1	32075,9	92450648	4563,5	4963,3	18716,3	3034,7	16331,3	41706,6	1190,0	18229,2	97779218
Desviación estándar	60,61	179,10	9615,13	67,55	70,45	136,81	55,09	127,79	204,22	34,50	135,02	9888,34
Mínimo	490	478	3538	466	472	732	482	310	746	64	100	2010
Máximo	636	896	24108	644	642	1072	632	662	1198	146	380	22333
Rango	146	418	20570	178	170,0	340,0	150,0	352	452	82,0	280,0	20323,0
Coefficiente Vari%	10,75	27,51	116,34	12,31	12,97	15,80	10,06	26,40	20,98	35,31	82,00	170,19
Variable	S.Suspend. (mg/l) (C.F1)			S.Suspend. (mg/l) (C.F2)			S.S.V (mg/l) (C.A)			S.S.V (mg/l) (C.F1)		
	Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad		
Estadígrafo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo
n	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5
Media	135	122	392	122	126	453	68	130	2258	116	99	253
Varianza	555,5	375,0	12440,6	253,6	2125,1	36418,7	1576,8	4895,4	23818341	286,5	545,1	10679,5
Desviación estándar	23,57	19,36	111,54	15,93	46,10	190,84	39,71	69,97	4880,40	16,93	23,35	103,34
Mínimo	116	102	328	102	106	220	24	84	742	92	72	148
Máximo	176	148	598	146	212	678	104	240	10533	134	132	424
Rango	60	46	270	44	106,0	458,0	80,0	156	9791	42,0	60,0	276,0
Coefficiente Vari%	17,47	15,92	28,48	13,10	36,66	42,12	58,46	53,74	216,19	14,57	23,58	40,81
Variable	S.S.V (mg/l) (C.F2)			DQO tot (mg/l) (C.A)			DQO tot (mg/l) (C.F1)			DQO tot (mg/l) (C.F2)		
	Profundidad			Profundidad			Profundidad			Profundidad		
Estadígrafo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo
n	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Media	110	104	239	248,1	269,4	2471,2	205,3	204,4	427,9	215,5	192,9	363,8
Varianza	256,2	1331,9	15638,3	10222,2	20552,8	4077167	101,2	765,5	7033,7	535,8	3480,8	24667,3
Desviación estándar	16,01	36,49	125,05	101,10	143,36	2019,20	10,06	27,67	83,87	23,15	59,00	157,06
Mínimo	98	72	152	128	148	806	195	169	331	189	145	179
Máximo	134	168	447	347	485	5390	219	236	533	236	271	537
Rango	36	96	295	219,4	336,9	4584,0	24,0	67	202,5	47,2	126,1	358,4
Coefficiente Vari%	14,51	35,06	52,30	40,76	53,22	81,71	4,90	13,54	19,60	10,74	30,59	43,17

Tabla 14. Continuación de resultados estadígrafos para variables físicas y químicas en centros de cada laguna (muestreos compuestos)

Variable	DBO5 tot (mg/l) (C.A)			DBO5 tot (mg/l) (C.F1)			DBO5 tot (mg/l) (C.F2)		
	Profundidad			Profundidad			Profundidad		
Estadígrafo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo
n	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Media	71,9	69,7	416,1	50,3	47,2	126,5	51,9	43,3	57,3
Varianza	797,3	1160,1	78998,2	714,7	671,6	1890,6	744,1	239,1	2198,0
Desviación estándar	28,24	34,06	281,07	26,73	25,92	43,48	27,28	15,46	46,88
Mínimo	37	39	137	24	31	94	25	23	17
Máximo	97	119	771	85	89	185	85	56	109
Rango	59,5	80,7	633,9	61,2	57,3	91,2	60,8	32,3	92,6
Coefficiente Vari%	39,25	48,89	67,54	53,17	54,91	34,38	52,53	35,68	81,78

Tabla 15. Resultados estadígrafos para clorofila en lagunas facultativas (muestreos compuestos)

Variable	Clorofila (C.F1)		Clorofila (C.F2)		Clorofila (µg/l)
	(µg/l)		(µg/l)		
Estadígrafo	Profundidad		Profundidad		Estación
	Superficie	Medio	Superficie	Medio	S. sistema
n	5	5	5	5	5
Media	852,2	683,3	656,0	360,5	947,2
Varianza	287373	190691	563276	79215	914689
Desviación estándar	536,07	436,68	750,52	281,45	956,39
Mínimo	299,9	258,7	205,8	158,8	129,4
Máximo	1634,6	1134,8	1846,3	757,6	2275,6
Rango	1334,74	876,14	1640,52	598,84	2146,2
Coefficiente Vari%	62,91	63,91	114,41	78,07	100,97

Tabla 16. Resultados promedios ponderados para sulfuros en laguna anaerobia (muestreos puntuales)

Hora	Altura (m)	PARÁMETRO							
		T. agua °C	O.D (mg/l)	P. Redox (mv)	pH	S ⁻² (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	T. aire °C	Caudal l/s
	0,50	27,7	0,13	-233	6,93	5,2	3,0	27,1	
8 a.m	1,46	27,4	0,09	-256	6,93	6,5	3,0	....	42,3
	2,92	26,1	0,10	-279	7,09	....	....	....
	0,50	27,5	0,18	-269	6,96	6,4	3,1	28,6	
11 a.m	1,46	27,2	0,22	-279	6,95	6,7	4,3	....	43,5
	2,92	27,5	0,11	-255	6,52	....	....	....
	0,50	28,5	0,09	-303	6,95	8,5	3,0	28,4	
2 p.m	1,46	28,0	0,10	-310	6,96	8,1	3,0	....	39,3
	2,92	28,2	0,08	-272	6,93	....	....	....
	0,50	27,4	0,10	-289	7,01	6,6	9,7	28,1	
5 p.m	1,46	26,9	0,09	-293	6,91	11,5	3,0	....	32,1
	2,92	26,2	0,10	-279	6,87	....	....	....
	0,50	26,1	0,15	-293	7,00	7,3	3,0	25,7	
8 p.m	1,46	26,3	0,11	-302	6,93	7,7	3,0	....	25,5
	2,92	26,4	0,09	-297	6,94	....	....	....
	0,50	25,5	0,08	-250	6,98	8,0	3,0	24,5	
11 p.m	1,46	25,6	0,07	-254	6,86	8,6	15,1	....	19,3
	2,92	25,9	0,08	-256	6,95	....	....	....
	0,50	25,2	0,11	-263	6,96	8,1	7,3	23,3	
2 a.m	1,46	25,4	0,14	-269	6,94	7,9	6,8	....	11,7
	2,92	25,6	0,10	-274	6,95	....	....	....
	0,50	25,0	0,10	-262	6,95	7,3	3,0	23,1	
5 a.m	1,46	24,7	0,12	-263	6,96	6,6	3,0	....	13,4
	2,92	25,6	0,09	-263	6,91	....	....	....

Observación: S⁻² = Sulfuros totales

Se hizo el análisis de componentes de varianza para determinar su variación por factor para los muestreos realizados en el centro de las tres lagunas.

En la tabla 17 se muestran los porcentajes de la varianza para cada variable en el muestreo nocturno, los factores de variación son: muestreo, hora, sitio y profundidad.

Tabla 17. Porcentaje de la varianza para cada variable muestreo nocturno en los centros de las tres lagunas

Variable	Factor			
	Muestreo	Hora	Sitio	Profundidad
Temperatura del agua	3,42	72,31	13,22	11,05
Oxígeno disuelto	4,08	4,29	50,01	41,62
Potencial redox	0,00	9,65	72,67	17,68
pH	37,48	9,09	30,37	23,06
Cond. Eléctrica	24,60	3,20	13,23	58,97

Los valores por debajo del 30% no se consideran significativos, por lo tanto para el factor muestreo la que presentó mayor variación fue el pH, aunque no es considerable. El factor hora contribuyó considerablemente sobre la variación de la temperatura. Con el respecto al sitio las variables que exhibieron mayor variación fueron el oxígeno disuelto y el potencial redox. Para el factor profundidad fueron el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica.

En la tabla 18 se muestran los porcentajes de la varianza para cada variable en el muestreo compuesto, los factores de variación son: muestreo, sitio y profundidad.

De acuerdo a la tabla 18, para el factor muestreo las que presentaron mayor variación fueron los nitritos y el nitrógeno amoniacal, aunque esta última sin mayor consideración. Con relación al factor sitio los sulfatos tuvieron mayor variación aunque fue poco significativo. El factor que produjo mayor variación para casi todas las variables de la tabla 18 fue la profundidad, con menor proporción en el nitrógeno amoniacal, siguiéndole en orden ascendente la variable nitritos, alcalinidad, sulfatos y fósforo soluble, las demás presentan casi un 100% de variación por este factor.

Tabla 18. Porcentaje de la varianza para cada variable muestreo compuesto en los centros de las tres lagunas

Variable	Factor		
	Muestreo	Sitio	Profundidad
Sulfatos	0,00	36,21	63,79
Nitratos	0,00	0,00	100,00
Nitritos	49,58	0,00	50,42
Nitrógeno amoniacal	38,5	23,13	38,37
Fósforo soluble	3,01	30,22	66,76
Alcalinidad	8,06	30,04	61,89
Sólidos disueltos	0,00	2,87	97,13
Sólidos sed.	0,26	0,00	99,74
Sólidos totales	0,00	0,00	100,00
Sólidos susp.	0,00	0,00	100,00
Sólidos susp. volátiles	0,00	0,00	100,00
DQO total	0,00	1,07	98,93
DBOs total	0,00	2,68	97,32

En la tabla 19 se muestran los porcentajes de la varianza para cada variable en el muestreo de sulfuros, los factores de variación son: muestreo, hora y profundidad.

Tabla 19. Porcentaje de la varianza para cada variable muestreo sulfuros en el centro de laguna anaerobia

Variable	Factor		
	Muestreo	Hora	Profundidad
Temperatura del agua	11,48	71,63	16,89
Oxígeno disuelto	21,66	17,78	60,56
Potencial redox	46,36	38,74	14,90
pH	18,98	2,36	78,66
Sulfuros	0,49	22,01	77,5
Sulfatos	0,00	3,95	96,05

Con relación a la tabla 19, para el factor muestreo la variable que presentó mayor variación fue el potencial redox. Para el factor hora el porcentaje de mayor variación la mostró la temperatura del agua de la laguna anaerobia. Con respecto al factor profundidad las variables de mayor variación la presentaron: sulfatos, pH, sulfuros y oxígeno disuelto.

En la tabla 20 se muestran los porcentajes de la varianza para la clorofila “a” en el muestreo compuesto, los factores de variación son: muestreo, sitio y profundidad.

Tabla 20. Porcentaje de la varianza para clorofila “a” muestreo compuesto en los centros de lagunas facultativas.

Variable	Factor		
	Muestreo	Sitio	Profundidad
Clorofila “a”	21,24	19,01	59,75

El factor profundidad fue el que más incidió para que se presentara variación importante en la variable clorofila “a”.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1 ANÁLISIS DE TEMPERATURA AMBIENTE Y VELOCIDAD DEL VIENTO

En las figuras 6 y 7 se muestran los resultados procesados de temperatura ambiente y velocidad del viento.

Figura 6. Temperatura ambiente

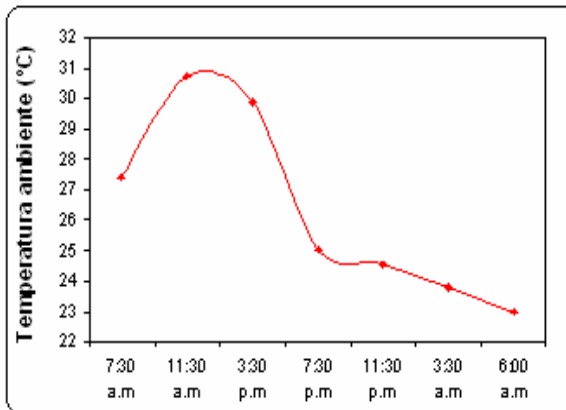
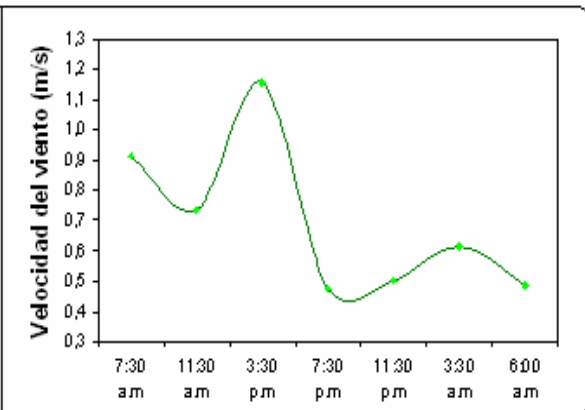


Figura 7. Velocidad del viento



Se obtuvo una temperatura ambiente promedio de 26,3 °C para el sistema. La temperatura máxima medida en los muestreos fue de 34.5 °C (a las 3:30 p.m) y la mínima de 22,1 °C al terminar noche de lluvia (a las 6 a.m), ver anexo 5. Las horas que presentaron mayor y menor variación fueron las 3:30 p.m y las 3:30 a.m, respectivamente.

Se puede observar en la figura 6 cuales fueron las horas de máxima temperatura promedio en el sistema, ubicándose entre las 11:30 de la mañana, con los máximos valores, y las 3:30 de la tarde, donde se consiguieron también valores considerables.

Para la velocidad del viento se obtuvo un promedio de 0.7 m/s, variando considerablemente a las diferentes horas del día, durante los cinco muestreos realizados, excepto a las 7:30 de la mañana, donde se tuvo menor variabilidad. En los cinco muestreos realizados se obtuvieron velocidades máximas de 2.4 m/s en día lluvioso (ver anexo 1) y velocidad mínima entre 0 a 0.1 m/s, en horas de la tarde y de la noche.

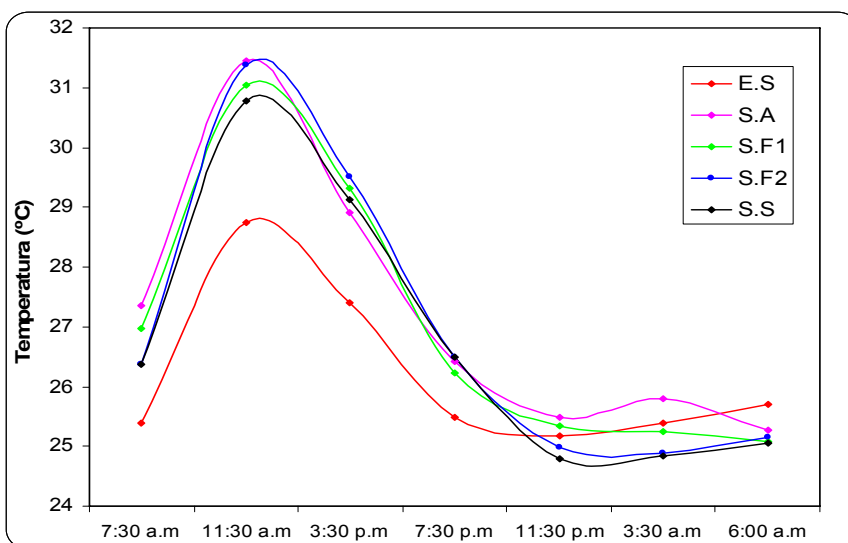
De la figura 7, se tiene un máximo promedio de 1.16 m/s en las horas de la tarde y un mínimo de 0.47 m/s a las 7:30 p.m.

9.2 ANÁLISIS DE VARIABLES OBTENIDAS EN DIVERSAS MUESTRAS

9.2.1 Parámetros fisicoquímicos en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema. En los cinco muestreos puntuales realizados, se midieron los parámetros: Temperatura del agua, oxígeno disuelto, conductividad, potencial redox y pH, los cuales se analizarán a continuación.

* **Temperatura.** De acuerdo a la tabla 7 se construyen las figuras 8 y 9 relacionadas con la temperatura en afluentes y efluentes de cada unidad de la planta.

Figura 8. Temperatura en afluentes y efluentes de cada unidad, en las diferentes horas del día



Con respecto a la temperatura del afluente de planta (E.S), se obtiene una temperatura promedio de 26.4 °C. La hora de máxima variación se presentó a las 7:30 de la mañana y la de mínima variación fue a las 11:30 p.m. La temperatura máxima alcanzada en este punto fue de 32.3 °C a las 11:30 a.m y la mínima de 22.1 °C a las 7:30 a.m.

En general la temperatura máxima promedio en la estación anteriormente mencionada se obtuvo a las 11:30 de la mañana, con valores importantes hasta las 3:30 p.m. Es de anotar, que los valores de temperatura ambiente durante el día, siempre son mayores que los del agua a la entrada del sistema, pero en las horas de la noche mientras que la temperatura del agua es casi constante, la del ambiente disminuye.

Con relación a la temperatura del efluente de la laguna anaerobia (S.A), se cuenta con un promedio de 27.4 °C. Se presentó mayor variabilidad a las 7:30 a.m y menor a las 3:30 a.m. Se obtuvo un valor máximo de 33.9 °C a las 11:30 a.m y un mínimo de 21.9 °C a las 6 a.m en dicho efluente.

En la estación anterior se obtuvo una temperatura máxima promedio a las 11:30 a.m, considerada entre una de las más altas de las estaciones analizadas en dicho gráfico. Es importante anotar que en las horas diurnas dicho efluente tiene una temperatura muy similar a la del ambiente (ver figura 6).

Al analizar la temperatura de los efluentes de las lagunas facultativas (S.F1 y S.F2), se observaron valores promedios similares de 27.2 y 26.9 °C respectivamente. Se alcanzaron valores máximos de 34.2 y 34.4 °C, correspondiendo a las 11:30 a.m y valores mínimos de 22.8 y 23.1 °C, presentados a las 7:30 a.m, para ambas lagunas. Las horas de mayor y menor variabilidad del día, correspondieron a las 7:30 a.m y 3:30 a.m respectivamente, en dichas unidades.

La temperatura máxima promedio en los efluentes de las lagunas facultativas, igual que en las estaciones analizadas anteriormente, se alcanzó a las 11:30 de la mañana, con mayor diferencia con respecto al afluente de la planta y muy similar al efluente de la laguna anaerobia. Además, si se analizan las temperaturas que presentan los efluentes de las tres lagunas durante todas las horas del día, poseen casi el mismo comportamiento.

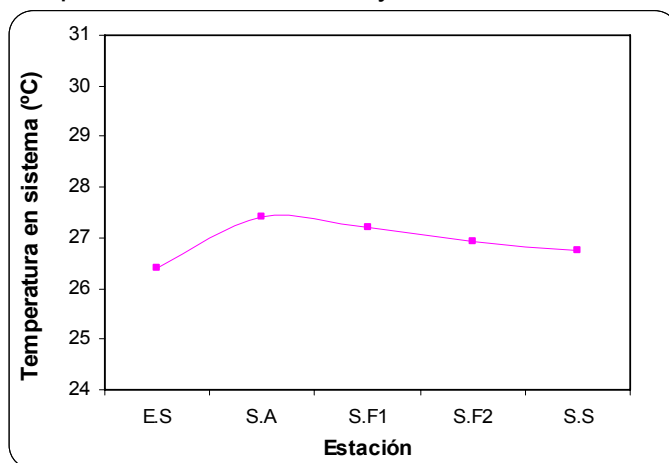
El efluente del sistema total (S.S), presentó un promedio de temperatura de 26.8 °C. La mayor variabilidad se presentó a las 7:30 de la mañana y la menor a las 3:30 a.m, con temperatura máxima alcanzada en los cinco muestreos de 33.4 °C en la hora 11 :30 a.m y una mínima de 23.3 °C en la hora 7:30 a.m.

A este efluente correspondió un promedio máximo de temperatura a las 11:30 a.m. Su comportamiento es análogo al presentado para los efluentes de las tres lagunas.

Es de aclarar que las temperaturas máximas alcanzadas para estas estaciones pueden lograrse en las horas del medio día, porque el comportamiento de las gráficas de la figura 8, perfectamente así lo describen.

La figura 9, describe la temperatura promedio ponderada en los afluentes y efluentes de cada unidad del sistema. Estos datos muestran la baja variabilidad que existió de una estación a otra, siendo más notorio al pasar el agua por el proceso anaerobio, donde aumentó la temperatura aproximadamente en 1°C, aunque en los datos arrojados en las diferentes horas establecidas en el día, este aumento se encuentra en un rango entre 1 a 3 °C (ver figura 8). Las demás estaciones (efluentes de las lagunas facultativas y efluente total) presentaron temperaturas promedio muy similares al efluente de la laguna anaerobia.

Figura 9. Temperatura promedio en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema



En general el sistema gana energía y al hacer una comparación de la temperatura ambiente con la temperatura del agua afluente al sistema, existió una diferencia mayor a 2 °C aproximadamente, con respecto a las horas diurnas, y si comparamos, en estas mismas horas, la temperatura ambiente con la que presentaron los efluentes de las 3 lagunas, fue casi similar. En las horas de la noche mientras que la temperatura ambiente descendió, en estas cinco estaciones la temperatura fue estable, alrededor de los 25 °C (ver figuras 6 y 8).

* **Oxígeno disuelto.** Las figuras 10 y 11 muestran el oxígeno disuelto en afluentes y efluentes de cada unidad de la planta.

El afluente de la planta presentó oxígeno disuelto promedio de 1.2 mg/l. Se presenta alta variabilidad en los datos arrojados en las diferentes horas del día, siendo las horas

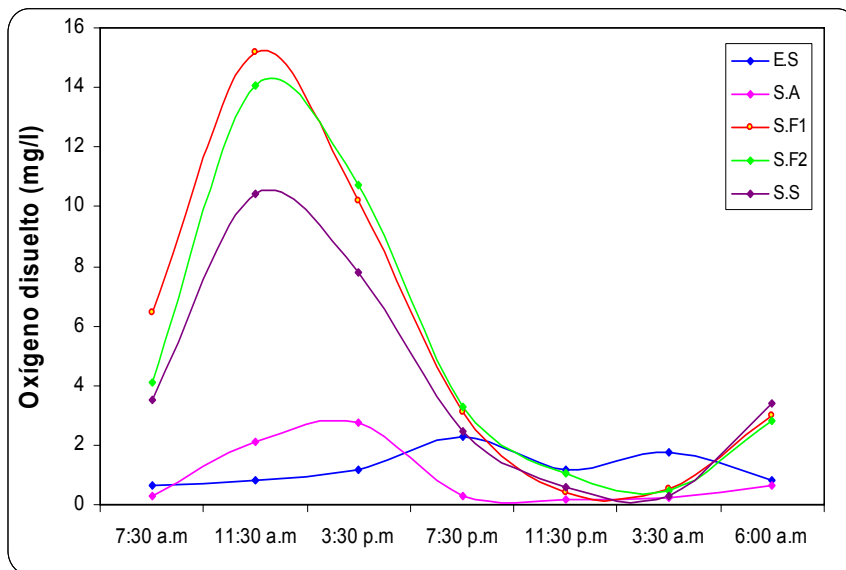
de mayor y menor variación las 6 a.m y las 3:30 p.m respectivamente. El oxígeno máximo alcanzado fue de 4.1 mg/l a las 7:30 p.m y el mínimo de 0.02 mg/l a las 3:30 a.m.

En la figura 10 se observa un oxígeno máximo promedio en dicha estación, en la hora 7:30 p.m.

El oxígeno disuelto promedio que se presentó en el efluente de la laguna anaerobia fue de 1 mg/l. El coeficiente de variación máximo se dio a las 3:30 p.m y el mínimo a las 7:30 a.m. El oxígeno máximo alcanzado en esta estación se presentó a las 3:30 p.m con un valor de 7.2 mg/l y un mínimo de 0.03 mg/l logrado a las 3:30 a.m.

En la estación anteriormente mencionada se dió un oxígeno máximo promedio a las 3:30 p.m de 2.74 mg/l.

Figura 10. Oxígeno disuelto (promedio) en afluentes y efluentes de cada unidad, en las diferentes horas del día



En los efluentes de las lagunas facultativas 1 y 2, el oxígeno promedio al día fue de 5.8 mg/l y 5.1 mg/l respectivamente. En estos efluentes se presentó la máxima variabilidad en la hora 6 a.m y la mínima se dió para la facultativa 1 en la hora 7:30 p.m y para la facultativa 2 en la hora 11:30 a.m. Los valores de oxígeno máximos alcanzados en dichos efluentes fueron, para la facultativa 1 de 24 mg/l presentado a las 11:30 a.m y para la facultativa 2 de 20.1 mg/l a las 3:30 p.m. Los valores mínimos correspondieron a

0.14 y 0.02 mg/l, obtenidos a las 11:30 p.m y 3:30 a.m para cada laguna respectivamente.

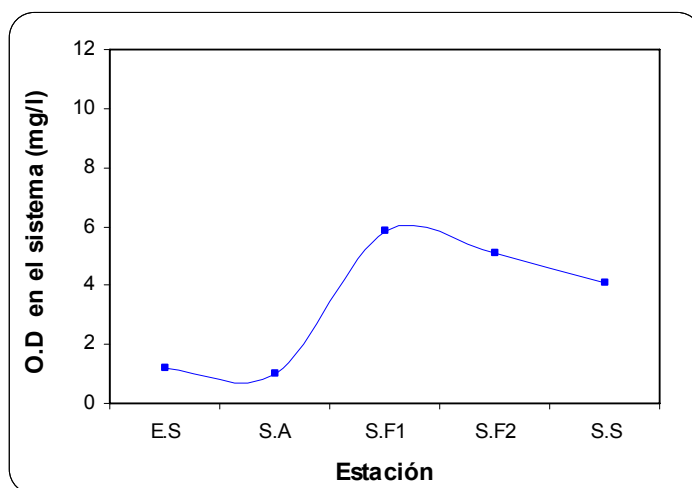
De acuerdo a la figura 10 se presentó el oxígeno máximo promedio para ambas efluentes a las 11:30 a.m.

El resultado de los dos efluentes anteriores (S.S), presentó un promedio de 4.1 mg/l e igual que el efluente de la laguna facultativa 1, presentó mayor variabilidad en la hora 6 a.m y menor en la hora 7:30 p.m. Se alcanzó un valor máximo en esta estación de 21.2 mg/l de oxígeno disuelto a las 11:30 a.m y un mínimo de 0.03 mg/l a las 3:30 a.m. En dicho efluente se obtuvo el oxígeno máximo promedio a las 11:30 a.m.

Es importante resaltar el papel desempeñado por las algas, porque pueden producir oxígeno en exceso del requerido para la respiración y crear condiciones de sobresaturación, tal y como lo confirman los datos anteriores al ser comparados con el oxígeno disuelto de saturación del sistema de aproximadamente 6.72 mg/l.

La figura 11 describe el oxígeno promedio ponderado en los afluentes y efluentes de cada unidad del sistema.

Figura 11. Oxígeno promedio ponderado en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema



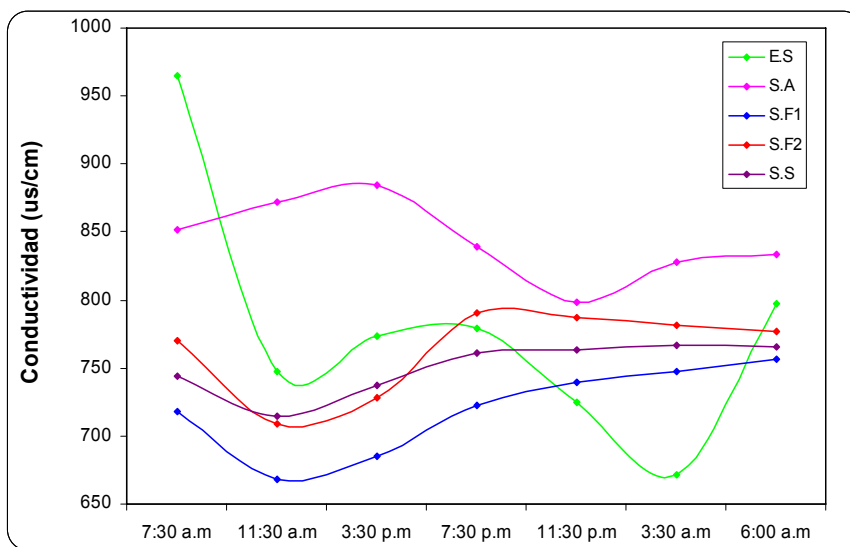
El oxígeno disuelto en general en todo el sistema presentó alta variabilidad en cada estación, donde existió mayor coeficiente de variación en los efluentes de las 3 lagunas con respecto al afluente del sistema.

Analizando las figuras 10 y 11, es importante recalcar como el oxígeno disuelto aumentó considerablemente en los efluentes de las lagunas facultativas en las horas de la mañana hasta las 3:30 p.m, además de que en éstos existió similar comportamiento, con un oxígeno disuelto un poco mayor en la facultativa 1 en las horas de la mañana.

Al realizar el análisis de regresión lineal con los datos de temperatura y oxígeno disuelto para las estaciones S.F1, S.F2 y S.S, durante las siete horas establecidas en las figuras 8 y 10 se obtuvieron los coeficientes de correlación de 0.98, 0.99 y 0.96 respectivamente. Esto implica que los datos de oxígeno disuelto encontrados para dichos efluentes presentaron una relación directamente proporcional con los datos de temperatura encontrados. De igual forma a partir de las figuras 9 y 11 para las mismas estaciones, con respecto al promedio, se encontró un coeficiente de correlación de 0.92, donde se aprecia nuevamente la relación descrita entre estas variables.

***Conductividad eléctrica.** Las figuras 12 y 13 relacionan la conductividad eléctrica en afluentes y efluentes de cada unidad de la planta.

Figura 12. Conductividad en afluentes y efluentes de cada unidad, en las diferentes horas del día



El promedio al día de conductividad para el afluente del sistema fue de 801 us/cm. Los valores de este parámetro presentaron mayor variabilidad a las 11:30 p.m, y le siguieron en menor proporción las horas de la madrugada, con respecto a las horas del día donde no existió diferencia importante en su coeficiente de variación. A las 7:30 a.m se obtuvo el máximo valor de 1144 us/cm y a las 11:30 p.m un mínimo de 514 us/cm.

En la figura 12 se contó con una conductividad máxima promedio en dicha estación, en la hora 7:30 a.m.

Para el efluente de la laguna anaerobia se observó un promedio de conductividad de 846 us/cm. La variabilidad presentada en las diferentes horas del día no fue considerable, donde el coeficiente de variación mayor se presentó a las 11:30 a.m y el mínimo a las 6 a.m sin diferencia importante. El valor máximo se logró a las 7:30 a.m de 1014 us/cm y un mínimo de 680 us/cm a las 11:30 p.m.

En la figura 12 se observa una conductividad máxima promedio en dicha estación, en la hora 3:30 p.m.

Con relación a los efluentes de las lagunas facultativas 1 y 2, se obtuvieron promedios de 716 y 765 us/cm en conductividad. Para ambas lagunas se encontró mayor variación en los datos en la hora 11:30 a.m y menor en la hora 3:30 a.m, siendo mayor la variación en el efluente de la laguna facultativa 1. Los máximos alcanzados fueron de 961 y 902 us/cm (en las horas 11:30 a.m y 3:30 p.m) y los mínimos de 542 y 533 us/cm (en las horas 11:30 a.m en ambas), para la facultativa 1 y 2 respectivamente.

Según la figura 12 la conductividad máxima promedio se obtuvo a las 6 a.m para el efluente de la facultativa 1 y 7:30 p.m para la facultativa 2.

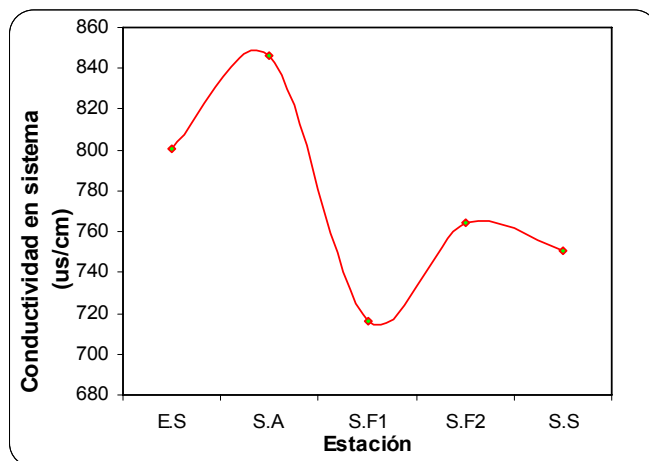
El efluente total de la planta presentó un promedio de conductividad de 750 us/cm. La variación presentada en las diferentes horas del día fue muy similar a la que presentó las lagunas facultativas. El máximo valor se obtuvo a las 3:30 pm de 862 us/cm y el mínimo de 564 us/cm a las 11: 30 p.m.

En la figura 12 la conductividad máxima promedio para la estación anterior se observó las 3:30 ó 6 a.m.

La figura 13 describe la conductividad promedio ponderada en los afluentes y efluentes de cada unidad del sistema.

La estación que presentó mayor variabilidad es el afluente de la planta y la de menor el efluente del sistema total. Las conductividades más altas en el sistema se lograron en la salida de la laguna anaerobia, donde se espera que exista una correspondencia en sólidos disueltos en esta estación. Las concentraciones de conductividad aquí presentadas, se asociarán más adelante con la concentración de iones de este sistema.

Figura 13. Conductividad eléctrica promedio en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema



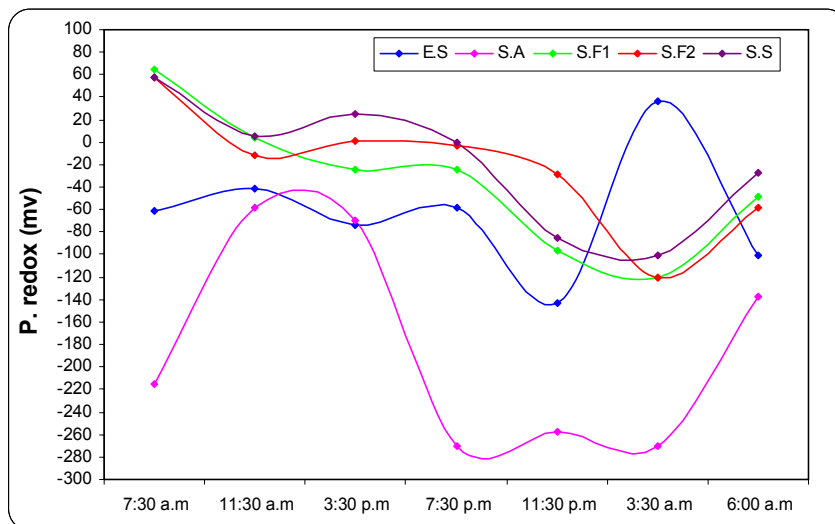
El comportamiento, durante todas las horas del día, del efluente de la laguna facultativa 1 fue muy similar al de la laguna facultativa 2, con la diferencia de que en este último los valores siempre fueron mayores (ver gráfico 12). También es observable como dichas concentraciones en el afluente del sistema y efluente de la laguna anaerobia, alcanzaron sus valores máximos en las horas del día y los mínimos en las horas de la noche y madrugada, mientras que para los efluentes de las facultativas ocurrió totalmente lo contrario, mínimos en las horas del día y máximos en las horas de la noche y madrugada.

* **Potencial redox.** Las figuras 14 y 15 relacionan el potencial redox en afluentes y efluentes de cada unidad de la planta.

En potencial redox promedio que correspondió al afluente de la planta fue -62 mV. Estos datos presentaron una alta variabilidad en las diferentes horas del día, donde existió mayor variación a las 11:30 a.m y menor a las 11:30 p.m. Se contó con valores máximos y mínimos logrados en las horas 7:30 a.m y 11:30 p.m, de 128 y -312 mV respectivamente. De la figura 14 se puede observar como aparentemente la laguna anaerobia solo alcanzó condiciones de anaerobiosis estricta entre las 11:30 p.m y las 3:30 a.m, donde su potencial redox fue cercano a -330 mV.

En la estación entrada al sistema, el potencial redox máximo promedio se presentó en la hora 3:30 a.m (ver figura 14).

Figura 14. Potencial redox en afluentes y efluentes de cada unidad, en las diferentes horas del día



Para la estación efluente de la laguna anaerobia el promedio fue de -180 mV. Estos valores con una alta variabilidad en las diferentes horas del día, presentaron mayor variación en la hora 3:30 p.m y menor en la hora 7:30 p.m. Los valores máximos y mínimos observados fueron de 72 y -333 mV, en las horas 3:30 p.m y 6 a.m respectivamente.

El potencial redox máximo promedio para la estación salida de la laguna anaerobia, se logró en la hora 11:30 a.m (ver figura 14).

Para los efluentes de las lagunas facultativas 1 y 2, los promedios de esta variable fueron de -35 y -23 mV respectivamente. Igualmente estos datos mostraron alta variabilidad en las diferentes horas del día. Las horas de mayor variabilidad se presentaron a las 11:30 a.m o 3:30 p.m, y la de menor a las 3:30 a.m para ambas lagunas. Se midieron valores máximos de 141 y 131 mV a las 7:30 a.m, y mínimos de -223 y -219 mV a las 11:30 p.m y 3:30 a.m.

En la figura 14 se puede notar fácilmente que el valor máximo promedio para los efluentes anteriores se presentó en la hora 7:30 a.m.

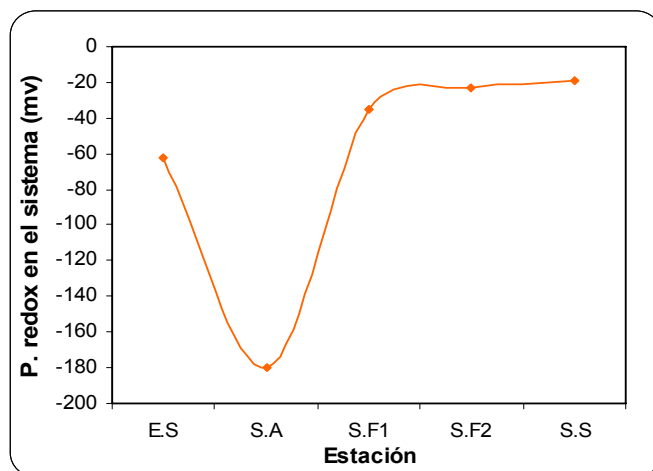
El efluente total de la planta mostró un promedio de potencial redox de -19 mV. Como consecuencia de la alta variabilidad encontrada en las estaciones anteriores, esta estación también la presentó, dándose mayor variabilidad a las 7:30 p.m y menor a las 3:30 a.m. El máximo valor alcanzado fue a las 7:30 a.m de 107 mV y el mínimo a las 3:30 a.m de -170 mV.

El potencial redox máximo promedio para el efluente del sistema se dió a las 7:30 a.m (ver figura 14).

La figura 15 describe el potencial redox promedio ponderado en los afluentes y efluentes de cada unidad del sistema.

Para esta variable se pudo observar una alta variación en los datos medidos, siendo más apreciable en los efluentes de las lagunas facultativas con respecto al afluente del sistema y efluente de laguna anaerobia. En esta figura se indica claramente el proceso correspondiente que se presentó en cada estación, es decir, los potenciales redox de entrada al sistema y salida de la laguna anaerobia correspondieron a procesos más reductivos que de oxidación (aunque en el afluente del sistema se pudieron presentar cualquiera de los dos procesos), a diferencia de lo que ocurrió en los efluentes de las lagunas facultativas.

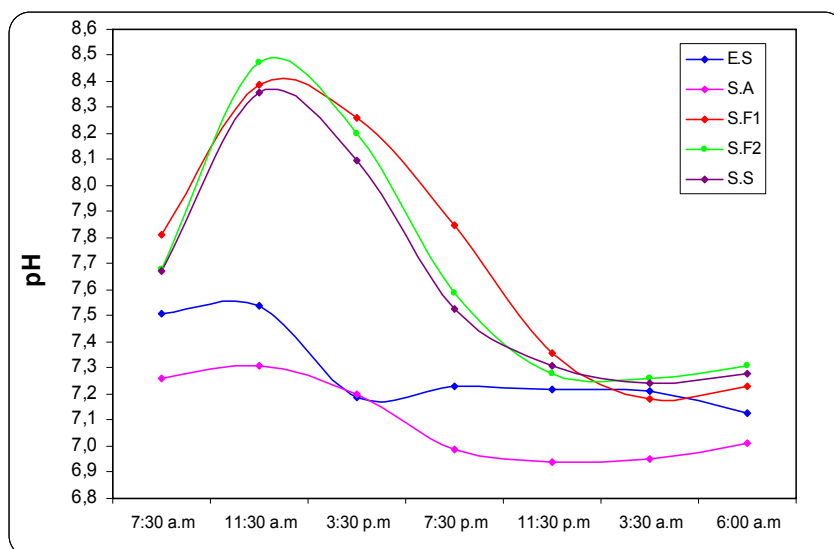
Figura 15. Potencial redox promedio en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema



De acuerdo a la figura 14, el proceso de oxidación en las lagunas facultativas sólo se presentó en las horas del día (siendo más notorio en las primeras horas de la mañana), donde se puede inferir que el proceso de reducción puede aparecer fácilmente en las horas de la tarde. Es importante también señalar, que en las horas de la noche hubo mayores potenciales redox en el efluente de la facultativa 2 que en el de la facultativa 1 y en las horas de la madrugada prácticamente se igualaron.

* **pH.** Las figuras 16 y 17 relacionan el potencial de hidrógeno en afluentes y efluentes de cada unidad de la planta.

Figura 16. Potencial de hidrógeno en afluentes y efluentes de cada unidad, en las diferentes horas del día



Con respecto al pH del afluente del sistema se contó con un promedio de 7.33. Estos datos describieron una variabilidad baja en las diferentes horas del día, máxima en la hora 6 a.m y mínima en la hora 7:30 a.m. El valor máximo y mínimo reportado fue de 8.04 a las 7:30 a.m y de 6.21 a las 6 a.m respectivamente.

En la figura 16 se puede ver como los pH para la estación anteriormente mencionada, fue mayor de 7, encontrándose en un rango poco amplio entre 7.13 a 7.54.

El pH promedio para el efluente de la laguna anaerobia fue de 7.1. Se contó con una baja variabilidad en las diferentes horas del día, con una máxima variación a las 3:30 a.m y una menor en la hora 7:30 a.m. En la hora 11:30 a.m se consiguió un pH máximo de 7.55 y en la hora 3:30 a.m un pH mínimo de 6.08. El pH máximo promedio, en el efluente de la laguna anaerobia, se presentó a las 11:30 a.m (ver figura 16).

En cuanto a los efluentes de las lagunas facultativas 1 y 2, en este orden, se obtuvieron promedios de pH de 7.77 y 7.68. La variabilidad de las mediciones fueron bajas en las diferentes horas del día, con máxima variación en las horas 7:30 p.m y 3:30 p.m, y mínima en la hora 6 a.m, para ambas lagunas. Los máximos pH reportados fueron de 9.6 y 9.7 a las 11:30 a.m, y los mínimos fueron de 6.16 y 6.18 a las 3:30 a.m. El pH máximo promedio para los efluentes de las lagunas facultativas, se presentaron en la hora 11:30 a.m (ver figura 16).

El efluente total del sistema mostró un promedio en pH de 7.66. Igualmente presentó baja variabilidad en las horas del día, con máxima variación en la hora 7:30 p.m y

mínima en la hora 6 a.m. Se reportó un máximo en pH de 9.3 en la hora 11:30 a.m y mínimo de 6.18 en la hora 3:30 a.m.

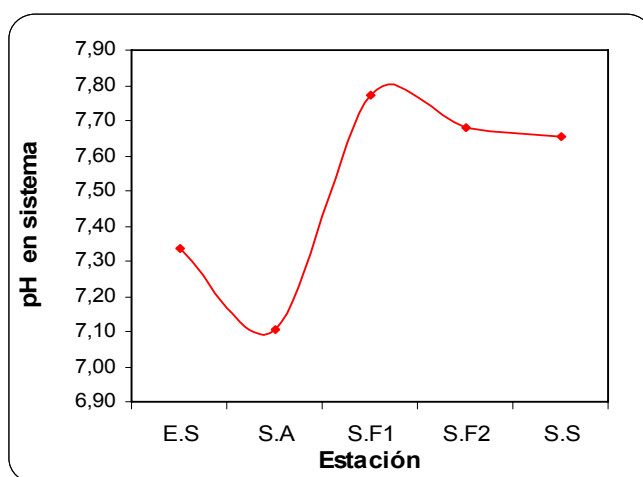
El pH máximo promedio para la estación anteriormente mencionada, se observó en la hora 11:30 a.m (ver figura 16).

La figura 17 describe el potencial de hidrógeno promedio ponderado en los afluentes y efluentes de cada unidad del sistema.

En general no existió variabilidad importante en estas cinco estaciones del sistema, para la variable pH, teniendo más variación los efluentes de las lagunas facultativas con respecto al afluente del sistema y al efluente de la laguna anaerobia.

Los pH aumentaron en el proceso facultativo y por el contrario disminuyeron en el proceso anaerobio y al analizar la figura 16, en el efluente de la laguna anaerobia hubo tendencia a acidificarse en las horas de la noche y madrugada, como se expresó en alguno de los valores mínimos alcanzados para este efluente (6.08 en la madrugada). Es de anotar que los valores de pH que debe presentar dicho efluente, deben estar entre 7 a 7.4, rango que se logró en las horas del día.

Figura 17. Potencial de hidrógeno promedio en afluentes y efluentes de cada unidad del sistema



El comportamiento de los efluentes de las lagunas facultativas fue muy similar en las diferentes horas del día.

Los valores máximos y mínimos alcanzados de pH en las estaciones S.F1, S.F2 y S.S, estuvieron asociados directamente con los valores de temperatura y oxígeno disuelto encontrados a lo largo del día en el sistema, porque el análisis de regresión lineal dió

como resultado coeficientes de correlación entre el pH y el oxígeno disuelto de 0.91, 0.98 y 0.96, respectivamente. En cuanto al pH y la temperatura el coeficiente de correlación, en el mismo orden, fue de 0.94, 0.99 y 0.99.

9.2.2 Parámetros fisicoquímicos en los centros de cada laguna. En los cinco muestreos puntuales realizados, se midieron los parámetros: Temperatura del agua, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, potencial redox y pH, a tres profundidades en los centros de cada una de las lagunas del sistema, los cuales se analizarán a continuación.

* **Temperatura laguna anaerobia.** La figura 18 describe la temperatura en el centro de laguna anaerobia.

La temperatura en la superficie de dicha laguna no presentó variabilidad importante con relación a las diferentes horas del día, considerándose con mayor variación la hora 7:30 a.m (ver tabla 7). La temperatura promedio al día en esta profundidad fue de 27 °C, lográndose un máximo valor a las 7:30 a.m de 32.5 °C y uno mínimo de 23.6 °C a la misma hora. La temperatura máxima promedio se presentó a las 11:30 a.m y la mínima promedio a las 6 a.m (ver figura 18).

En el medio de la laguna anaerobia se contó con un promedio de 26.6 °C. Existió una baja variabilidad en las diferentes horas del día, con mayor variación en la hora 3:30 p.m (ver tabla 7). El valor máximo alcanzado fue de 31.2 °C a las 7:30 a.m y el mínimo de 23 °C a las 3:30 p.m. La temperatura máxima promedio se obtuvo a las 11:30 a.m y el mínimo a las 6 a.m (ver figura 18).

Al igual que en las profundidades anteriores, el fondo no presentó mayor variabilidad en las diferentes horas establecidas en el muestreo, siendo la hora 7:30 a.m la de mayor variación en los datos reportados (ver tabla 7). El promedio de temperatura para el fondo fue de 26.6 °C. Se contó con un máximo de 31.3 °C medido a las horas 7:30 ó 11:30 a.m y un mínimo de 24.5 °C medido a las 7:30 a.m. La temperatura máxima promedio se obtuvo en la hora 11:30 a.m y la mínima en la hora 11:30 p.m (ver figura 18).

De acuerdo a la figura 18, la temperatura varió a través del tiempo, obteniéndose la mayor a las 11:30 a.m en todas las profundidades establecidas para dicha laguna. A partir de las 07:30 p.m comenzó un descenso gradual de temperatura, hasta las 6 a.m.

En las curvas de máxima temperatura (11:30 a.m y 3:30 p.m), se observó una diferencia entre la superficie y el medio de aproximadamente 1 °C en una profundidad de 1.25 m, en las demás curvas la diferencia no fue muy marcada con respecto a la misma

profundidad. La temperatura del fondo no presentó mayor diferencia con respecto a la superficie a través del tiempo, excepto cuando se presentó la máxima temperatura, con una diferencia de 1°C aproximadamente; es decir, se confirmó que a mayor temperatura ambiente (ver figura 7) existió mayor gradiente térmico en el agua.

Figura 18. Temperatura en centro de laguna anaerobia

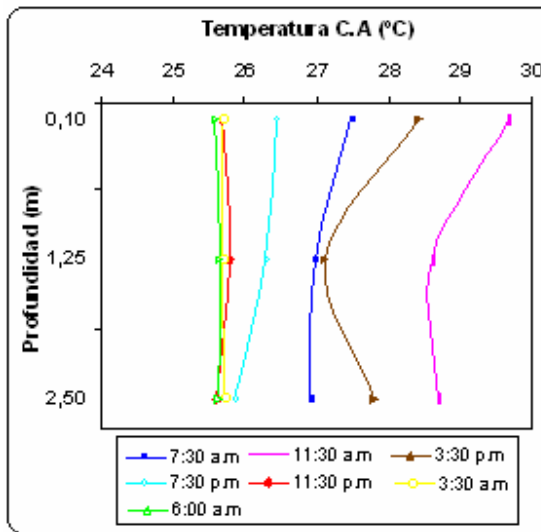
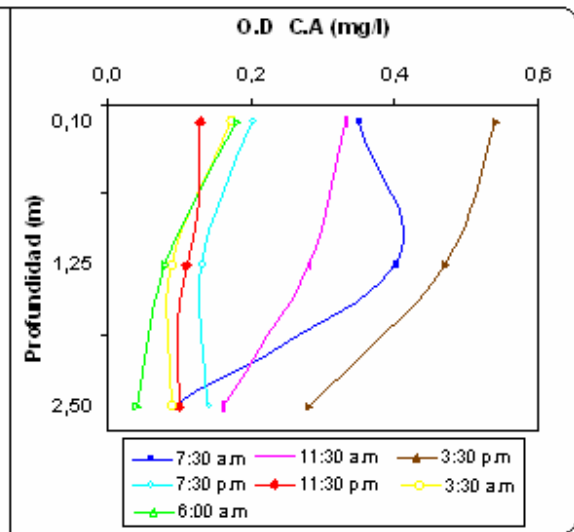


Figura 19. Oxígeno disuelto en centro de laguna anaerobia



Si relacionamos la temperatura ambiente, en las horas de la noche (11:30 p.m) y madrugada, con la temperatura del agua (figura 18, bajo este mismo tiempo), se establece que la temperatura del agua es estable para toda la profundidad de la lámina de agua (intervalo entre 25.6 a 25.8°C), mientras que la temperatura del ambiente disminuye. Esto es, cuando la temperatura ambiente fue mínima, el agua presentó una temperatura prácticamente constante en torno al corte longitudinal analizado y además mayor a la que presentó ésta.

En las horas del día la temperatura en las tres profundidades, fue levemente inferior a la del ambiente.

El efluente de la laguna anaerobia, presentó una temperatura promedio de 27.4 °C, la cual fue levemente mayor a la temperatura media de la laguna anaerobia, 26.7 °C, pero si calculamos los promedios para el día y para la noche, se tiene que el efluente de la laguna anaerobia presentó 29.2 y 25.7 °C respectivamente y el centro de la laguna anaerobia 28 y 25.8 °C respectivamente, esto quiere decir que, efectivamente en las horas nocturnas la temperatura de la laguna fue estable en todo su volumen.

* **Oxígeno disuelto en la laguna anaerobia.** La figura 19 muestra el comportamiento del oxígeno disuelto en la laguna anaerobia.

En este caso se encontró alta variabilidad en todas las profundidades del corte longitudinal establecido (ver tabla 7).

El promedio en la superficie fue de 0.27 mg/l. La hora de mayor variabilidad se presentó a las 7:30 a.m. Se detectó un máximo valor de 2.4 mg/l en las horas 7:30 a.m ó 3:30 p.m y un mínimo de 0 mg/l en la hora 11:30 p.m. Según la figura 19, el oxígeno máximo promedio se midió en la hora 3:30 p.m y el mínimo en la hora 11:30 p.m.

En el medio, el promedio fue de 0.22 mg/l. La hora de mayor variabilidad fue las 6 a.m. Se registró un máximo de 1 mg/l a las 7:30 p.m y un mínimo valor de 0 mg/l a las 11:30 p.m. El oxígeno máximo promedio en esta profundidad, se alcanzó en la hora 3:30 p.m y el mínimo en la hora 6 a.m.

Hacia el fondo se contó con un promedio de 0.13 mg/l. La mayor variabilidad se dió en la hora 3:30 a.m. Se reportó un máximo de 0.8 mg/l en la hora 3:30 p.m y un mínimo de 0 mg/l a las 6 a.m. El máximo promedio se presentó en la hora 3:30 a.m y el mínimo en la hora 6 a.m.

Si se observa la gráfica correspondiente, la hora donde se presentó el mayor oxígeno disuelto fue a las 3:30 p.m, con disminución progresiva asociada al nivel de profundidad. Esta disminución hacia el fondo fue similar para las demás horas del día, diferente a lo que ocurrió en la noche, hasta las 6 a.m, donde no hubo mayor diferencia con respecto a la profundidad (<0.2 mg/l); es decir, las condiciones anaerobias estrictas en todo el corte longitudinal, se presentaron más que todo en las horas de la noche.

* **Conductividad eléctrica en la laguna anaerobia.** La figura 20 muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica en la laguna anaerobia.

La variabilidad presentada en los valores de conductividad, no fue tan considerable para la superficie y el medio, diferente de lo que ocurrió en el fondo donde fue más apreciable para los cinco muestreos realizados (ver tabla 7).

El promedio obtenido en conductividad eléctrica para la superficie fue de 835 us/cm. La variabilidad mayor se presentó en la hora 11:30 p.m. Se registró un valor máximo de 1006 us/cm en la hora 11:30 a.m y un mínimo de 530 us/cm en la hora 11:30 p.m. En concordancia con la figura 20 se apreció una conductividad máxima promedio en la hora 11:30 a.m y una mínima en la hora 11:30 p.m.

Figura 20. Conductividad en centro de laguna anaerobia

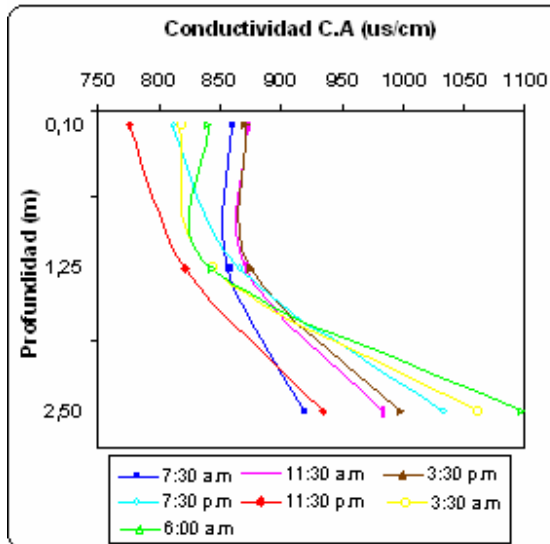
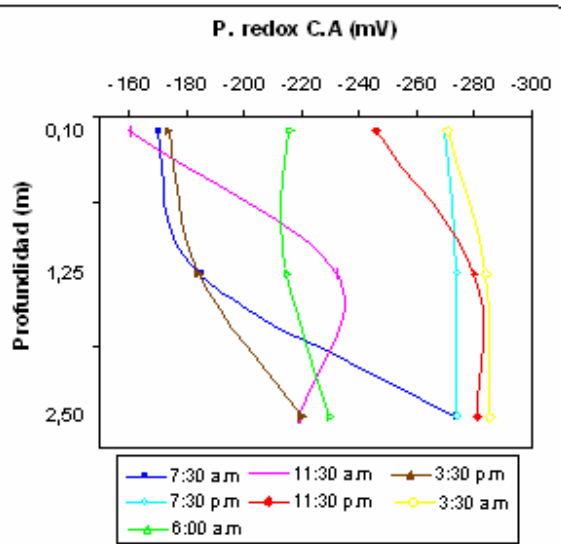


Figura 21. Potencial redox en centro de laguna anaerobia



En el medio de esta laguna el promedio fue de 854 us/cm. La hora de mayor variabilidad se dió a las 11:30 p.m. La máxima conductancia que se presentó fue de 1014 y la mínima de 727 us/cm, en las horas 7:30 p.m y 11:30 p.m respectivamente. De acuerdo a la figura 20, la conductividad máxima promedio se registró a las 3:30 p.m y la mínima a las 11:30 p.m.

Hacia el fondo se presentó un promedio de 1004 us/cm. La hora de más alta variabilidad se detectó a las 3:30 a.m. Se alcanzó un valor máximo de 2200 us/cm correspondiente a la hora 3:30 a.m y un mínimo de 756 us/cm en la hora 3:30 a.m. La conductancia máxima promedio se logró en la hora 6 a.m y la mínima en la hora 7:30 a.m (ver gráfica 20).

En general para esta variable, las diferencias de la superficie con respecto al medio, no fueron muy marcadas en las diferentes horas establecidas, sin embargo con relación al fondo aumentó considerablemente, siendo más notorio para las 7:30 p.m, 3:30 a.m y 6 a.m.

*** Potencial redox en la laguna anaerobia.** La figura 21 muestra el comportamiento del potencial redox en la laguna anaerobia. Se observó alta variabilidad en los datos registrados, siendo un poco menor hacia el fondo (ver tabla 7).

El promedio de potencial redox en la superficie fue de -215 mV. La hora de mayor variabilidad se detectó a las 11:30 a.m. La medida máxima y mínima registrada fue de

53 y -381 mV, en las horas 11:30 a.m y las 3:30 a.m respectivamente. El potencial redox máximo promedio se presentó en la hora 11:30 a.m y el mínimo en la hora 3:30 a.m (ver figura 21).

En la profundidad media se dio un promedio de -236 mV. La mayor variabilidad se presentó en la hora 7:30 a.m. Se obtuvo un valor máximo de -34 mV en la hora 7:30 a.m y un mínimo de -386 mV en la hora 3:30 a.m. En la figura 21 se puede observar que el potencial redox máximo promedio se presentó en la hora 7:30 a.m ó 3:30 p.m y el mínimo se dió en la hora 3:30 a.m.

En el fondo el promedio obtenido fue de -255 mV. La mayor variabilidad se presentó en la hora 11:30 a.m. La medida máxima alcanzada fue de -74 mv en la hora 11:30 a.m y la mínima de -398 mV en la hora 3:30 a.m. El potencial máximo promedio se dió en la hora 11:30 a.m y el mínimo en la hora 3:30 a.m (ver figura 21).

Según la figura 21, los potenciales redox más bajos se presentaron en las horas de la noche, alcanzando valores promedios entre -245 y -285 mV, en todo el corte longitudinal, sin mayor variación con respecto a la profundidad. En las horas diurnas, el potencial redox aumentó considerablemente hacia el fondo; es decir, los gradientes fueron mayores en las horas diurnas que en las horas nocturnas, resaltándose la hora 7:30 a.m. Con estos valores se confirma que las condiciones de anaerobiosis estricta solo se presentaron en las horas de la noche y madrugada (valores menores de -330 mV).

* **pH en la laguna anaerobia.** La figura 22 muestra el comportamiento del pH en la laguna anaerobia. La variabilidad que se presentó para el potencial de hidrógeno en la laguna anaerobia, fue relativamente baja para cada hora establecida en la laguna anaerobia, en las 3 profundidades analizadas (ver tabla 7).

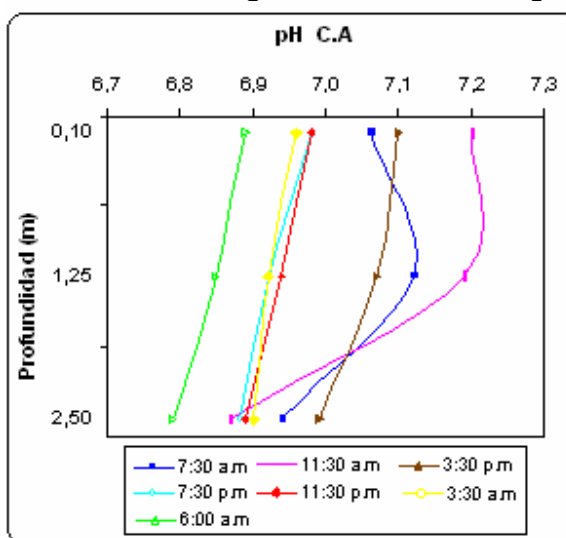
El promedio de potencial de hidrógeno en la superficie de la laguna anaerobia fue de 7.02. La mayor variabilidad se presentó en la hora 7:30 a.m. Se detectó un máximo valor en la hora 11:30 a.m de 7.5 y un mínimo en la hora 3:30 a.m ó 6 a.m. de 6.15. En concordancia con la figura 21, el pH máximo promedio se obtuvo a las 11:30 a.m y un mínimo de 6.89 a las 6 a.m.

En el medio se observó un promedio de pH de 7.0. La variabilidad mayor se presentó en la hora 7:30 a.m. Se registró un máximo valor de 7.52 a las 7:30 a.m y un mínimo de 6.1 en la hora 3:30 a.m ó 6 a.m. El pH máximo promedio se observó a las 11:30 a.m y el mínimo a las 6 a.m (ver figura 22).

Hacia el fondo se contó con un pH promedio de 6.89. Se obtuvo una mayor variabilidad en la hora 7:30 a.m. El máximo valor reportado fue de 7.4 en la hora 11:30 a.m y el

mínimo de 6.10 en la hora 3:30 a.m ó 6 a.m. De acuerdo con la figura 21 existió un pH máximo promedio en la hora 3:30 p.m y un mínimo en la hora 6 a.m.

Figura 22. Potencial de hidrógeno en centro de laguna anaerobia



En general en las horas nocturnas, el pH disminuyó suavemente hacia el fondo, con valores menores alcanzados a las 6 a.m. Esto pudo ocurrir porque los efectos del viento en la noche, tuvieron más impacto sobre la columna de agua, produciendo mayores índices de mezcla. En las horas diurnas la tendencia a disminuir el pH con respecto a la profundidad, se hizo más marcada, en especial en la hora 11:30 a.m donde el gradiente fue mayor.

En síntesis, los pH presentados en la laguna anaerobia, estuvieron en un intervalo promedio de 6.79 a 7.20, tendiendo a ser un ambiente ácido en las horas de la noche. Los valores de pH registrados durante el día se encontraron en el intervalo de funcionamiento de la digestión anaerobia, entre 6.8 a 7.5 (Díaz-Báez, Espitia y Molina, 2002), diferente a lo que ocurrió en las horas nocturnas.

*** Temperatura en las lagunas facultativas.** Las figuras 23 y 24 muestran el comportamiento de la temperatura en el centro de lagunas facultativas 1 y 2. En la temperatura, se observó poca variabilidad en los datos registrados, en las diferentes horas del día establecidas (ver tabla 8).

En la superficie de las lagunas facultativas 1 y 2, en este orden, se presentaron promedios de temperatura de 28.1 y 28.8 °C. Las horas de mayor variabilidad se

detectaron a las 7:30 a.m y 3:30 p.m. Las mediciones máximas logradas fueron de 35 y 34 °C en las horas 7:30 a.m y 3:30 p.m y las mínimas de 24.3 y 24.5 °C en la hora 7:30 p.m. En las figuras 23 y 24 se pueden observar que las temperaturas máximas promedias se lograron en la hora 11:30 a.m y las mínimas en la hora 7:30 p.m.

Figura 23. Temperatura en centro de Laguna facultativa 1

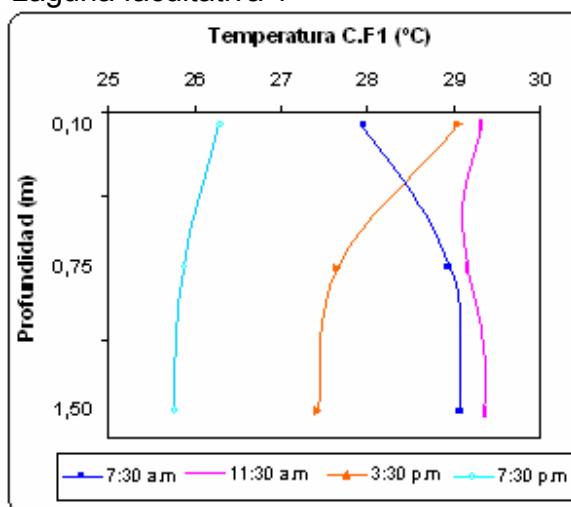
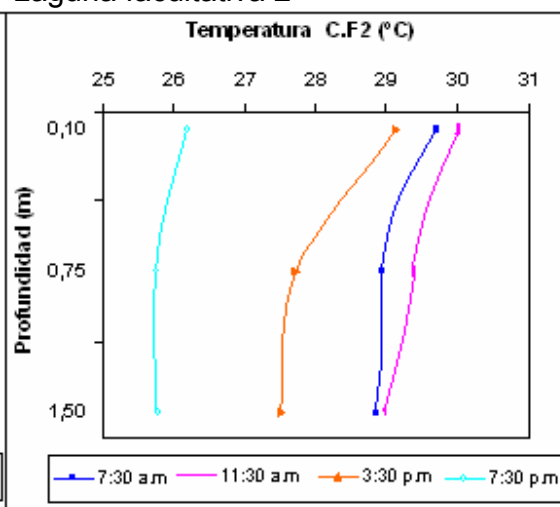


Figura 24. Temperatura en centro de Laguna facultativa 2



En el medio se obtuvo un promedio para ambas lagunas de 27.9 °C. La hora de mayor variabilidad se presentó a las 7:30 a.m. Se registraron temperaturas máximas de 36 y 32 °C para la facultativa 1 y 2 respectivamente, en la hora 7:30 a.m, y mínimas de 24.2 y 24.6 °C en la hora 7:30 p.m. De las figuras anteriores, se puede notar que las temperaturas máximas promedias se presentaron en la hora 11:30 a.m y las mínimas en la hora 7:30 p.m, para las dos lagunas.

Al analizar el fondo de dichas lagunas se contó con promedios de 27.9 y 27.8 °C. La máxima variabilidad se detectó en la hora 7:30 a.m. Los máximos valores de temperatura fueron de 34.8 y 32.2 °C, en la hora 7:30 a.m, y los mínimos de 24.1 y 24.6 °C, en la hora 7:30 p.m, para la facultativa 1 y 2 respectivamente. De acuerdo con las figuras 23 y 24, se observó que los máximos promedios se dieron en la hora 11:30 a.m y los mínimos en la hora 7:30 p.m.

En términos generales, las figuras 23 y 24 describen como en ambas lagunas, la temperatura máxima siempre se presentó a las 11:30 a.m, pero sin embargo, se pueden presentar mediciones de gran consideración en la hora 7:30 a.m, tal y como se analizó en cada nivel de profundidad. Se resalta también que la temperatura de las dos lagunas, en la hora 7:30 a.m, la temperatura del agua fue mayor que la temperatura ambiente.

Con respecto a las horas de la tarde, 3:30 p.m, se apreció una diferencia importante en las capas del corte longitudinal establecido, donde en una profundidad de 1.5 m la temperatura disminuyó en 1.6 °C aproximadamente. Esto sugiere entonces que fue en las horas de la tarde donde se presentó la estratificación térmica para ambas lagunas. En general para el resto de las horas del día, se observó un descenso suave con respecto a la profundidad, excepto en la laguna facultativa 1 donde en la hora 7:30 a.m, la temperatura aumentó hacia el medio pero permaneció estable hasta el fondo.

Al presentarse una variación máxima de temperatura en el agua de aproximadamente 10 °C, de acuerdo a la cinética bioquímica produce cambios de aproximadamente 50% en la actividad biológica, es decir; la remoción de materia orgánica será un 50% más rápida cada vez que la temperatura aumenta en 10 °C, pero por cada 10 °C que disminuya hay un descenso del 50% en la actividad y crecimiento microbiológico y fotosintético (Colombia. OPS, 1999). Esto quiere decir que las lagunas facultativas presentaron una temperatura muy favorable para el proceso, porque produce un aumento considerable en la velocidad de fotosíntesis y el metabolismo de las bacterias responsables de la remoción de la materia orgánica.

* **Oxígeno disuelto en las lagunas facultativas.** Las figuras 25 y 26 muestran el comportamiento del oxígeno disuelto en el centro de lagunas facultativas 1 y 2.

Para el oxígeno disuelto, se observó variabilidad considerable en los datos registrados, en las diferente horas del día establecidas (ver tabla 8).

Figura 25. Oxígeno disuelto en centro de laguna facultativa 1

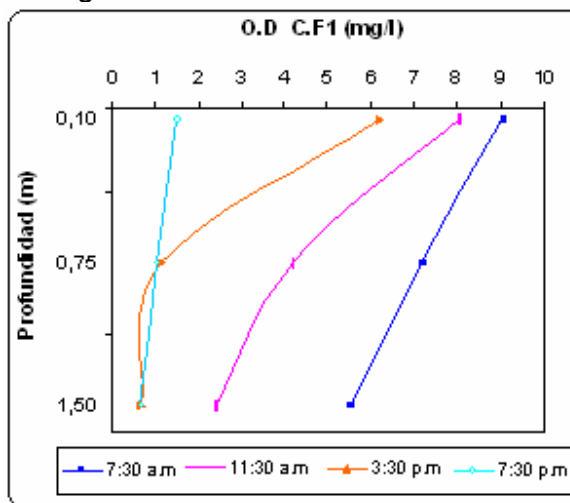
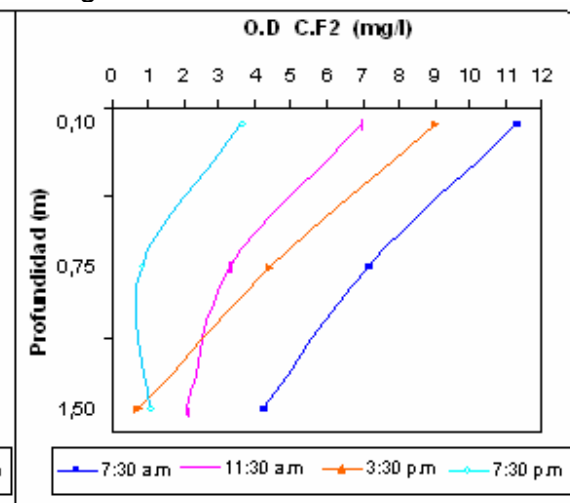


Figura 26. Oxígeno disuelto en centro de laguna facultativa 2



El oxígeno disuelto promedio en la superficie para las lagunas facultativas 1 y 2, fue de 6.2 y 7.7 mg/l respectivamente. La mayor variabilidad se presentó en las horas 11:30 a.m y 7:30 p.m. Se obtuvieron máximos de 15.69 y 24.6 mg/l, en la hora 7:30 a.m y mínimos de 0.06 y 0.24 mg/l en la hora 11:30 a.m (día nublado, ver anexo 9). Los máximos promedios se observaron en la hora 7:30 a.m y los mínimos en la hora 7:30 p.m (ver figuras 25 y 26).

El oxígeno disuelto promedio presentado en el medio para ambas lagunas, fue de 3.4 y 3.9 mg/l. La máxima variabilidad se detectó en la hora 3:30 p.m. Los valores máximos reportados fueron de 17.7 y 12.1 mg/l, en la hora 7:30 a.m, y los mínimos fueron de 0.07 y 0.14 mg/l, en las horas 7:30 p.m y 3:30 p.m, para la facultativa 1 y 2 respectivamente. Los máximos promedios se obtuvieron en la hora 7:30 a.m y los mínimos en la hora 7:30 p.m (ver figuras 25 y 26).

En el fondo de dichas lagunas los promedios fueron de 2.30 y 2.02 mg/l. La máxima variabilidad se presentó en la hora 3:30 p.m. Se alcanzaron valores máximos de 13.4 y 7.6 mg/l, en la hora 7:30 a.m y los mínimos de 0.06 y 0.08 mg/l, en las horas 7:30 p.m y 3:30 p.m, para la facultativa 1 y 2 respectivamente. De acuerdo a las figuras 25 y 26, se registraron los máximos promedios en la hora 7:30 a.m y los mínimos en las horas 7:30 p.m y 3:30 p.m.

Dadas las figuras correspondientes para dicha variable, se presentaron variaciones importantes con respecto a la profundidad en las horas del día, donde hubo una disminución muy significativa hacia el fondo. En la hora 7:30 p.m el oxígeno disuelto en la facultativa 2 en su superficie, fue mayor que en medio y fondo, cosa que no ocurrió en la facultativa 1, donde prácticamente fue estable en ese corte longitudinal. Esto puede entenderse debido a la alta concentración de oxígeno alcanzado en la laguna facultativa 2 en las horas del día.

Si asociamos el oxígeno disuelto de saturación con la temperatura, normalmente este disminuye con el aumento de la misma, pero dadas las condiciones de una laguna facultativa, donde al aumentar la temperatura aumenta la actividad fotosintética de las algas, produciendo oxígeno en exceso del requerido para la respiración, se logró observar condiciones de sobresaturación tal y como se reportó en los datos mayores al oxígeno disuelto de saturación, el cual es aproximadamente 6.7 mg/l.

Como se pudo observar anteriormente, el oxígeno disuelto fue máximo en la hora 7:30 a.m y ya se había dicho que la temperatura del agua y del ambiente fueron máximas a las 11:30 a.m, pero si se regresa al análisis de temperatura por cada nivel de profundidad, se encontró que siempre los máximos picos de temperatura se dieron en la hora 7:30 a.m (32 y 36 °C), lo que originó entonces una relación directamente proporcional entre la temperatura y el oxígeno disuelto, dado que los coeficientes de

correlación encontrados entre 0.79 a 0.99 así lo confirman, siendo más alto cada vez que existió mayor temperatura durante los muestreos. Este análisis se hizo con respecto al corte longitudinal establecido en cada laguna facultativa.

Al presentarse en el fondo de estas lagunas un oxígeno disuelto máximo promedio mayor a 4 mg/l en la hora 7:30 a.m, se confirma una alta actividad fotosintética en esta hora del día.

* **Conductividad eléctrica en las lagunas facultativas.** Las figuras 27 y 28 muestran el comportamiento de la conductividad eléctrica en el centro de lagunas facultativas 1 y 2.

Para la conductividad eléctrica, se observó baja variabilidad en los datos registrados, en las diferente horas del día establecidas en este muestreo (ver tabla 8).

Los promedios obtenidos para la superficie de las lagunas facultativas 1 y 2, en este orden, son de 739 y 773 us/cm. La hora de mayor variabilidad fue las 11:30 a.m. Se reportaron máximos valores de 884 y 913 us/cm, en la hora 11:30 a.m, y mínimos de 581 y 603 us/cm, en las horas 7:30 a.m y 11:30 a.m. Según las figuras 27 y 28 los máximos promedios se alcanzaron en la hora 7:30 p.m y los mínimos en las horas 3:30 p.m y 11:30 a.m.

Figura 27. Conductividad en centro de laguna facultativa 1

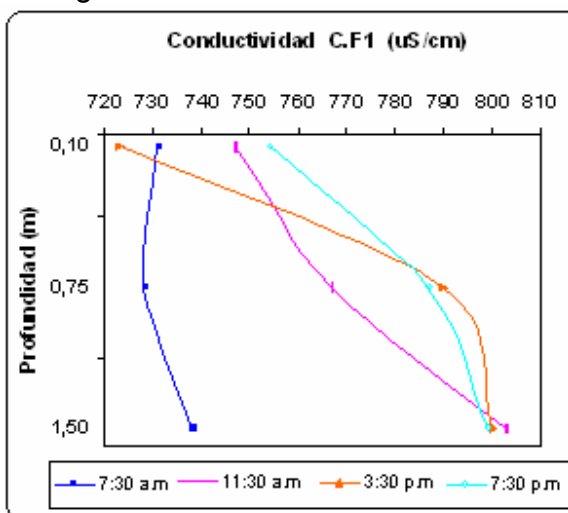
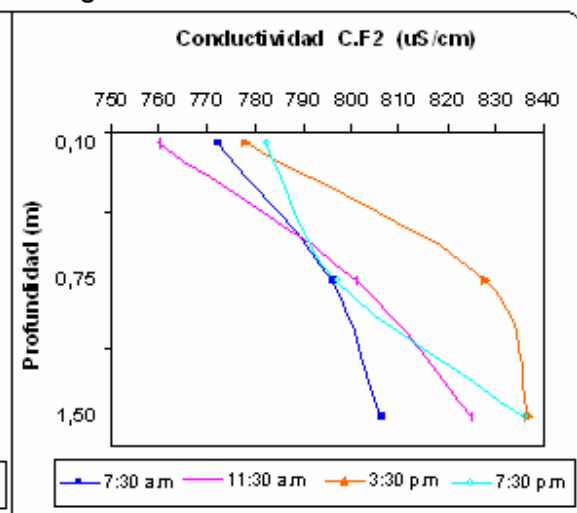


Figura 28. Conductividad en centro de laguna facultativa 2



Para la profundidad media se observó promedios de 768 y 806 us/cm para la facultativa 1 y 2 respectivamente. En la hora 11:30 a.m se registró la mayor variabilidad. Los valores máximos alcanzados fueron de 874 y 883 us/cm, en las horas 3:30 p.m y 11:30 a.m, y los mínimos de 606 y 715 us/cm, en las horas 7:30 a.m y 7:30 p.m. Las figuras 27 y 28, mostraron los máximos y mínimos promedios, correspondiendo las horas 3:30 p.m y 7:30 a.m respectivamente.

En el fondo de dichas lagunas los promedios fueron de 785 y 826 us/cm. La máxima variabilidad se presentó en las horas 7:30 a.m y 3:30 p.m. Se alcanzaron valores máximos de 898 y 891 us/cm, en las horas 11:30 a.m y 3:30 p.m, y los mínimos de 633 y 754 us/cm, en la hora 7:30 a.m, para la facultativa 1 y 2 respectivamente. De acuerdo a las figuras 27 y 28, se registraron los máximos promedios en las horas 11:30 a.m y 3:30 p.m, y los mínimos en la hora 7:30 a.m.

En concordancia con las figuras 27 y 28, la conductividad en ambas lagunas, aumentó significativamente con la profundidad, a través del tiempo, siendo más notorio el gradiente en la laguna facultativa 1, aunque los valores alcanzados en la facultativa 2 fueron mayores que en la facultativa 1.

*** Potencial redox en las lagunas facultativas.** Las figuras 29 y 30 muestran el comportamiento del potencial redox en el centro de lagunas facultativas 1 y 2.

Para el potencial redox, se observó alta variabilidad en los datos registrados en las diferentes horas establecidas en este muestreo (ver tabla 8).

El potencial redox promedio en la superficie para las lagunas facultativas 1 y 2, fue de -25 y 9 mV respectivamente. La mayor variabilidad se presentó en la hora 11:30 a.m. Se obtuvieron valores máximos de 107 y 124 mV en la hora 11:30 a.m y mínimos de -244 y -74 mV, en las horas 11:30 a.m y 7:30 p.m. Los máximos promedios se presentaron en la hora 7:30 a.m y los mínimos en la hora 7:30 p.m (ver figuras 29 y 30).

El potencial redox promedio presentado en la profundidad media, para la laguna facultativa 1 fue de -6 mV y para la facultativa 2 fue de -31 mV. La máxima variabilidad se detectó en la hora 3:30 p.m. Los valores máximos reportados fueron de 102 mV para ambas lagunas, en la hora 11:30 a.m, y los mínimos fueron de -96 y -301 mV, en la hora 7:30 p.m, para la facultativa 1 y 2 respectivamente. Los máximos promedios se obtuvieron en la hora 7:30 a.m y los mínimos en la hora 7:30 p.m (ver figuras 29 y 30).

Al analizar el fondo de dichas lagunas se tuvo promedios de -35 y -88 mV, en cada una de las lagunas. La máxima variabilidad se detectó en las horas 11:30 a.m y 7:30 a.m. Los máximos valores de potencial redox fueron de 90 y 79 mV, en las horas 7:30 a.m y 11:30 a.m, y los mínimos de -292 y -290 mV, en la hora 7:30 p.m, para la facultativa 1 y 2 respectivamente. De acuerdo con las figuras 29 y 30, se observó que los potenciales

redox máximos promedios se dieron en la hora 7:30 a.m y los mínimos en la hora 7:30 p.m.

Figura 29. Potencial redox en centro de laguna facultativa 1

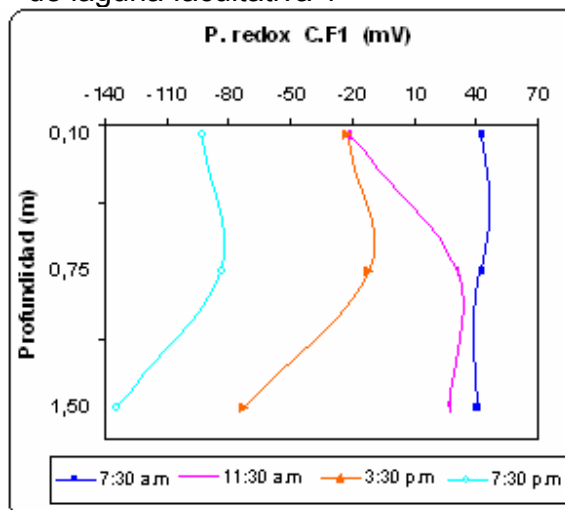
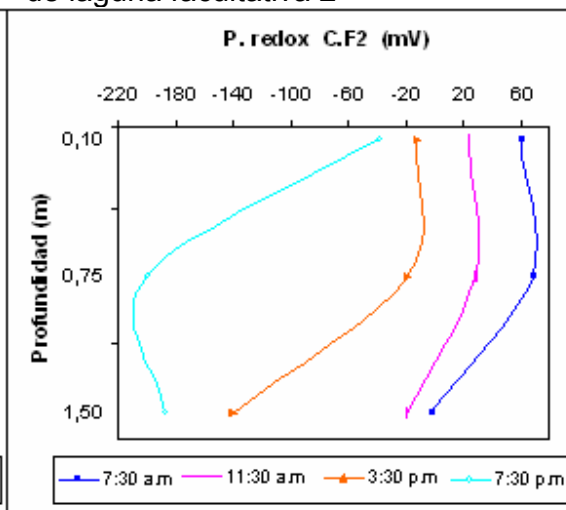


Figura 30. Potencial redox en centro de laguna facultativa 2



De acuerdo a las gráficas de potencial redox, se apreció que la actividad oxidativa de las lagunas fue máxima en las horas 7:30 a.m y 11:30 a.m. Esta variable disminuyó a través del tiempo y también con la profundidad, donde comenzó a darse el proceso reductivo en las horas de la tarde. La disminución con respecto a la profundidad, fue más notorio en la laguna facultativa 2 en las horas diurnas.

El coeficiente de correlación tanto entre el potencial redox y oxígeno disuelto como entre potencial redox y temperatura se presentó en el intervalo de 0.69 a 0.98. Esto quiere decir que; las horas de máxima actividad oxidativa estuvieron asociadas directamente con la temperatura y oxígeno disuelto máximos alcanzados en ambas lagunas.

*** pH en las lagunas facultativas.** Las figuras 31 y 32 muestran el comportamiento del potencial de hidrógeno en el centro de lagunas facultativas 1 y 2.

Para el pH, se observó baja variabilidad en los datos registrados en las diferentes horas definidas en los muestreos (ver tabla 8).

El promedio obtenido en la superficie para ambas lagunas fue de 7.9. La hora de mayor variabilidad fue las 3:30 p.m. Se reportaron máximos valores de 9.39 y 9.20, en las horas 3:30 p.m y 11:30 a.m, y mínimos de 6.48 y 6.58, en la hora 3:30 p.m, para la

facultativa 1 y 2 respectivamente. Según las figuras 31 y 32, los máximos promedios de pH se lograron en la hora 11:30 a.m y los mínimos en la hora 7:30 p.m.

Figura 31. pH en centro de laguna facultativa 1

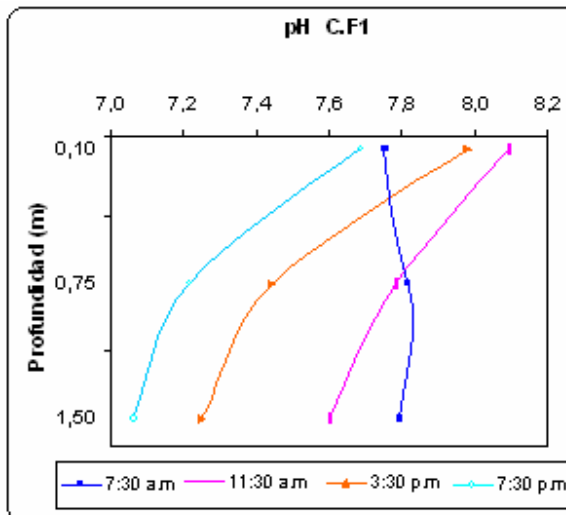
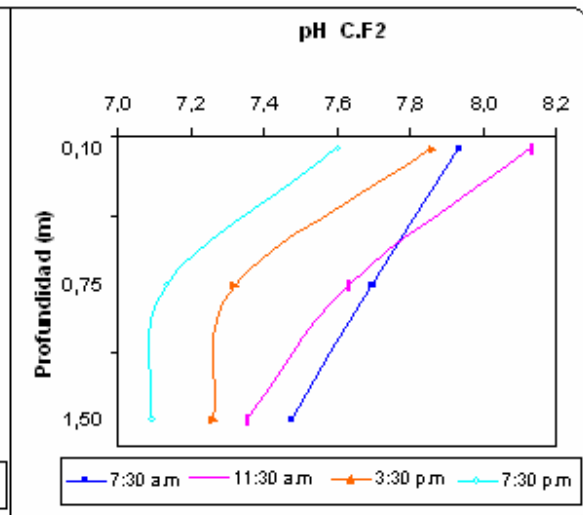


Figura 32. pH en centro de laguna facultativa 2



Para la profundidad media se observaron promedios de 7.6 y 7.4 para la facultativa 1 y 2 respectivamente. Las horas 7:30 a.m y 3:30 p.m fueron las que presentaron la mayor variabilidad. Los valores máximos alcanzados se registraron, en las horas 7:30 a.m y 11:30 a.m, de 9.0 y 8.2 y los mínimos en la hora 3:30 p.m, de 6.42 y 6.35, respectivamente. Las figuras 31 y 32, describen los máximos y mínimos promedios del potencial de hidrógeno, correspondiendo las horas 7:30 a.m y 7:30 p.m respectivamente.

En el fondo de dichas lagunas los promedios fueron de 7.4 y 7.3. La máxima variabilidad se presentó en las horas 7:30 a.m y 3:30 p.m. Se alcanzaron valores máximos de 9.0 y 7.9, en la hora 7:30 a.m, y los mínimos de 6.17 y 6.34, en la hora 3:30 p.m, para la facultativa 1 y 2 respectivamente. De acuerdo a las figuras 31 y 32, se registró un pH máximo promedio en la hora 7:30 a.m, y mínimo en la hora 7:30 p.m.

En general los máximos valores de pH en ambas lagunas se obtuvieron en la hora 11:30 a.m (de acuerdo a las figuras 30 y 31). El pH para las dos lagunas disminuyó con la profundidad y a través del tiempo, exceptuando la curva de la hora 7:30 a.m en la facultativa 1, donde el pH fue mayor en el medio y en fondo.

El cruce de las curvas de las horas 7:30 a.m y 11:30 a.m, implican que los valores máximos promedios de pH, para ambas lagunas, se pueden presentar en cualquier hora de la mañana. Es de anotar que en dicho intervalo de tiempo, también existen temperaturas y oxígenos disueltos máximos.

La asociación encontrada entre el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto se debe a la actividad fotosintética que realizan las algas, porque mientras las bacterias heterotróficas descomponen la materia orgánica produciendo compuestos inorgánicos solubles y gas carbónico, las algas utilizan estos subproductos para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis, dependiendo esta actividad de la temperatura existente, por medio del cual suministran el oxígeno disuelto al medio acuoso. La utilización de Carbono por parte de las algas, tanto de la oxidación bacteriana como del ión bicarbonato, producen ión OH^- ocasionando un aumento en el pH.

Los promedios obtenidos en el corte longitudinal analizado implican que ambas lagunas presentan una capacidad amortiguadora muy alta y a pesar de que el pH tiende a seguir disminuyendo en la noche, el sistema tiene la capacidad de regularse rápidamente, tal y como lo expresan los efluentes de las mismas, donde siempre se obtuvo promedios de pH mayores de 7, en todas las 24 horas.

9.2.3 Parámetros fisicoquímicos en afluentes y efluentes de cada laguna, cuantificados en muestreos compuestos. En los cinco muestreos compuestos realizados, se midieron las variables: Nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, fosfatos, sulfatos, alcalinidad total, sólidos, DQO y DBO_5 , los cuales se analizarán a partir de las figuras 33 a 42.

Figura 33. SO_4^{2-} en afluentes y efluentes

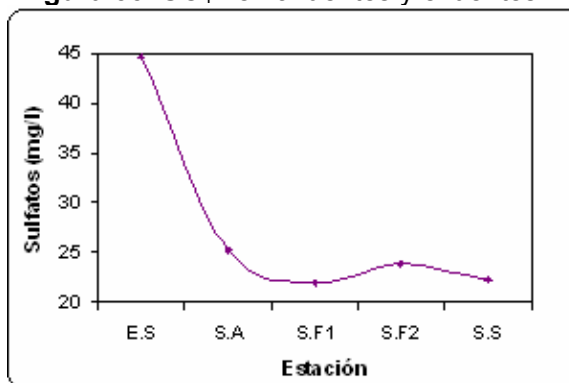
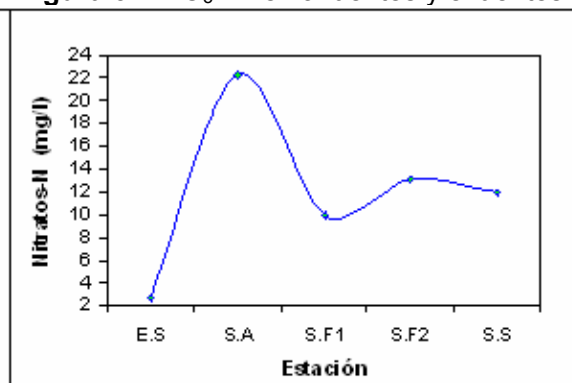


Figura 34. NO_3^- -N en afluentes y efluentes



La figura 33 muestra el comportamiento de los sulfatos en afluentes y efluentes del sistema. La concentración de sulfatos disminuyó notablemente en el efluente de la laguna anaerobia, porque es apenas entendible que un proceso anaerobio existe reducción a la forma sulfuros por intermedio de microorganismos especiales para esta función. Al pasar el agua por el proceso facultativo puede ocurrir dos cosas, una que se oxiden los sulfuros a sulfatos, donde es asimilado por los microorganismos incorporándolo al tejido celular, la otra es que ocurra la oxidación hasta la forma de azufre elemental, en presencia de buena cantidad de oxígeno. Es por esto que, en la

figura 33, en el efluente de la laguna facultativa 1 se presentó una disminución, mientras que el efluente de la facultativa 2 se dio un incremento.

Figura 35. NO_2^- -N en afluentes y efluentes

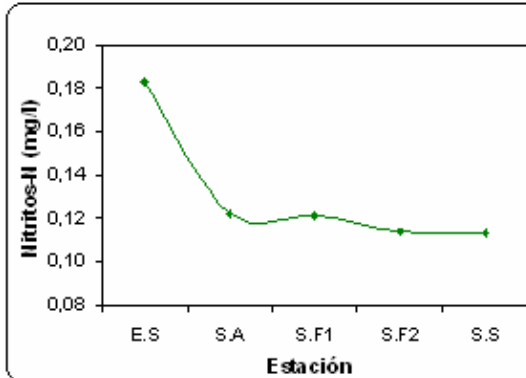


Figura 36. NH_3 -N en afluentes y efluentes

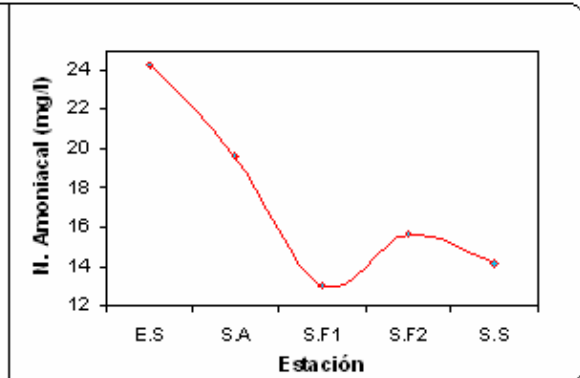


Figura 37. PO_4^{3-} en afluentes y efluentes

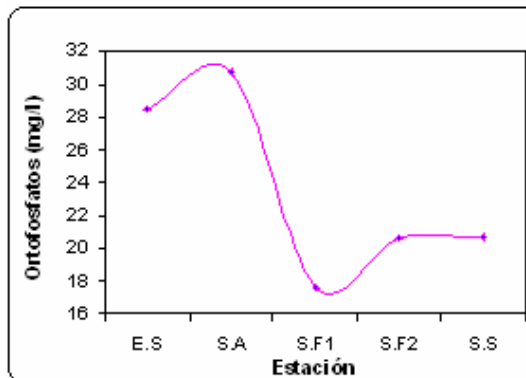
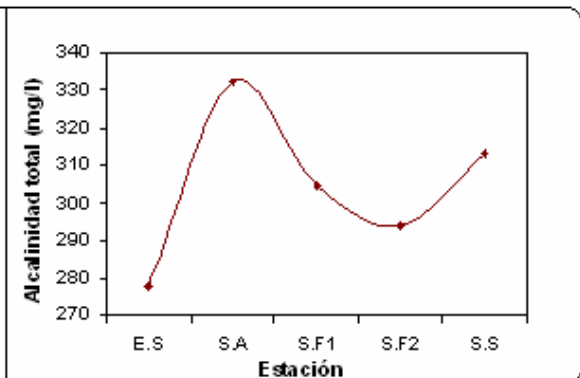


Figura 38. Alcalinidad afluentes y efluentes



De las diferentes formas del nitrógeno y fósforo, expresadas en las figuras 34, 35, 36 y 37, la que presentó menor variabilidad con respecto a cada estación, fue el ortofosfato (ver tabla 13), le sigue en orden creciente los sulfatos, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal.

En las figuras 34, 35 y 36, que corresponden a las diferentes formas del nitrógeno, se observó como este nutriente entra al sistema, en su gran parte, como nitrógeno amoniacal (>24 mg/l). Al pasar por el proceso anaerobio se esperaba obtener mayor amonificación o lo que es lo mismo un aumento en su concentración, por lo que se dan unos mecanismos de hidrólisis de la materia orgánica y la desaminación subsiguiente de los aminoácidos resultantes en este proceso anaerobio, pero según dichas figuras la forma amoniacal y los nitritos disminuyeron, para aumentar la forma de nitratos. Es importante recordar que la nitrificación sólo es posible que se de en medio aerobio.

En el efluente de la laguna facultativa 1, la forma amoniacal siguió disminuyendo, lo que es normal que ocurra en este proceso porque es oxidado a la forma de nitrato, y al ser asimilado por las algas, como nutriente, la forma nitrato puede disminuir. También puede presentarse un ligero aumento del nitrógeno amoniacal, como se detectó en el efluente de la laguna facultativa 2, porque con la posible regeneración del nitrógeno orgánico de los sedimentos (o células muertas), que sufren nuevamente los fenómenos de hidrólisis y desaminación, reincorpora nitrógeno amoniacal al medio acuoso. De esta manera como hubo amonificación, también es entendible que se dé la nitrificación, por lo que el efluente de la laguna facultativa 2 aumentó la concentración en esta variable (ver figuras 34 y 36).

En cuanto a la figura 35, los nitritos permanecieron casi constantes en los efluentes de cada laguna y estuvo en una proporción mucho más baja con respecto a los nitratos, relación que ocurre frecuentemente, porque éstos son poco estables tendiendo a evolucionar hasta el producto final, nitratos.

El fósforo soluble en la laguna anaerobia sufrió un proceso propio en éste, porque aumentó debido a la mineralización del fósforo orgánico, presente en el agua cruda, que es fácilmente hidrolizable a fósforo soluble. En los efluentes de las lagunas facultativas, puede ocurrir la disminución considerable debido a la asimilación por parte de algas y bacterias, quedando incorporado a su tejido celular. De ahí que tras la muerte de dichos microorganismos, puede ser rápidamente convertido a fósforo orgánico y por ende a la regeneración del fósforo soluble (degradación anaerobia de fangos), justificándose entonces que puede haber también un ligero aumento en el efluente de las lagunas facultativas, como se observó en laguna facultativa 2 (ver figura 37).

En general se observó para los efluentes de las lagunas facultativas, un comportamiento similar, en torno a los sulfatos, nitratos, nitrógeno amoniacal y fósforo soluble, en presentarse una disminución en su concentración en el efluente de la laguna facultativa 1 y un aumento en el efluente de la facultativa 2. Este comportamiento en la laguna facultativa 2 representa una mayor oxidación que en la laguna facultativa 1, estando asociados a los valores de potencial redox y oxígeno disuelto encontrados.

Con relación a la alcalinidad total, presentó una baja variabilidad en las diferentes estaciones señaladas (ver tabla 13).

Si se analiza el pH en los efluentes y efluentes de cada unidad, donde se especificó en los párrafos anteriores que este va aumentando en la medida que pasa por los procesos facultativos, se esperaría encontrar valores de alcalinidad mayores en los efluentes de las lagunas facultativas, sin embargo, en concordancia con la figura 38, se observó un valor más alto de alcalinidad en el efluente de la laguna anaerobia, 332 mg/l CaCO_3 , pero al observar la alcalinidad en dichos efluentes, 305 y 294 mg/l CaCO_3 , con respecto al afluente de la planta, 278 mg/l CaCO_3 , sí existió un aumento en estos. Es

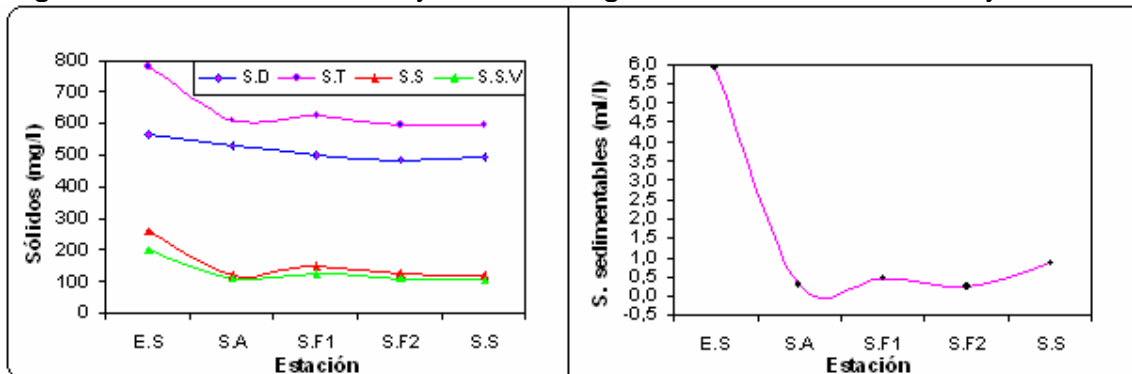
importante considerar que en las lagunas facultativas el sistema carbonato está sujeto a cambios cíclicos durante el día, por el proceso fotosintético, pero aunque los cambios en la alcalinidad no son tan grandes sí ocurren cambios en los componentes de la misma como son los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

La tabla 13, muestra que los sólidos que presentaron mayor variabilidad fueron los sedimentables, le sigue en orden decreciente, los suspendidos, los suspendidos volátiles, los disueltos y los totales.

La figura 40 describe claramente, la disminución progresiva de los sólidos sedimentables en la salida de la laguna anaerobia y en los procesos facultativos se hizo casi nula su concentración.

Para los sólidos suspendidos y suspendidos volátiles, el comportamiento fue muy similar, disminuyendo considerablemente del afluente del sistema al efluente de la laguna anaerobia. Estos pueden aumentar o permanecer casi constantes en los efluentes de las lagunas facultativas, con respecto al efluente de la anaerobia, por la gran cantidad de biomasa que se produce en este proceso, tal y como se presentó en la figura 39.

Figura 39. Sólidos en afluentes y efluentes **Figura 40.** S. Sed. en afluentes y efluentes



En lo que se refiere a los sólidos disueltos, solamente existió una relación directa con la conductividad eléctrica en el efluente de la laguna facultativa 1 y en el efluente total del sistema (observar figura 13).

En general existió gran cantidad de sólidos disueltos con respecto a los sólidos suspendidos, mayores a 72% con respecto a los sólidos totales. De los sólidos suspendidos existió más del 76% en sólidos suspendidos volátiles, implicando una importante biomasa para los efluentes del sistema.

La Demanda Química de Oxígeno soluble (DQO_{sol}), presentó alta variabilidad en cada una de las cinco estaciones definidas, le siguió en menor proporción la Demanda Bioquímica de Oxígeno soluble (DBO_5_{sol}), en las estaciones afluente y efluente del sistema, la Demanda Bioquímica de Oxígeno total (DBO_5_{tot}), en el efluente de la laguna anaerobia y por último la Demanda Química de Oxígeno total (DQO_{tot}), en el efluente de la laguna anaerobia (ver tabla 13).

Según figuras 41 y 42, se apreció la disminución considerable en el efluente de la laguna anaerobia, tanto en DQO_{tot} como en DBO_5_{tot} , con mayor pronunciamiento en esta última variable. Para los efluentes de las lagunas facultativas se observó una disminución leve en estos mismos parámetros, excepto en el efluente total de la planta, donde aumentó la DQO_{tot} con respecto al efluente de la laguna anaerobia. Para la DBO_5_{sol} se detectó una disminución en todos los efluentes, en cambio para la DQO_{sol} existió un comportamiento totalmente inverso en el efluente de la laguna anaerobia, aumentándose en su concentración. En los efluentes de las lagunas facultativas la DQO_{sol} disminuyó, siendo un poco más notorio en la facultativa 1.

Figura 41. DQO en afluentes y efluentes

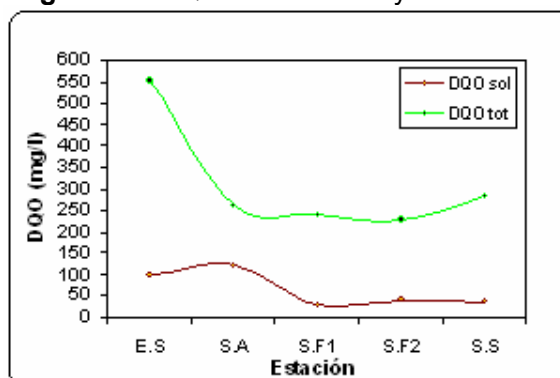
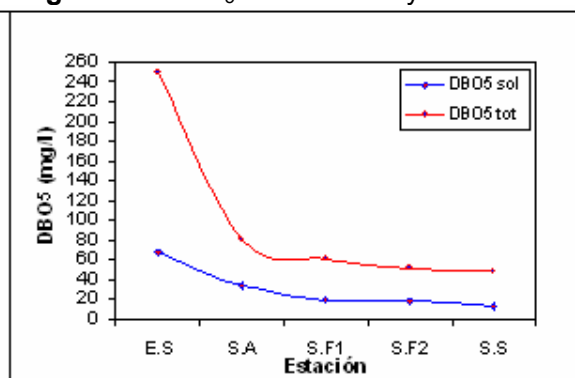


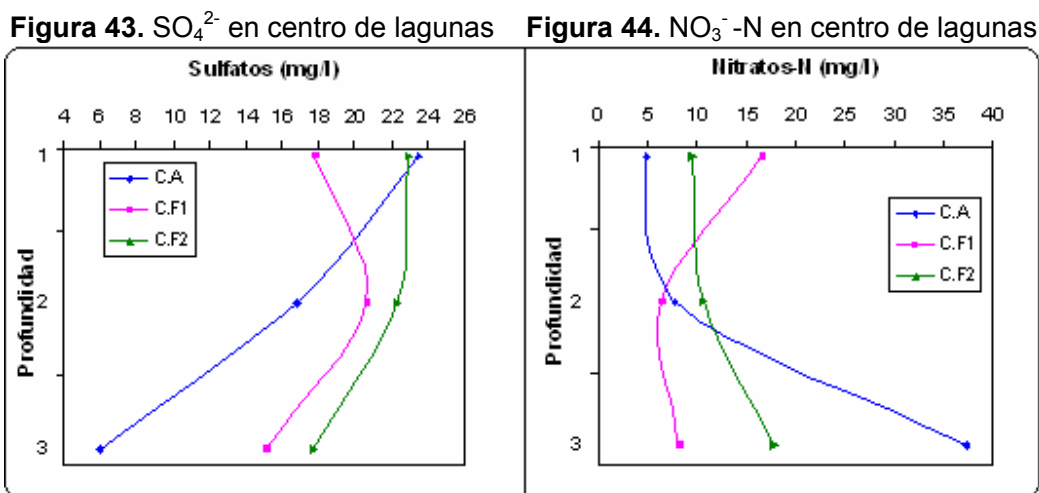
Figura 42. DBO_5 en afluentes y efluentes



La razón que existió entre la DBO_5 y la DQO total del agua cruda está en un promedio de 0.45, cociente que se ha encontrado muy comúnmente para las aguas residuales domésticas.

9.2.4 Parámetros fisicoquímicos y biológicos en los centros de cada laguna, cuantificados en muestreos compuestos. En los cinco muestreos compuestos realizados, se midieron los parámetros: Nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, fosfatos, sulfatos, alcalinidad total, sólidos, DQO, DBO_5 y clorofila "a", los cuales se analizarán a partir de las figuras 43 a 57.

Se presentó una alta variabilidad en las mediciones realizadas para sulfatos, en cada nivel de profundidad, siendo mayor en el medio y en el fondo (ver tabla 14).



Para la laguna anaerobia, los sulfatos disminuyeron considerablemente con la profundidad, mientras que para las facultativas no fue tan notorio, además de que en la facultativa 1 la concentración existente en la superficie fue menor que la que se presentó en el medio (ver figura 43). La estratificación observada en el corte longitudinal de la laguna anaerobia, es una manifestación del proceso reductor que allí se da, donde se transforman los sulfatos a sulfuros y por ende se disminuye su concentración.

Con relación a los datos registrados de la concentración de nitratos, se puede observar como existió mayor variabilidad en la laguna anaerobia, siguiéndole en orden decreciente la facultativa 1 y luego la facultativa 2 con una alta variabilidad en su fondo. Los nitritos y el nitrógeno amoniacal, de igual forma tuvieron una alta variabilidad en cada capa de profundidad analizada, para las tres lagunas, aunque fue mayor para los nitritos (ver tabla 14).

En la figura 44, la distribución de nitratos en el perfil longitudinal, fue muy diferente para cada laguna facultativa; es decir, mientras que para la facultativa 1 fue mayor la concentración en la superficie, para la facultativa 2 fue mayor en el fondo. Se esperaría que los nitratos se encontraran en mayor concentración en la capa superior, porque es allí donde existe mayor oxígeno disuelto para su formación. En el caso de la laguna anaerobia la concentración de nitratos debería ser muy baja en todo su perfil, pero este aumentó considerablemente hacia el fondo.

Figura 45. NO_2^- -N centro de lagunas

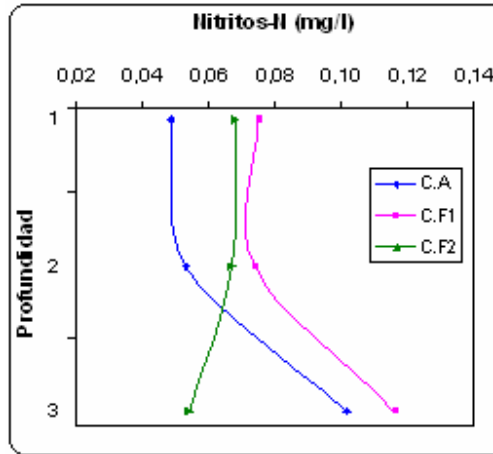
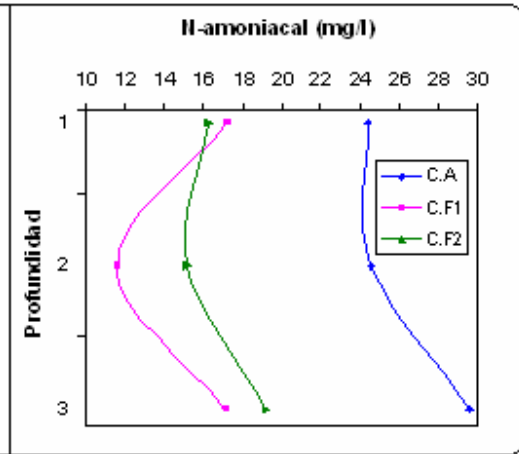


Figura 46. NH_3 -N centro de lagunas



La concentración de nitritos, según la figura 45, fue relativamente baja en el perfil mostrado en cada laguna. Este comportamiento es típico que ocurra, por la baja estabilidad que este parámetro presenta. Aunque la concentración fue más baja en la laguna anaerobia, el comportamiento de la laguna facultativa 1 y ésta fue semejante, aumentó la concentración hacia el fondo, contrario a lo que existió en la laguna facultativa 2.

El nitrógeno amoniacal en las lagunas facultativas, presentó una tendencia a ser igual o ligeramente mayor en el fondo, mientras que en la laguna anaerobia se observó mayor diferencia con respecto a dicha capa, además de que mostró más altas concentraciones con respecto a las facultativas (ver figura 46). Esta diferencia de concentraciones, fue debido al proceso de amonificación que se determina en un proceso anaerobio.

Figura 47. PO_4^{3-} en centro de lagunas

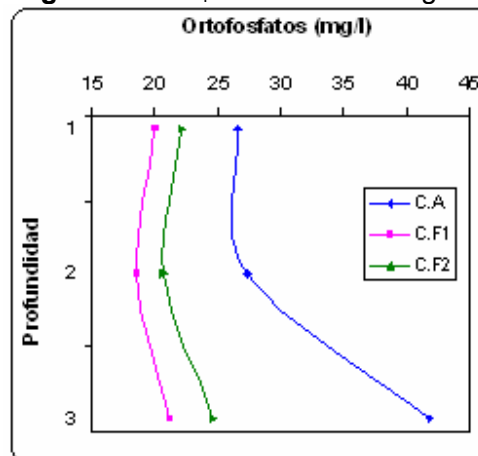
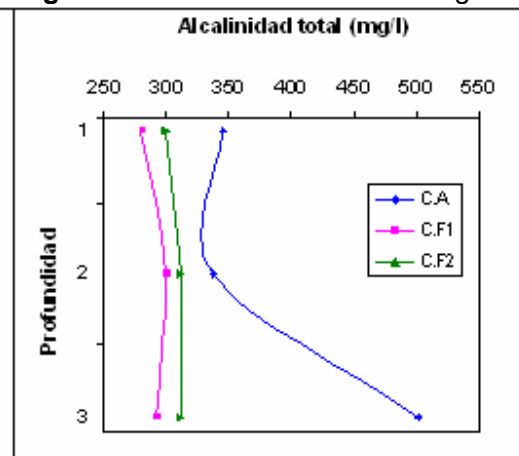


Figura 48. Alcalinidad centro de lagunas



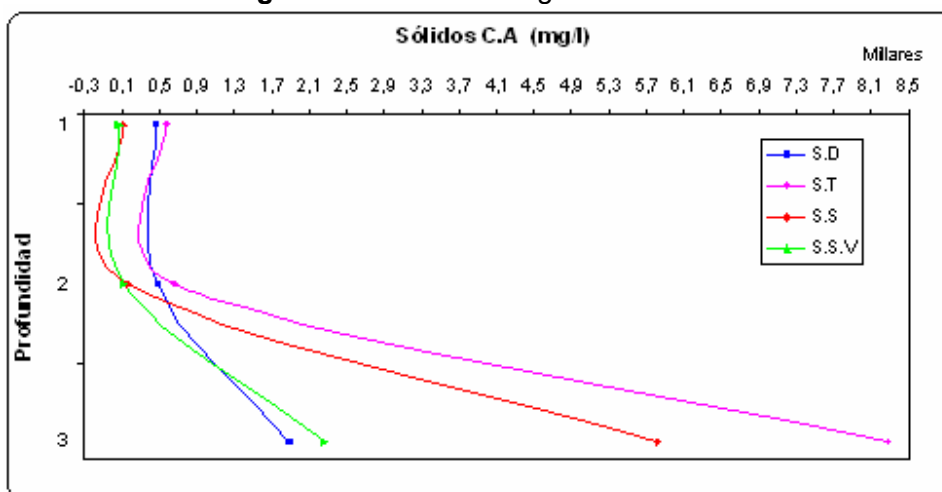
En cuanto a los ortofosfatos, según la figura 47, se encontraron en mayor concentración en la laguna anaerobia, las cuales aumentaron hacia el fondo, siendo menos apreciable en las lagunas facultativas. La gran concentración que existió en la laguna anaerobia, es entendible por la alta cantidad de materia orgánica que se mineraliza a fósforo soluble.

De la tabla 14, se puede analizar la baja variabilidad que existió en las dos primeras capas de profundidad definidas (para las tres lagunas), en cuanto al parámetro alcalinidad total, pero hacia el fondo de la laguna anaerobia existió variabilidad importante.

De acuerdo a los datos de pH hallados en cada centro de las tres lagunas, donde éste disminuyó ligeramente hacia el fondo, hubo una asociación directa con la alcalinidad; es decir, la alcalinidad total disminuyó ligeramente o fue casi constante hacia el fondo, como lo muestra la figura 48, exceptuando el fondo de la laguna anaerobia.

Al analizar los sólidos en las lagunas, como se indica en la tabla 14, se detectó mayor variabilidad a lo largo de las profundidades definidas, en los sedimentables, seguidos de los suspendidos totales y los suspendidos volátiles. Los sólidos totales sólo presentaron variabilidad apreciable en el fondo.

Figura 49. Sólidos en laguna anaerobia



En el centro de la laguna anaerobia, los sólidos aumentaron considerablemente con la profundidad, siendo más marcada la diferencia en los sólidos totales y suspendidos (ver figura 49). Este tipo de comportamiento es normal para una laguna anaerobia, porque esta unidad funciona como un sedimentador primario cuya finalidad es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante, y por tanto, reducir el contenido de sólidos suspendidos y la carga orgánica que llega al tratamiento secundario. Los

sólidos suspendidos volátiles se distribuyeron, con respecto a los sólidos suspendidos, en un 69% en la superficie, 79% en el medio y 39% en el fondo; de decir, la biomasa activa se distribuyó en mayor cantidad en las capas superiores.

Según la figura de conductividad eléctrica en la laguna anaerobia, ver figura 20, los resultados presentan un comportamiento similar a los valores de sólidos disueltos, porque aumentan con la profundidad.

Según las figuras 50 y 51, el comportamiento de los sólidos fue similar en las dos lagunas facultativas, se puede decir que una fue una réplica de la otra. Los sólidos aumentaron hacia el fondo, siendo más notorio en los sólidos totales. Los sólidos disueltos no presentaron mayor diferencia en el corte longitudinal establecido, tendiendo a un ligero aumento hacia el fondo; esta descripción está relacionada directamente con el comportamiento de la conductividad, según las figuras 27 y 28.

Figura 50. Sólidos en facultativa 1

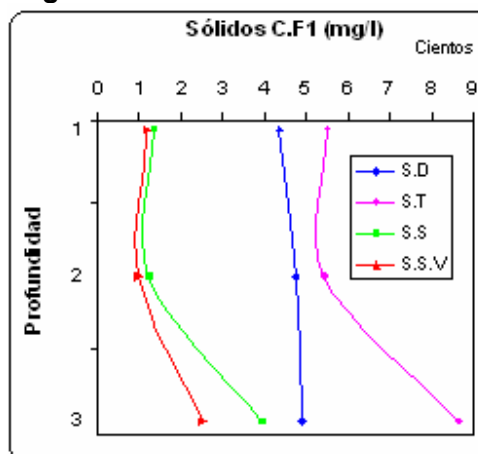
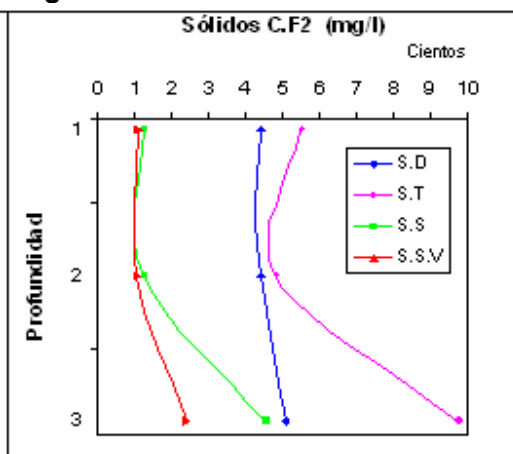


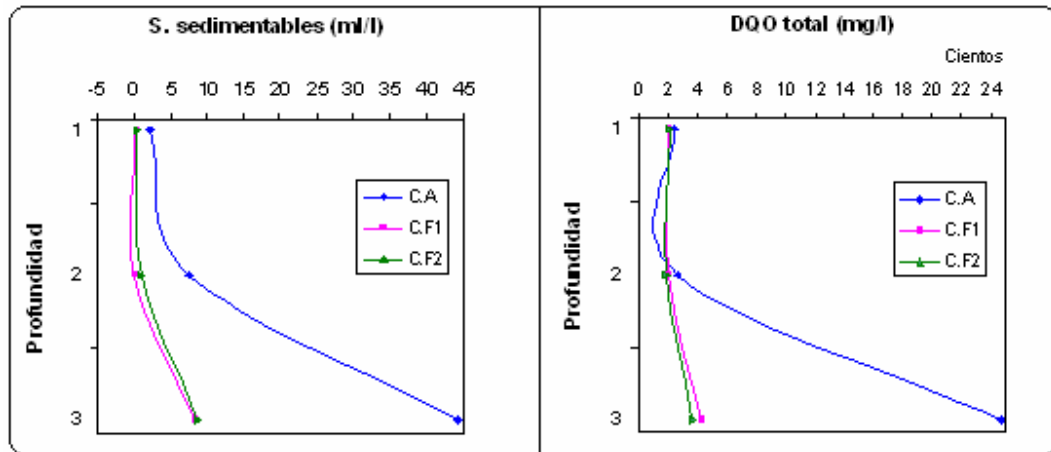
Figura 51. Sólidos en facultativa 2



La distribución en porcentaje de los sólidos suspendidos volátiles con respecto a los suspendidos, fue de 86 y 90% en la superficie, de 81 y 83 % en el medio y de 65 y 53% en el fondo, correspondiendo a la facultativa 1 y 2 respectivamente. Esto implica que aunque hay mayor distribución de biomasa en las capas superiores, la que existió en el fondo fue de gran consideración (>50%).

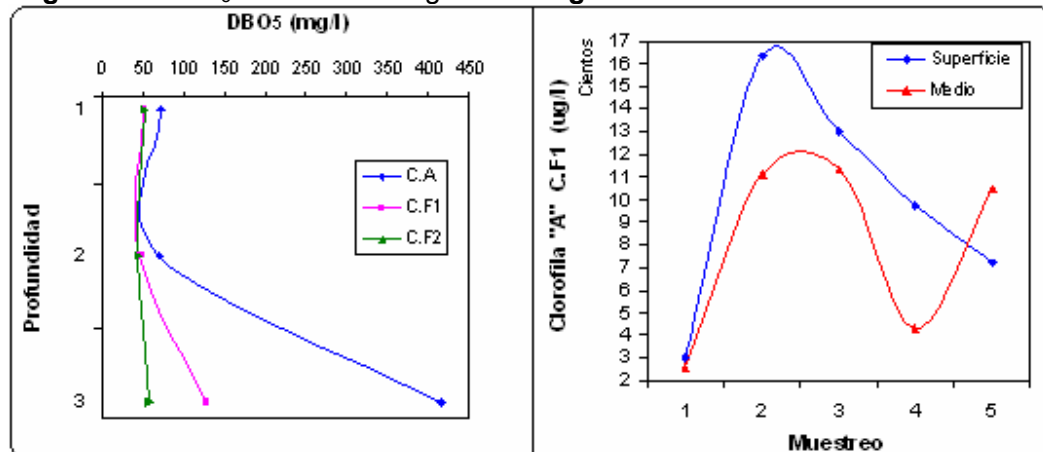
En lo que respecta a los sólidos sedimentables, de acuerdo a la figura 52, la distribución en el corte longitudinal es apenas lógica en las tres lagunas, aumentaron con la profundidad, destacándose en mayor proporción la laguna anaerobia. Las lagunas facultativas fueron muy similares en dicho comportamiento, tendiendo su superficie a estar libre de éstos.

Figura 52. S. Sed. en centro de lagunas **Figura 53.** DQO en centro de lagunas



Para la variable DQO, se obtuvo variabilidad importante en todas las profundidades definidas, siendo mayor en el fondo para cada laguna. El parámetro DBO_5 , fue mucho más variable que el anterior, para cada una de las profundidades analizadas (ver tabla 14).

Figura 54. DBO_5 en centro de lagunas **Figura 55.** Clorofila en facultativa 1



En concordancia con las figuras 53 y 54, tanto la DQO como la DBO_5 , no variaron mucho de la superficie al medio, pero con relación al fondo hubo diferencias importantes. En la DQO, las tres lagunas aumentaron su concentración progresivamente hacia el fondo, siendo muy marcada en la laguna anaerobia. En la laguna anaerobia y en la laguna facultativa 1, la DBO_5 , aumentó con consideración hacia el fondo, cosa que no ocurrió en la facultativa 1, donde su crecimiento fue poco notorio.

La clorofila “a” medida en los centros de las lagunas facultativas y en el efluente total del sistema (durante las horas del día), arrojó una alta variabilidad en la superficie con relación a su profundidad media, en la laguna facultativa 2. Para la facultativa 1 la variaciones se dieron en igual proporción en la superficie y en el medio, y fueron mucho menores que las anteriores. Como consecuencia de las variaciones producidas en las dos lagunas, el efluente total del sistema presentó una alta variabilidad (ver tabla 15).

Los valores promedios presentados en la laguna facultativa 1 fueron mayores que los promedios de la facultativa 2, 852 y 656 ug/l, en la superficie, 656 y 361 ug/l, en la profundidad media. Es de anotar que se encontraron mediciones máximas en la facultativa 2 de 1846 ug/l. El promedio para el efluente total fue de 947 ug/l (ver tabla 15).

Figura 56. Clorofila en facultativa 2

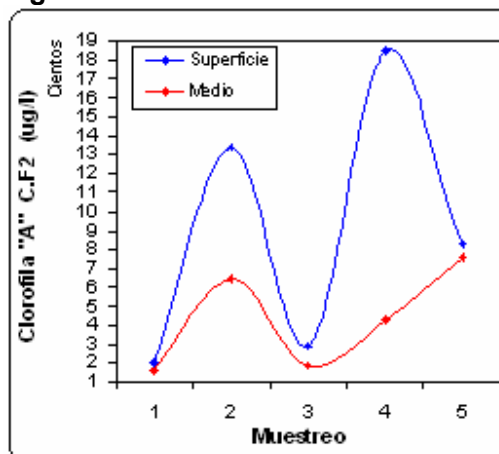
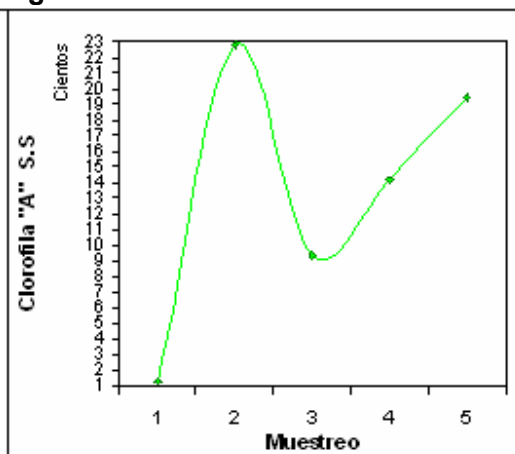


Figura 57. Clorofila en efluente total



En este sistema se alcanzaron mediciones de clorofila “a” muy altas, hasta de 2275 ug/l, pero también se consiguieron valores muy bajos, hasta de 129 ug/l (ver figuras 55 a 57); esto implica grandes altibajos en su producción, que pueden ocasionar variaciones importantes en la eficiencia del mismo. Obviamente que estos estuvieron asociados directamente con las condiciones del tiempo (ver anexos 1, 2, 5 y 6), tal y como lo representaron los días soleados, donde el espejo de agua presentó un color verde intenso, contrario a lo que ocurrió en los días opacos o de lluvias, mostrando coloraciones rosadas dispersas por todo el espejo de agua.

9.2.5 Análisis de sulfuros obtenidos en la laguna anaerobia. Se realizaron dos muestreos puntuales, cuantificando cada tres horas las variables: Temperatura del ambiente y del agua, oxígeno disuelto, potencial redox, pH, sulfuros y caudal. Estos parámetros se analizarán a partir de las figuras 58 a 61.

Figura 58. Temperatura L. anaerobia

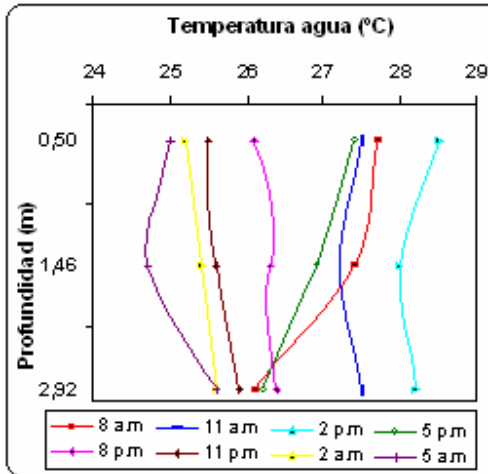


Figura 59. O.D L. anaerobia

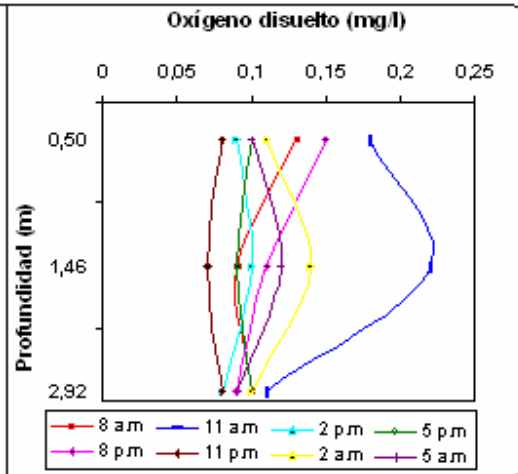


Figura 60. P. redox L. anaerobia

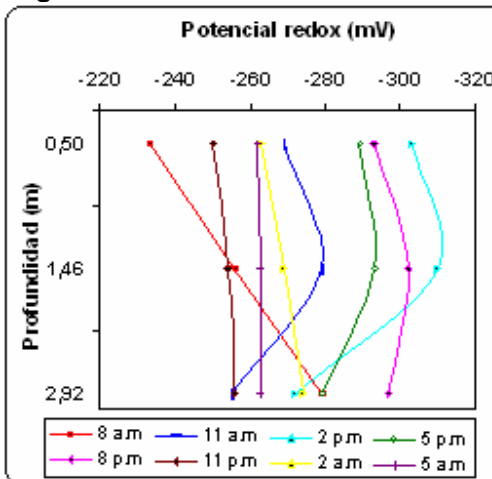
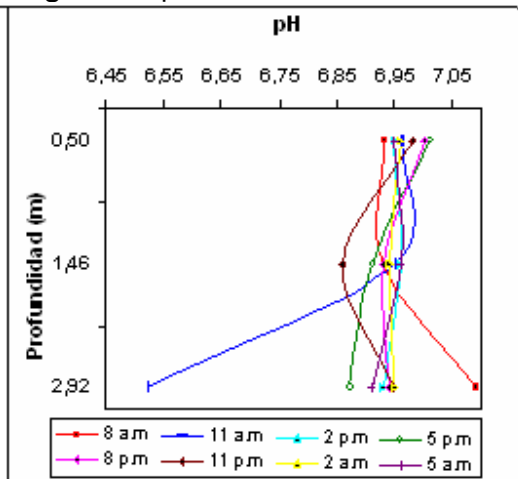


Figura 61. pH L. anaerobia



Se contó con un rango de temperatura del agua entre 24,7 y 28,5 °C, presentándose gradiente térmico importante en las horas 8 a.m y 5 p.m. En las horas nocturnas la temperatura se hizo más estable, con respecto a la profundidad. El promedio de la temperatura del agua en la laguna fue de 26,5°C, ligeramente mayor al promedio de la temperatura del aire, cuyo valor fue de 26,1°C. Con relación al oxígeno disuelto se encontró en un rango entre 0,07 a 0,22 mg/l, observándose poco cambio con respecto a la profundidad. El promedio de la concentración de O.D fue de 0,11 mg/l. El potencial redox osciló entre -233 y -310 mV, detectándose poca variación con respecto a la profundidad en las horas nocturnas. El promedio para el potencial redox en esta laguna fue de -273 mV. En cuanto al potencial de hidrógeno no se observaron cambios importantes con respecto a la profundidad, sobretodo en lo que se refiere a las dos capas superiores analizadas (0,50 y 1,46 m), donde se puede considerar estable. El

rango de pH presentado está entre 6,52 a 7,09, con un promedio de 6,93. Los datos de SO_4^{2-} representados en la tabla 16, mostraron valores bajos con respecto al total de las especies de sulfuros, con algunos saltos importantes en la hora 5 y 11 p.m.

Con la información analizada anteriormente y los datos de concentración de sulfuros proporcionados en la tabla 16, se retoma el diagrama de la distribución logarítmica de las especies solubles de sulfuros, dada en la figura 3, para realizar la distribución porcentual de las especies H_2S y HS^- (ver tabla 21), utilizando la primera disociación del sulfuro de hidrógeno, con $K_1 = 10^{-7}$:

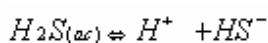


Tabla 21. Distribución porcentual H_2S y HS^-

DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS ESPECIES DE SULFURO										
pH	%		5,2 mg/l S^{-2}		6,5 mg/l S^{-2}		6,7 mg/l S^{-2}		7,3 mg/l S^{-2}	
	% H_2S	% HS^-	H_2S	HS^-	H_2S	HS^-	H_2S	HS^-	H_2S	HS^-
			(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
6,5	76,0	24,0	3,95	1,25	4,94	1,56	5,09	1,61	5,55	1,75
7,0	50,0	50,0	2,60	2,60	3,25	3,25	3,35	3,35	3,65	3,65
7,3	33,4	66,6	1,74	3,46	2,17	4,33	2,24	4,46	2,44	4,86
7,5	24,0	76,0	1,25	3,95	1,56	4,94	1,61	5,09	1,75	5,55
pH	%		7,9 mg/l S^{-2}		8,0 mg/l S^{-2}		8,5 mg/l S^{-2}		11,5 mg/l S^{-2}	
	% H_2S	% HS^-	H_2S	HS^-	H_2S	HS^-	H_2S	HS^-	H_2S	HS^-
			(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
6,5	76,0	24,0	6,00	1,90	6,08	1,92	6,46	2,34	8,74	2,76
7,0	50,0	50,0	3,95	3,95	4,00	4,00	4,25	4,25	5,75	5,75
7,3	33,4	66,6	2,64	5,26	2,67	5,33	2,84	5,66	3,84	7,66
7,5	24,0	76,0	1,90	6,00	1,92	6,08	2,04	6,46	2,76	8,74

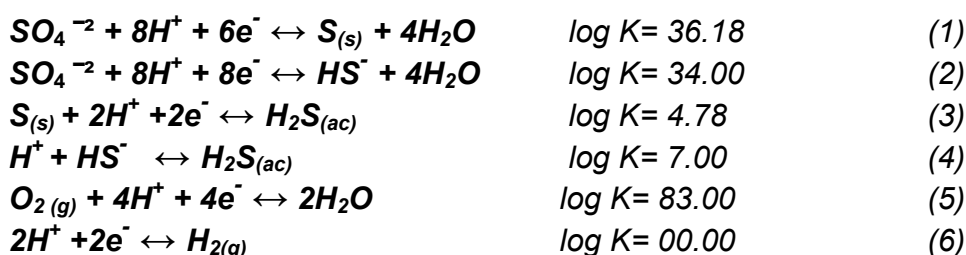
Para esta distribución, se tomaron algunos datos representativos de sulfuros, consignados en la tabla 16.

Al presentarse en la laguna anaerobia un pH ligeramente menor de 7.0, el sistema tiende a que la especie predominante sea el H_2S . Si se observan las concentraciones de las especies de interés en el rango de pH entre 7.3 y 7.5, se nota la predominancia del HS^- sobre el H_2S .

Es de anotar que la cantidad de S^{-2} es despreciable en el rango de pH entre 6.5 a 8.0, como lo muestra el diagrama de distribución logarítmica de las especies de sulfuros (figura 3), justificándose así la no utilización de la segunda disociación del sulfuro de hidrógeno.

También es posible realizar un diagrama de pE-pH, que muestre un buen panorama y una figura clara de la situación existente en la laguna anaerobia relacionando los datos encontrados en campo en dicho diagrama.

Las ecuaciones a desarrollar en este análisis son las siguientes:



A las ecuaciones anteriores se les aplica la ecuación de Peters-Nernst, enunciada en párrafos anteriores, que en su forma concreta es:

$$pE = pE^\circ + \left(\frac{1}{n}\right) \log \left[\left\{ \frac{ox}{red} \right\} \right]$$

De donde,

$$pE = \left(\frac{1}{n}\right) \log k + \left(\frac{1}{n}\right) [\log\{ox\} - \log\{red\}]$$

Nota: recordar que n, es el número de electrones intercambiados en las reacciones de oxidación reducción.

Es de aclarar que la ecuación (4), origina una ecuación de la recta con pendiente cero, donde las concentraciones de las especies HS^- y H_2S se hacen iguales.

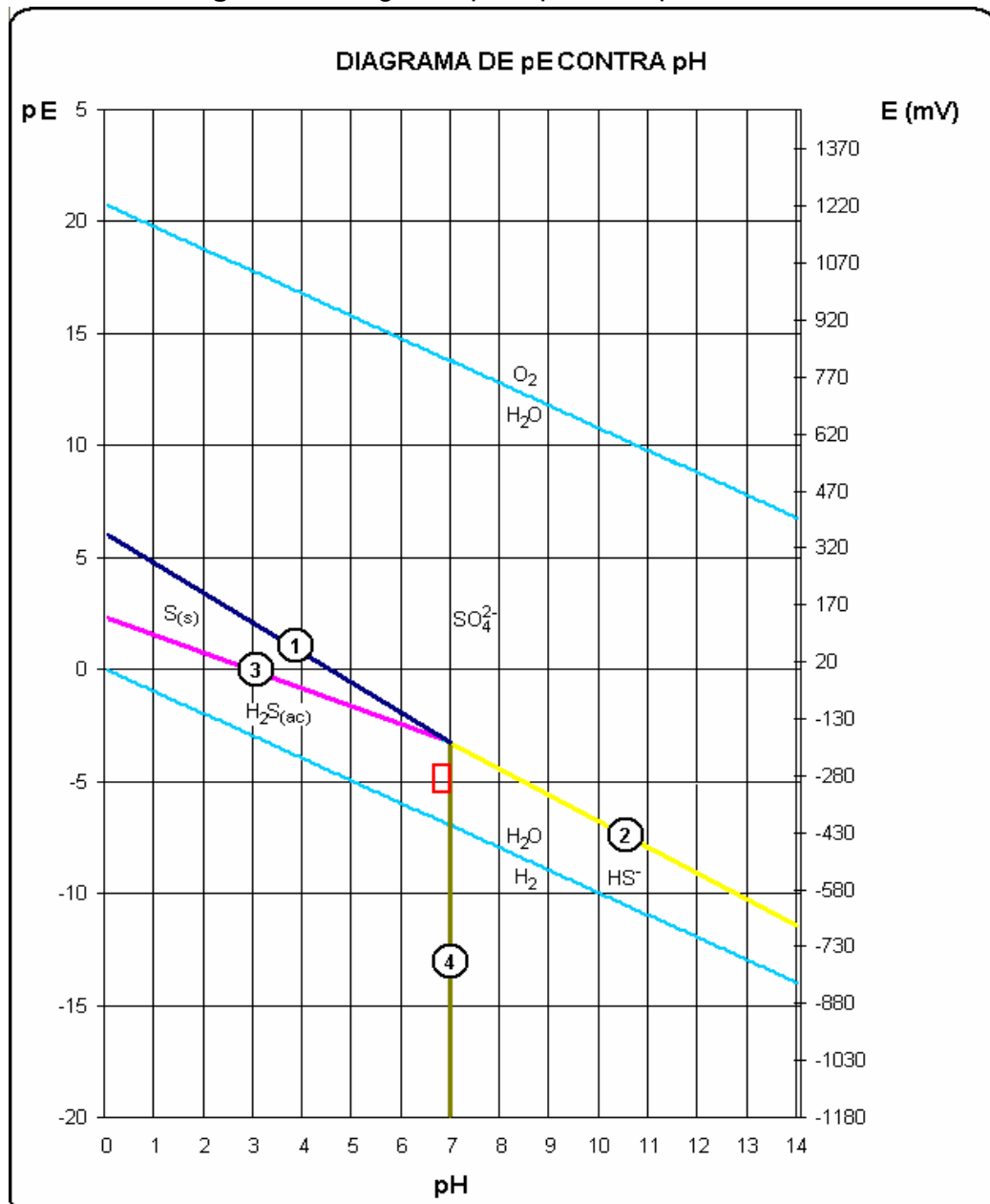
Cada una de las rectas originadas a partir de las 5 ecuaciones, determinan regiones que permiten ubicar a cada una de las especies estudiadas. La figura 62, describe las áreas de predominancia de cada una de estas especies.

Las líneas indicadas en la figura anterior, corresponden a las ecuaciones enumeradas desde 1 hasta 4, respectivamente. Las líneas azules claras representan las ecuaciones de oxidación-reducción del agua.

La línea 4, trazada en forma vertical, indica el equilibrio existente entre las especies H_2S y HS^- ; es decir, las concentraciones son iguales a un pH de 7.0. Se origina a la derecha

de esta línea, la dominancia de HS^- a pH mayores de 7.0 y dominancia de H_2S a pH menores de 7.0.

Figura 62. Diagrama pE – pH de especies de sulfuros



Las líneas 2 y 3 son los límites entre las especies SO_4^{2-} , H_2S y HS^- respectivamente; es decir, debajo de las líneas 2 y 3 predominan H_2S y HS^- . El azufre sólido o elemental está limitado entre las líneas 1 y 3, siendo la línea 1 el límite con la especie SO_4^{2-} . Este azufre sólido va a tener dominancia únicamente a pH bajos, pero en estas condiciones de pH, el H_2S domina sobre él por la gran extensión de su área.

Es así como el H_2S a pH menores de 7.0 y a potenciales redox menores de 150, puede estar predominando. De igual forma el HS^- , a pH mayores que 7.0 y potenciales redox menores de -150, es el que está predominando, con tendencia a perderla en la medida en que aumenta el pH, de forma similar como lo expresa la figura 3 donde a $\text{pH} > 12$ su concentración es mínima. La concentración de SO_4^{2-} abarca un área, correspondiente a un intervalo amplio de pH en el diagrama, indicando con esto su estabilidad en el sistema, pero dadas las necesidades de las bacterias sulfo-reductoras del medio, se encuentra en cantidades pequeñas con respecto a las otras especies, tal y como lo consigna la tabla 16, donde el valor con mayor frecuencia reportado es de menor o igual a 3 mg/l (ver anexos 11 y 12).

Es de advertir que al hablar de predominancia de una especie, no quiere decir que no se encuentren presentes las demás.

Las líneas de color azul claro corresponden a las ecuaciones de oxido-reducción del agua.

De acuerdo a este análisis podemos identificar en el diagrama, un recuadro de color rojo, que significa la región donde se encuentra ubicado el sistema de estudio (pH menor de 7.0 y potenciales redox alrededor de -273 mV). Si consideramos un cambio en las condiciones de pH, que además es corroborado con el análisis de distribución porcentual, se puede direccionar el sistema hacia la región de los SO_4^{2-} o hacia el área del HS^- .

Adicionalmente, el análisis de temperatura, O.D, potencial redox y pH mostraron la estabilidad que presentaron dichas variables en las horas nocturnas en la columna de agua, implicando que al no existir estratificación térmica y química, la emisión del H_2S al ambiente es considerable, diferente a lo que se presentó en las horas diurnas donde si hubo estratificación.

9.2.6 Caudal en el sistema. Los caudales fueron medidos en todos los muestreo cada cuatro horas, en los afluentes y efluentes de cada unidad, pero también se cuantificaron cada hora en el afluente y efluente de la planta. Las figuras 63 a 67 describen su comportamiento.

Las figuras 63 y 64 se construyeron a partir de la tabla 9, datos estadísticos que mostraron una mayor variabilidad en la hora 7:30 p.m, para las estaciones afluente del sistema, efluente de la laguna anaerobia y afluente de la laguna facultativa 1; en la hora 7:30 a.m, para las efluentes de las lagunas facultativas 1 y 2 y para el efluente total del sistema; y en la hora 11:30 p.m, para el afluente de la laguna facultativa 2.

De acuerdo a las figuras 64, el caudal que entró a las dos lagunas presentó un comportamiento similar hasta las horas de la tarde, pero en las horas de la noche el caudal de la facultativa 2 fue mayor (aproximadamente el doble en las horas de la madrugada). En los efluentes de estas lagunas la diferencia se marcó desde el medio día, donde fue mucho mayor para la laguna facultativa 2.

Figura 63. Caudal en E.S, S.A y S.S

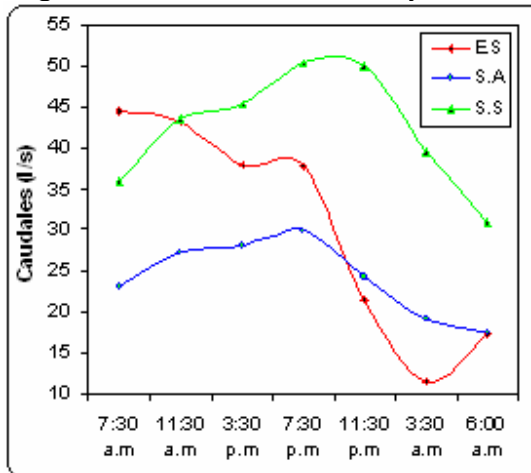
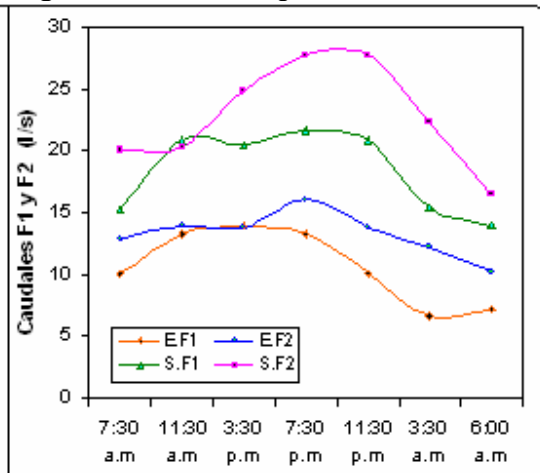


Figura 64. Caudal lagunas facultativas



El caudal de entrada al sistema y el efluente de la laguna anaerobia, según figura 63, presentaron gran diferencia, porque mientras en las horas de la mañana, incluso hasta las horas de la tarde, el caudal afluente disminuyó, el caudal efluente de la anaerobia aumentó, y en las horas de la noche disminuyeron de tal forma que se igualaron en la primera hora del día. Es importante resaltar como a las 3:30 a.m el caudal afluente alcanzó su mínimo valor. Con relación al efluente del sistema total, se puede ver como al disminuir el caudal de entrada, prácticamente este aumentó, alcanzando su valor máximo entre 7:30 p.m a 11:30 p.m, en gran consideración.

La figura 65, presenta el resumen de los afluentes y efluentes de cada unidad.

Con respecto al cálculo del promedio del caudal por cada estación, se presentó mayor variabilidad en la entrada al sistema y en la entrada a la laguna facultativa 1, en concordancia con la tabla 9.

Figura 65. Caudal en cada estación por hora

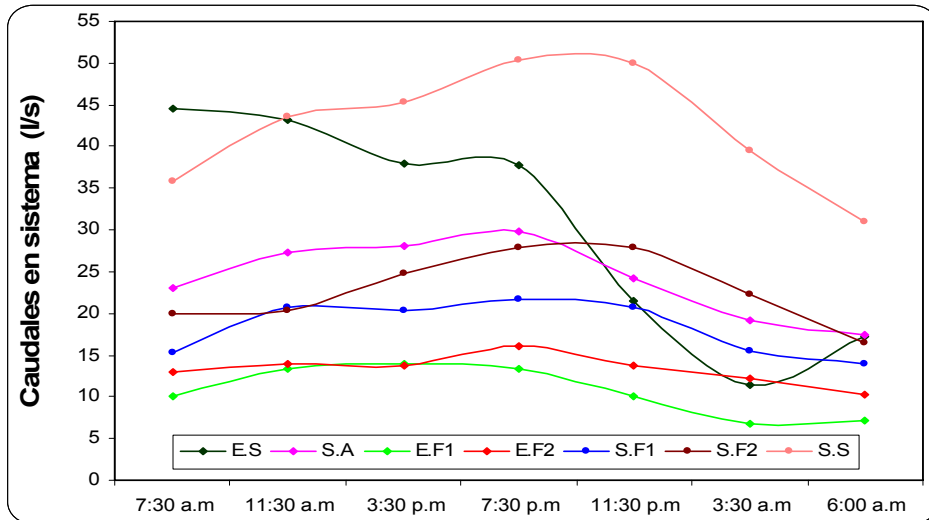
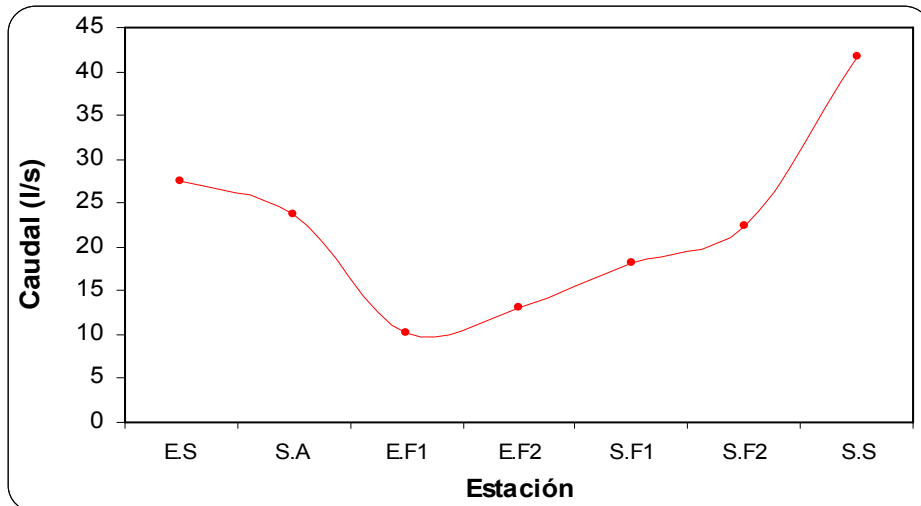
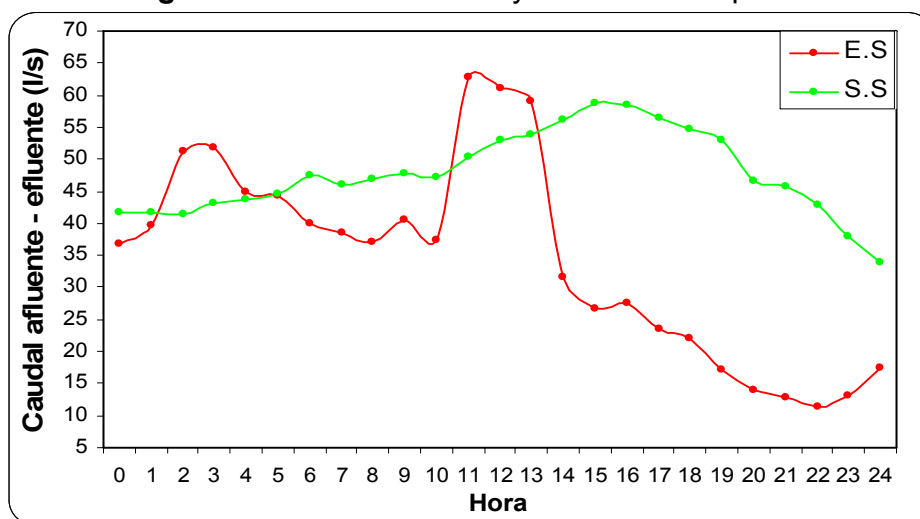


Figura 66. Caudal promedio por estación



En la figura 66, se presentan los promedios de caudal por estación. El caudal a la salida del sistema aumentó en 52% aproximadamente con respecto al caudal de entrada y con respecto al efluente de la laguna anaerobia en un 75%.

Figura 67. Caudal afluente y efluente de la planta



De la tabla 10 se construye la figura 67, relacionada con el caudal afluente y efluente del sistema. De acuerdo a dichos estadígrafos, se obtuvo una alta variabilidad en ambos flujos. Los picos más altos del afluente se consiguieron a las 5:00, 6:00 y 7:00 p.m, horas en que se presentaron fuertes lluvias durante algunos muestreos así como también en algunas ocasiones mantenimiento al alcantarillado municipal (ver anexo 14). En promedio las horas de mayor alcance del caudal afluente se consiguieron al medio día. El promedio del caudal afluente fue de 34.5 l/s.

El efluente de la planta, aumentó durante las horas diurnas, alcanzando sus máximos valores en las horas de la noche (de 9 a 10 p.m), según la tabla 11. Esto implica que el sistema tiene alta capacidad de amortiguamiento, porque entrando un caudal pico a las 5 p.m, se consiguió aproximadamente este mismo caudal, cuatro horas más tarde (ver anexo 14). El caudal promedio efluente fue de 47.7 l/s.

9.3 ANÁLISIS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

Se calcularon los tiempos de retención obtenidos en los cinco muestreos, para las 3 lagunas y se registran en la tabla 22. Estos resultados son la consecuencia de una variabilidad importante en los caudales conseguidos, resaltándose que en el tercer muestreo, esta capacidad hidráulica disminuyó considerablemente para las tres lagunas. El promedio para la laguna anaerobia fue de 6 días y para las lagunas facultativas de 13 y 10 días, respectivamente.

Tabla 22. Tiempo de retención hidráulica en las lagunas

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (Días)		
L. Anaerobia	L. Facultativa 1	L. Facultativa 2
7	17	14
6	9	9
4	8	7
6	14	10
6	16	9
PROMEDIO TRH (Días)		
6	13	10

9.4 ANÁLISIS DE CARGA DE APLICACIÓN

Tabla 23. DBO_u afluente a 27 °C

CÁLCULO DBO_u AFLUENTE (27°C)			
Muestreo Nº	Estación		
	L. Anaerobia	L. Facultativa 1	L. Facultativa 2
1	362,5	46,9	46,9
2	343,9	197,1	197,1
3	149,3	49,2	49,2
4	371,1	83,0	83,0
5	383,1	102,0	102,0

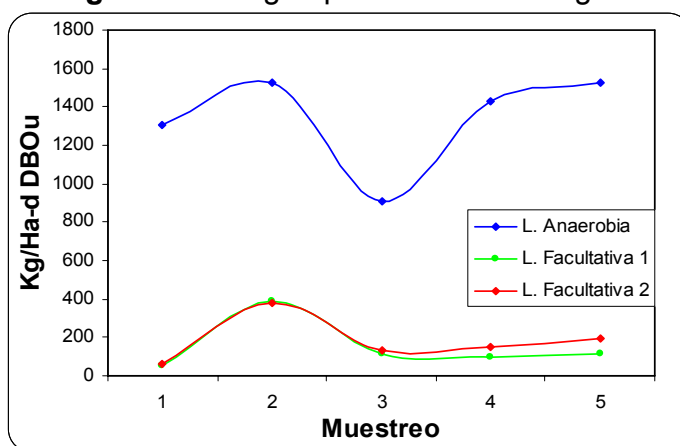
Tabla 24. Estimación de carga aplicada en cada laguna

CARGA APLICADA POR MUESTREO EN DBO_u (Kg/Ha-d)			
Muestreo Nº	Estación		
	L. Anaerobia	L. Facultativa 1	L. Facultativa 2
1	1304	50	59
2	1523	385	382
3	908	113	130
4	1428	101	154
5	1529	114	194
CARGA APLICADA AL SISTEMA EN DBO_u (Kg/Ha-d)			
Estación			
L. Anaerobia	L. Facultativa 1	L. Facultativa 2	
1317	142	182	

En las tablas 23 y 24, se presentan los cálculos de DBO_u , estimada a 27 °C y las cargas de aplicación en cada laguna, para los cinco muestreos realizados.

A partir de la tabla 24 se obtiene la figura 68, la cual da información sobre que cantidad de carga superficial que está recibiendo cada laguna. Aunque algunos autores señalan que es inadecuado hablar de carga superficial en una laguna anaerobia, este parámetro puede dar una buena indicación para saber si la laguna permanece totalmente anaerobia. En este caso, de acuerdo a la figura 68, la carga fue mayor a 1000Kg/ Ha-d, excepto en el caso del muestreo 3, cuyo valor fue de 908 Kg/Ha-d. Más adelante se asociará este parámetro con las remociones obtenidas.

Figura 68. Carga aplicada en cada laguna



Para las lagunas facultativas las cargas de aplicación fueron casi iguales, excepto en los muestreos 4 y 5 donde se notó la diferencia. Estas cargas fueron relativamente bajas en casi todos los muestreos, en promedio de 142 y 182 Kg/Ha-d, considerándose los valores típicos entre 200 a 400 kg/Ha-d.

9.5 ANÁLISIS DE EFICIENCIA EN EL SISTEMA

La tabla 25 presenta el rendimiento obtenido en cada laguna de la planta de tratamiento, por cada muestreo realizado (ver datos en los anexos 2, 4, 6, 8 y 10). En la tabla 26 se registra la eficiencia con los datos procesados de la tabla 13.

La laguna anaerobia presentó remociones altas, en todos los parámetros descritos en la tabla 25, con eficiencias en DBO_5 total entre 44 y 91%, en DBO_5 soluble entre 84 y 93%, en DQO total entre 18 y 73% y en DQO soluble entre 34 y 99%. En general, aunque existió variabilidad en la remoción de materia orgánica, la tendencia es que sea alta, tal

y como lo describe la tabla 26, cuya remoción promedia para DBO₅ total y soluble fue de 72 y 89% respectivamente, para DQO total y soluble fue de 59 y 81% respectivamente. De igual forma para los sólidos suspendidos totales fue de 60% y para los suspendidos volátiles de 52%.

Tabla 25. Eficiencia de remoción para diferentes parámetros por muestreo realizado

EFICIENCIA EN CARGA EN EL SISTEMA POR MUESTREO (%)					
PARÁMETRO	Laguna Anaerobia				
	Muestreo N°				
	1°	2°	3°	4°	5°
DBO ₅ sol	93	84	85	90	89
DBO ₅ tot	91	44	70	80	77
DQO sol	91	34	88	99	90
DQO tot	73	18	61	70	68
S. Totales	42	34	19	48	16
S. Suspend.	50	35	54	77	79
S.S.V	20	40	-15	73	78
PARÁMETRO	Laguna Facultativa 1				
	Muestreo N°				
	1°	2°	3°	4°	5°
DBO ₅ sol	-6	80	-9	67	64
DQO sol	60	78	82	93	75
S. Totales	-79	-37	-184	-173	-27
S. Suspend.	-115	19	-379	-136	-291
S.S.V	-78	5	-325	-85	-291
PARÁMETRO	Laguna Facultativa 2				
	Muestreo N°				
	1°	2°	3°	4°	5°
DBO ₅ sol	34	83	11	39	64
DQO sol	55	61	83	93	74
S. Totales	-30	-39	-137	-191	-16
S. Suspend.	-43	2	-254	-175	-102
S.S.V	-8	-3	-238	-153	-102
PARÁMETRO	Eficiencia del sistema total				
	Muestreo N°				
	1°	2°	3°	4°	5°
DBO ₅ sol	92	92	90	91	93
DBO ₅ tot	82	72	31	71	72
DQO sol	89	70	93	98	93
DQO tot	55	55	-187	50	56
S. Totales	12	7	-107	-48	11
S. Suspend.	13	43	-47	43	51
S.S.V	-11	38	-259	43	47

Asociando los datos de temperatura, tiempo de retención hidráulica y eficiencia en remoción de DBO₅ total, se observó que en la laguna anaerobia con una temperatura

entre 25 y 30 °C, tiempo de retención entre 4 y 7 días, se logró una eficiencia en remoción de materia orgánica entre 44 y 93%, considerándose la laguna anaerobia como una unidad de alta remoción porque los valores que se reportan en algunas literaturas (reconocidas por muchos autores), bajo la misma temperatura, tiempo de detención entre 4 a 5 días se obtiene remociones entre 60 a 70% (Cuervo, en prensa).

En cuanto a la remoción en las lagunas facultativas, se lograron remociones favorables en tres muestreos, con eficiencias entre 39 y 83% en DBO₅ soluble, y en DQO soluble entre 55 y 93% (ver tabla 25). Las remociones en los sólidos, presentadas en la tabla 26 para estas lagunas, implicaron un alto aporte de sólidos al efluente del sistema, con un promedio de 0.30 Kg DBO/ Kg S.S (ver tabla 27), pero no implica que la eficiencia de las lagunas fue deficiente, porque la remoción promedio en materia orgánica en la laguna facultativa 1 fue de 59% y en la laguna facultativa 2 fue de 62%. El sistema en general presentó alta remoción en DBO₅ soluble con un valor 92% y en DBO₅ total de 71%. Es importante resaltar la eficiencia en DQO soluble en todos los muestreos para todas las unidades, con un promedio en el efluente total de 89%.

Las variaciones en la eficiencia del sistema, obedece indudablemente a los altibajos del caudal, porque para la laguna anaerobia, en el primer muestreo, se observó que para un tiempo de retención hidráulica de 7 días (el máximo registrado), correspondiendo un caudal de 22.9 l/s a la entrada de la planta (ver anexo 13), se obtuvo la más alta remoción de materia orgánica, operando con una carga de aplicación de 1304 Kg/Ha-d. Para las lagunas facultativas se detectó mayor remoción con tiempos de retención de 9 días, con la mayor carga de aplicación superficial, 385 y 382 Kg/Ha-d y un caudal de 13.8 y 13.7 l/s (ver anexo 13), que además de ser un valor intermedio entre los registrados es equitativo para las dos lagunas. Esto ocurrió en el muestreo 2. De esta manera las lagunas facultativas operaron subcargadas.

Tabla 26. Eficiencia general del sistema

EFICIENCIA EN EL SISTEMA (%)				
PARÁMETRO	Estación			
	L. Anaerobia	L. Facultativa 1	L. Facultativa 2	Sistema total
DBO ₅ sol	89	59	62	92
DBO ₅ tot	72	-34	-10	71
DQO sol	81	79	74	89
DQO tot	59	-62	-48	22
S. Totales	32	-80	-66	-16
S. Suspend.	60	-120	-78	30
S.S.V	52	-103	-69	19
N. Total K.	...	...	...	-6
P. Total	...	...	...	-29

Tabla 27. Aporte en DBO por sólidos suspendidos en el efluente

Aporte en DBO por S.Suspendidos en el efluente (Kg DBO/ Kg S.Suspend.)				
Muestreo N°				
1°	2°	3°	4°	5°
0,21	0,28	0,27	0,31	0,45
Aporte promedio				
0,30				

De acuerdo al aporte en DBO por sólidos suspendidos, presentado en la tabla 27, se puede explicar los datos reportados como negativos en las tablas 25 y 26, donde la alta biomasa existente en las lagunas facultativas, producto de la presencia de algas y bacterias, originan una carga mayor en el efluente del sistema.

9.6 COMPARACIÓN CON ALGUNOS PARÁMETROS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL CRUDA

En la tabla 28, se presenta la comparación con algunos parámetros proyectados.

Tabla 28. Comparación con parámetros de diseño proyectados

COMPARACIÓN CON PARÁMETROS DE DISEÑO PROYECTADOS			
Parámetro	Condición a cumplir	Rango encontrado	Promedio encontrado
pH	5,0 - 9,0	5,8 - 9,4	-
Temperatura (°C)	<40	<40	-
% remoción DBO ₅	80	90 - 92	92
% remoción S. Susp.	80	0 - 51	30
Material flotante	Ausente	Presente en día sin sol	-
Caudal medio diseño (l/s)	62,35	11,5 - 44,5	27,5
Caudal máx. horario (l/s)	125,33	33,9 - 178,7	62,7
Caudal min. (l/s)	24,94	8,4 - 17	11,5
DBO ₅ tot diseño (mg/l)	200	122,0 - 313,1	249,2
S. Susp. diseño (mg/l)	200	162,0 - 344,0	261,1

En cuanto a pH y temperatura encontrados concuerdan efectivamente con los rangos establecidos proyectados. En la remoción en carga de DBO₅ los valores encontrados sobrepasan lo esperado, aunque en sólidos suspendidos el rango está muy bajo con respecto a lo proyectado. En relación al material flotante, es importante aclarar que en días en que no existió buena radiación solar, dicho material se presentaba disperso en todo el espejo de agua, desplazándose hacia las esquinas de las lagunas facultativas en el tiempo de buena radiación. En las primeras horas de la mañana (6 a 8 a.m), se observó gran cantidad de coloraciones rosadas, que luego se sedimentaban para

visualizarse un color verde intenso en el espejo de agua. En algunas ocasiones se detectó, en las lagunas facultativas, coloración amarillo-verdoso (ver observaciones en anexos del 1 al 10).

Con respecto al caudal medio de diseño, se encontraron promedios altos de 44.5 l/s en las horas del día (ver tabla 10), representando caudales casi cercanos al proyecto, es decir, en 4 años aproximadamente se cuenta con caudales muy altos, esperándose entonces que antes de terminarse su vida útil se ha sobrepasado el caudal de diseño. Los caudales máximos horarios, que sobrepasaron el diseñado (178.5 l/s), se presentaron sólo en días lluviosos. Quiere decir esto que, es necesario revisar el vertedero de exceso de caudal. Además en fines de semana, como ocurrió en el muestreo 2 (ver anexo 14), se registraron valores hasta de 50 l/s, durante la noche hasta las 3 de la mañana, por la alta actividad turística que tiene el municipio. Los caudales mínimos encontrados por debajo del proyectado, son reportados en las horas de la madrugada.

En la tabla 29, se definen las características del agua residual cruda.

Tabla 29. Características del agua residual cruda

COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL CRUDA		
Parámetro	Rango	Promedio
pH	6,2 - 8,0	7,3
Temperatura (°C)	22 - 32	26
DBO ₅ (mg/l)	122 - 313	249
DQO (mg/l)	313 - 695	552
P. total (mg/l)	1,6 - 9,4	5
N. total (mg/l)	47 - 56	52
S. Susp. (mg/l)	162 - 344	261
S.S.V (mg/l)	62 - 340	200
S. Sed. (ml/l)	3,5 - 7,0	6
Sulfatos (mg/l)	21 - 63	45
Aporte DBO ₅ (g/hab.d)	14 - 37	30
Aporte DQO (g/hab.d)	37 - 82	65
Aporte S.Susp. (g/hab.d)	19 - 41	31

De acuerdo a las características presentadas en la tabla 29, se tiene que en los parámetros DQO, nitrógeno total y sulfatos, se encuentran en alta concentración comparada con los valores promedios del estrato medio colombiano, descritos en la tabla 2. Los demás parámetros son típicos de un agua residual doméstica. En relación al aporte de DBO₅, DQO y sólidos suspendidos en g/hab.día, se considera bajos con respecto a los valores comunes encontrados en Colombia.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La temperatura ambiente, en las horas nocturnas no altera notoriamente la temperatura del agua en las lagunas, siendo estable en su volumen, además de ser mayor a la que presenta el ambiente, tal y como lo demostró el análisis en la laguna anaerobia. De igual forma se puede afirmar, que la estratificación térmica en las lagunas se presentó alrededor de la hora 3:30 p.m, porque para el resto de las horas del día, se observó un descenso suave de temperatura con respecto a la profundidad.

En cuanto a la temperatura del agua, el sistema cuenta con un gran aporte de energía por las condiciones climáticas de la región, por tanto esta tiende a favorecer la remoción de materia orgánica, porque la mayor parte de los demás variables analizadas están asociadas directamente con la temperatura. Uno de los efectos de esta variable se observó en los altos valores de clorofila "a" encontrados en las lagunas facultativas, implicando la existencia de condiciones favorables para la interacción ecológica entre los microorganismos presentes.

El comportamiento de la temperatura en los efluentes de las lagunas facultativas fue muy similar y se puede concluir que en sus centros la temperatura en la laguna facultativa 1 fue casi una réplica de la facultativa 2.

El oxígeno disuelto para las estaciones C.A, S.A, S.F1 y S.F2, alcanzó su máximo valor promedio entre las 11:30 a.m y las 3:30 p.m, mientras que para C.F1 y C.F2 se logró en la hora 7:30 a.m, donde se obtuvieron datos importantes de sobresaturación. Las concentraciones de este parámetro presentaron gradientes considerables con respecto a la profundidad en los centros de las lagunas facultativas, mientras que en la laguna anaerobia fue muy bajo.

El comportamiento del oxígeno disuelto para las dos lagunas facultativas fue muy similar (con concentraciones mayores en la facultativa 2) y al presentarse en el fondo de estas lagunas, un oxígeno disuelto máximo promedio mayor a 4 mg/l en la hora 7:30 a.m, se confirma una alta actividad fotosintética en esta hora del día, siendo indicada además por una coloración verde intensa en todo el espejo de agua.

El promedio de la conductividad eléctrica obtenido para cada estación, en uS/cm, osciló entre 716 y 900. Estas concentraciones tienden a ser ligeramente reducidas al pasar el agua por las lagunas facultativas. Esta variable, en los centros de las tres lagunas aumentó con la profundidad, siendo más notorio el gradiente en las facultativas. En general el comportamiento de la conductividad en las dos lagunas facultativas fue similar, con concentraciones ligeramente mayores en la facultativa 2.

De acuerdo al análisis de potencial redox, en los siete muestreos realizados, se contó con un intervalo en la laguna anaerobia entre -215 y -285 mV, en todo el corte

longitudinal, donde se observó estabilidad con respecto a la profundidad en las horas nocturnas. De acuerdo a la literatura consultada en esta investigación, el valor óptimo para un buen proceso anaerobio, debe estar cercano a -330 mV, lo que implica que esta laguna está por encima de ese valor, pudiéndose generar desestabilidad en dicho proceso. Es así como se dio una anaerobiosis estricta sólo en las horas de la noche y madrugada.

El pH en la laguna anaerobia se presentó en un rango promedio de 6,79 a 7,20, tendiendo a ser un ambiente ácido en las horas de la noche (6.1 y 6.2). Estos datos son indicadores de alteración en el proceso anaerobio en ciertos instantes del tiempo.

Para las lagunas facultativas se detectaron promedios de potencial redox en las capas superiores, que oscilaron entre 24 a 69 mV, en las horas diurnas, donde el proceso de reducción comenzó a darse al finalizar la tarde. El tiempo de máxima actividad oxidativa está asociado directamente con las temperaturas y oxígenos máximos alcanzados en ambas lagunas. El comportamiento del potencial redox para dichas lagunas fue similar, presentándose concentraciones ligeramente mayores en la facultativa 2.

El pH presentó un comportamiento similar para los efluentes de las lagunas facultativas y se puede afirmar que en sus centros, una fue una réplica de la otra. Los datos de pH estuvieron asociados directamente con los valores de temperatura y oxígeno disuelto señalados anteriormente.

Los promedios de pH obtenidos en el corte longitudinal analizado en las lagunas facultativas (7,5 y 7,6), implican en estas una capacidad amortiguadora muy alta y a pesar de que el pH tiende a seguir disminuyendo en la noche, el sistema tiene la capacidad de regularse rápidamente, tal y como lo expresaron los efluentes de las mismas, donde siempre se obtuvieron promedios de pH mayores de 7, en todas las 24 horas.

Es importante resaltar, que en la mayoría de la literatura, siempre se encuentra que el pH es máximo en las horas de la tarde, diferente a lo que se reporta en estos registros, donde el pH fue máximo en las horas de la mañana con tendencia a disminuir en las horas de la tarde.

Con relación a los nutrientes, exceptuando las formas sulfatos, nitrógeno amoniacal y fósforo soluble, existió alta variabilidad tanto en concentraciones como en el comportamiento presentado en el corte longitudinal en cada laguna, lo que sugiere realizar estudios que profundicen con mayor precisión el comportamiento de éstos en las mismas.

En general, para los afluentes y efluentes del sistema, existió gran cantidad de sólidos disueltos con respecto a los sólidos suspendidos, mayores a 72% con respecto a los

sólidos totales. De los sólidos suspendidos hubo más del 76% en sólidos suspendidos volátiles, implicando una importante biomasa para los efluentes del sistema.

En la laguna anaerobia, los sólidos suspendidos volátiles se distribuyeron, con respecto a los sólidos suspendidos, en un 69% en la superficie, 79% en el medio y 39% en el fondo; es decir; la biomasa activa se distribuyó en mayor cantidad en las capas superiores. En las lagunas facultativas, la distribución de los sólidos suspendidos volátiles con respecto a los suspendidos totales, fue de 86 y 90% en la superficie, de 81 y 83 % en el medio y de 65 y 53% en el fondo, correspondiendo a la laguna facultativa 1 y 2 respectivamente. Esto implica que aunque hubo mayor distribución de biomasa en las capas superiores, la que existió en el fondo fue de gran consideración (>50%).

En cuanto a los sólidos sedimentables, la distribución en el corte longitudinal fue apenas lógico en las tres lagunas, aumentaron con la profundidad, destacándose en mayor proporción la laguna anaerobia. Las lagunas facultativas fueron muy similares en dicho comportamiento, tendiendo su superficie a estar libre de éstos, lo cual es favorable para dicho proceso.

Se puede concluir que el comportamiento de todos los sólidos en las lagunas facultativas, una fue una réplica de la otra.

En cuanto al análisis de carga orgánica aplicada en la laguna anaerobia (Kg/Ha-d DBO_u), con valores mayores de 1200 y menores de 1000, es pertinente advertir los posibles rompimientos de estabilidad en las fases de depuración que allí deben existir, porque cambios abruptos en caudales y cargas, originan indudablemente efectos no proyectados.

La laguna anaerobia presentó altas remociones, con 72% en DBO₅ total y 89% en DBO₅ soluble, además en DQO total y soluble fue de 59 y 81% respectivamente. De igual forma para los sólidos suspendidos totales fue de 60% y para los suspendidos volátiles fue de 52%. En resumen la laguna anaerobia es responsable del 70% de remoción en DBO₅ total en el sistema. En cuanto a la remoción en la laguna facultativa 1 se obtuvieron remociones en DBO₅ de 59% y en DQO de 79%. Para la laguna facultativa 2 la eficiencia fue de 62% en DBO₅ y 74% en DQO. Estas remociones se consideran importantes para el sistema pero existe un gran aporte de sólidos en el efluente del mismo, con un valor promedio de 0.30 Kg DBO/ Kg S.S, lo que sugiere la necesidad de hacer una remoción de sólidos por medio de un tratamiento adicional al efluente del sistema.

El sistema en general presentó una remoción en DBO₅ soluble de 92% y en DBO₅ total de 71%, comparado con otros sistemas similares en cuanto al tren de tratamiento, donde se obtiene remociones de 70%, bajo una temperatura ambiente entre 13 y 17°C (Mejía, 2006), y en otras plantas donde se cuenta además con tratamiento terciario y

temperaturas mayores de 27°C, de 77% (Cárdenas et al, 2005), 74% (Rojas, 1995), 88% (Silva, Mara y De Oliveira, 1987), intervalo entre 80 a 90% (Pearson et al, 1996) y 89.4% (Patil, Meti and Hosetti, 1993) podemos afirmar que es alta.

De acuerdo al análisis realizado a partir de los muestreos de sulfuros, se recomienda mantener un pH en la laguna anaerobia entre 7.3 a 8.0 en todas las 24 horas del día, para minimizar la producción de H₂S, porque la estabilidad presentada en las variables fisicoquímicas analizadas en las horas nocturnas, generan alta emisión del H₂S a la atmósfera, por la existencia de mayores índices de mezcla. Para esto utilizar cal en el último tramo del alcantarillado antes de la entrada al sistema.

Para evitar la inestabilidad que se pueda presentar en las fases de depuración anaerobia, dada la variabilidad de la carga aplicada, es conveniente construir un sistema de tratamiento primario (reactor tipo UASB) que ayude a disminuir la carga de sólidos tratada en la laguna anaerobia. Esto tiene una finalidad importante, y es que, contribuye a minimizar el impacto ambiental que se está generando actualmente por los malos olores, pues la laguna anaerobia actual operaría como facultativa.

Con análisis realizado para la laguna anaerobia se puede concluir que aunque esta es la responsable de la mayor remoción en materia orgánica en el sistema, para diseños futuros se recomienda exigir una cubierta adecuada que permita recolectar los gases generados, bien sea para ser quemados o para aprovecharlos como fuente de energía.

Con respecto a los caudales encontrados, es pertinente hacer un control del mismo durante las 24 horas, para minimizar las sobrecargas al proceso de tratamiento. Para esto se recomienda revisar la calibración del vertedero de excesos, localizado en el sistema preliminar de la planta y controlar la distribución de los afluentes para cada laguna facultativa.

La razón que existe entre la DBO₅ y la DQO total del agua cruda está en un promedio de 0.45, cociente que se ha encontrado muy comúnmente para las aguas residuales domésticas.

De acuerdo a las características presentadas en el agua residual cruda, se tiene que en los parámetros DQO, nitrógeno total y sulfatos, se encuentran en alta concentración comparada con los valores promedios del estrato medio colombiano, descritos en la tabla 2. Los demás parámetros son típicos de un agua residual doméstica. En relación al aporte de DBO₅, DQO y sólidos suspendidos en g/hab.día, se considera bajos con respecto a los valores comunes encontrados en Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cuervo F., H. Fundamentos para el Análisis y Diseño de Proceso. Documento en prensa: capítulo *Lagunas de estabilización*. Medellín.
- Cuervo F., H. Compañía Colombiana de Consultores. Evaluación hidráulica y optimización de las lagunas de estabilización de la Compañía Nacional de Chocolates en Rionegro-Antioquia, 1987.
- Díaz-Báez, M., Espitia V., S. y Molina P., F. Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Biotecnología. Medellín, 2002. pp. 89, 121.
- Rolim M., S. Sistemas de Lagunas de Estabilización. Editorial Mc Graw Hill, Santa Fe de Bogotá, 2000. pp.31.
- Rolim M., Sergio. Lagunas de Estabilización. En: Organización Panamericana de la Salud (folleto). Santa Fe de Bogotá, Colombia, 1999. pp.4.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. En: www.minambiente.gov.co/noticias, marzo 14/2006. Plantas de tratamiento.htm.
- Hydra Ing. Ltda. Colombia. Plan Maestro Sistema de Alcantarillado de Santa Fe de Antioquia, 2001.
- El Mundo. Anuario de Antioquia 2004. Medellín – Colombia. 2005, Vol1, 3.
- El Mundo. Municipios de mi tierra (folleto). Santa Fe de Antioquia. No 8. Casa editorial El Mundo, 2000.
- Corantioquia. Colombia. Informe técnico Lagunas de Estabilización Santa Fe de Antioquia/ octubre 2004.
- Cárdenas, C., Jaeger, C., Villasmil, H., Perruolom T., Yabroudi, S. y Castejón, O. Evaluación de las Unidades que conforman la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Maracaibo Sur. En: Revista Técnica facultad de Ingeniería (Venezuela). Universidad de Zulia. Vol. 28, No 2 (2002); pp. 97-109.
- Metcalf y Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales; Tratamiento, Vertido y Reutilización. Madrid (España). McGraw-Hill. Tercera edición, 1995. pp.2.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes: MOPT, “Depuración por Lagunaje de Aguas Residuales, Manual de Operadores”, Madrid, 1991. pp. 57-75.
- Romero, J. A. “Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales”, Santa Fe de Bogotá, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005. pp. 108-121.
- Metcalf y Eddy, Inc., “Ingeniería Sanitaria, Redes de Alcantarillado y Bombeo de Aguas Residuales”, Barcelona, Editorial Labor, S.A., Primera edición, 1985. pp. 249-254.
- Yanez, F. Avances en el Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú : CEPIS, 1982 . pp.2.

- Amahmid, O., Asmama, S. y Bouhoum, K. Urban Wastewater Treatment in Stabilization Ponds: Occurrence and Removal of Pathogens. En: Urban Water 4(2002); p. 255-262 (Marruecos).
- Toze, S. PCR and the Detection of Microbial Pathogens in Water and Wastewater. En: Revista Water Research. Vol. 33, No. 17 (1999); pp. 3545-3556.
- Guastadisegni, S., Porto, L., Callejas, D. y Botero, L. Presencia de Enterovirus Detectados por la Técnica de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) en el Efluente de un Sistema de Tratamiento a ser empleado en Irrigación. Estudio Preliminar. En: Revista Técnica Ingeniería (Venezuela). Universidad de Zulia. Vol. 25, No 1 (2002); pp. 20-25.
- Quintero B., W., Oliveros O., C., Medina, Z. y Botero, L. Evaluación del Uso de Lagunas de Estabilización para la Remoción de Quistes de Giardia. En: Revista Técnica facultad de Ingeniería (Venezuela). Universidad de Zulia. Vol. 21, No 1 (1998); pp. 20-26.
- Craggs, R., Zwart, A., Nagels, K. y Davies-colley, R. Modelling Sunlight Desinfection in a High Rate Pond. En: Revista Ecological Engineering. 22 (2004); pp. 113-122 (Nueva Zelanda).
- Nelson, K., Jiménez, B., Tchobanoglous, G. y Darby, J. Sludge Accumulation, Characteristics and Pathogen Inactivation in Four Primary Waste Stabilization Ponds in Central México. En: Revista Water Research. 38 (2004); pp. 111-127.
- Shilton, A., Bailey, D. Drouge Tracking by Image Processing for the Study of Laboratory Scale Pond Hydraulics. En: Revista Flow Measurement and Instrumentation (Nueva Zelanda). 17 (2006), pp. 69-74.
- Torres, J., Soler, A., Sáez, J., Leal, L. y Aguilar, M. Study of the Internal Hydrodynamics in Three Facultative Ponds of Two Municipal WSPS in Spain. En: Revista Water Research. España Vol. 33, No. 5 (1999); pp. 1133-1140.
- Villasmil, G., Sánchez, J., Aldana, G. y Bracho, N. Tracer Behavior of a Series Stabilization Ponds. En: Revista Técnica de la facultad de Ingeniería Universidad de Zulia. Vol. 22, No. 3 (1999); p. 205-212.
- Mayo, A. W., Mutamba, J. Effect of HTR on Nitrogen Removal in a Coupled HRP and Unplanted Subsurface Flow Gravel Bed Constructed Wetland. En: Revista Physics and Chemistry of the Earth (Tanzania). 29 (2004), p. 1253-1257.
- Sawyer, C. N. and McCarty, P. L. "Chemistry for Environmental Engineering", New York, Editorial McGraw-Hill Book Company, Third Edition, 1978. pp. 205-210.
- Snoeyink, V. L. and Jenkins, D. "Química del Agua", México, Editorial Limusa, S.A., 1997. pp. 385-396.
- Stumm, W. and Morgan, J. J. "Aquatic Chemistry", United States of América, Wiley-Interscience, 1970. pp. 301-334.
- Mejía, R. "Análisis de la Dinámica de Transformación de la Materia Orgánica en las Lagunas de Estabilización para el Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de la Ceja, Tesis de Maestría, Director: Néstor Aguirre R. Universidad de Antioquia, Medellín, 2006. pp 170-178.

- Rojas, J. "Performance of Waste Water Stabilization Ponds Systems in Bolivia", 3rd IAWQ International Specialist Conference and Workshop. 1995.
- Silva, S., Mara, D y De Oliveira, R. "The Performance of a Series of Five Deep Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil", Proceedings of an Lawpre Specialized Conference Held in Lisboa Portugal, 1987.
- Kayombo, S., Mbwette, T. S., Mayo, A. W., Katima, J. H. and orgensen, S. E. "Diurnal Cycles of Variation of Physical-Chemical Parameters in Waste Stabilization Ponds", En: Revista Ecological Engineering. Vol. 18. 2002. pp. 287-291.
- Pearson, H. W., Avery, S. T., Mills, S. W., Njaggah, P. and Odiambo, P. "Performance of the Phase II Dandora Waste Stabilization Ponds the Largest in Africa: The Case for Anaerobic Ponds", En: Revista Science and Technology. Vol. 33 (7). 1996. pp. 91-98.
- Patil, H. S., Meti, G. M. and Hosetti, B. B., "Biology of Multi Cell Ponds Treating Municipal Wastes", En: Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie. Vol. 78 (2). 1993. pp. 309-317.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Primer muestreo

PRIMER MUESTREO						
FECHA:		NOVIEMBRE 29 Y 30 DE 2006				
PRIMERA MUESTRA						
HORA:		7:30 a.m	TEMPERATURA AMBIENTE: 24,4 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: 6 cm			ESTADO DEL TIEMPO: Nublado			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: 9 cm			VELOCIDAD DEL VIENTO: 1,1 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	...	25,4	0,90	790	-181	7,45
Centro anaerobia	Superficie	27,3	0,06	795	-351	6,20
	Medio	25,4	0,10	791	-355	6,30
	Fondo	24,5	0,07	810	-343	5,80
Salida anaerobia	...	25,9	0,18	803	-251	7,33
Centro facultativa 1	Superficie	27,2	2,35	720	54	7,02
	Medio	27,3	2,40	705	68	7,02
	Fondo	26,4	2,28	710	55	7,04
Centro facultativa 2	Superficie	28,2	3,50	741	25	7,90
	Medio	27,7	3,20	750	80	7,68
	Fondo	27,4	2,30	785	-88	7,01
Salida facultativa 1	...	26,0	2,62	725	-18	7,45
Salida facultativa 2	...	25,8	2,33	748	7	7,46
Salida del sistema	...	25,8	2,32	738	17	7,48
OBSERVACIONES: Las lagunas facultativas presentan color gris con abundante espuma, similar a la laguna anaerobia. El olor proveniente de la laguna anaerobia es fuerte.						

Anexo 1. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Primer muestreo

SEGUNDA MUESTRA						
HORA: 11:30 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 30,4 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: 8 cm			ESTADO DEL TIEMPO: Sol y lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: 11 cm			VELOCIDAD DEL VIENTO: 2,4 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	27,3	0,67	725	-78	7,90
Centro anaerobia	Superficie	29,3	0,04	760	-251	6,80
	Medio	26,4	0,16	800	-255	6,90
	Fondo	25,5	0,09	950	-243	6,60
Salida anaerobia	...	30,1	1,08	775	-108	6,88
Centro facultativa 1	Superficie	29,2	4,25	740	34	7,22
	Medio	29,2	4,80	730	58	7,30
	Fondo	29,4	3,50	761	35	7,40
Centro facultativa 2	Superficie	30,2	13,50	728	15	8,20
	Medio	29,3	6,50	776	60	7,78
	Fondo	29,4	4,30	805	-78	7,01
Salida facultativa 1	...	30,5	5,40	690	20	7,76
Salida facultativa 2	...	30,6	12,03	702	16	8,35
Salida del sistema	...	29,7	8,11	715	30	8,20
OBSERVACIONES: Las lagunas facultativas presentan abundantes coloraciones rosas sobre la superficie. Su color gris va desapareciendo.						
TERCERA MUESTRA						
HORA: 3:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 30,9 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: 8 cm			ESTADO DEL TIEMPO: Lluvioso			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: 10 cm			VELOCIDAD DEL VIENTO: 2,4 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	27,3	0,21	820	-217	6,37
Centro anaerobia	Superficie	26,5	0,25	810	-196	6,29
	Medio	25,8	0,27	840	-243	6,19
	Fondo	25,9	0,15	999	-304	6,17
Salida anaerobia	...	29,3	2,44	821	-7	6,44
Centro facultativa 1	Superficie	28,6	3,33	805	17	6,48
	Medio	27,0	0,67	817	-24	6,42
	Fondo	26,6	0,57	823	-111	6,17
Centro facultativa 2	Superficie	28,8	5,10	856	17	6,58
	Medio	28,3	5,28	880	21	6,35
	Fondo	28,3	4,94	891	-12	6,34
Salida facultativa 1	...	29,4	6,61	720	1	6,62
Salida facultativa 2	...	29,9	20,1	705	5	7,02
Salida del sistema	...	30,7	15,25	713	15	6,90
OBSERVACIONES: Las lagunas facultativas presentan color verde intenso y algunas coloraciones rosas en las esquinas.						

Anexo 1. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Primer muestreo

CUARTA MUESTRA						
HORA:		7:30 p.m		TEMPERATURA AMBIENTE: 22,6 °C		
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO:		Poca lluvia	
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO:		0,2 m/s	
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	23,8	0,80	805	-254	6,25
Centro anaerobia	Superficie	25,1	0,12	810	-326	6,20
	Medio	25,2	0,08	823	-331	6,22
	Fondo	24,9	0,08	895	-332	6,18
Salida anaerobia	...	24,6	0,12	822	-317	6,18
Centro facultativa 1	Superficie	24,3	0,24	802	-146	6,61
	Medio	24,2	0,18	831	-96	6,42
	Fondo	24,1	0,15	835	-121	6,43
Centro facultativa 2	Superficie	24,5	3,50	815	-21	6,89
	Medio	24,6	1,70	803	-85	6,63
	Fondo	24,6	0,50	838	-101	6,64
Salida facultativa 1	...	24,4	1,30	765	-141	6,29
Salida facultativa 2	...	24,5	8,93	777	-59	6,52
Salida del sistema	...	24,4	3,60	733	-36	6,32
OBSERVACIONES: Existe olor extravagante en el sistema anaerobio.						
QUINTA MUESTRA						
HORA:		11:30 p.m		TEMPERATURA AMBIENTE: 23,9 °C		
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO:		Sin lluvia	
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO:		0,4 m/s	
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	25,1	0,10	605	-312	6,29
Centro anaerobia	Superficie	25,8	0,10	795	-330	6,22
	Medio	25,8	0,02	798	-345	6,25
	Fondo	25,9	0,02	805	-376	6,18
Salida anaerobia	...	26,4	0,11	785	-302	6,15
Centro facultativa 1	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Centro facultativa 2	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Salida facultativa 1	...	25,8	0,45	795	-145	6,26
Salida facultativa 2	...	25,2	4,05	802	-24	6,42
Salida del sistema	...	25,3	0,48	798	-99	6,25
OBSERVACIONES: Se ha aumentado el olor en la laguna anaerobia.						

Anexo 1. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Primer muestreo

SEXTA MUESTRA						
HORA: 3:30 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 23,9 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: Sin lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,1 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	24,9	3,56	635	46	6,25
Centro anaerobia	Superficie	25,1	0,1	785	-291	6,15
	Medio	25,1	0,02	788	-297	6,10
	Fondo	25,4	0,02	895	-290	6,10
Salida anaerobia	...	25,5	0,09	715	-315	6,08
Centro facultativa 1	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Centro facultativa 2	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Salida facultativa 1	...	25,1	0,30	782	-140	6,16
Salida facultativa 2	...	25,0	0,16	795	-132	6,18
Salida del sistema	...	24,2	0,56	786	-107	6,18
OBSERVACIONES:						
SÉPTIMA MUESTRA						
HORA: 6:00 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 22,2 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: Sin lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO: 1 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	25,3	0,16	666	-212,8	6,21
Centro anaerobia	Superficie	25,2	0,15	745	-225,1	6,15
	Medio	25,3	0,02	748	-231	6,10
	Fondo	25,3	0,02	996	-266,7	6,10
Salida anaerobia	...	25,6	0,08	842	-332,8	6,20
Centro facultativa 1	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Centro facultativa 2	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Salida facultativa 1	...	24,8	0,29	815	-218,5	6,31
Salida facultativa 2	...	25,2	1,18	833	-170,0	6,46
Salida del sistema	...	24,0	1,18	820	-35,5	6,44
OBSERVACIONES: Las lagunas facultativas presentan color gris con espumas, muy similares a la laguna anaerobia.						

Anexo 2. Resultados obtenidos de las variables físicas, químicas y biológicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Primer muestreo

MUESTREO COMPUESTO														
FECHA: Noviembre 29 y 30 de 2006							Duración del muestreo: 24 horas							
PARÁMETRO	ESTACIÓN DE MUESTREO													
	E.S	C. A			S. A	C. F1			C. F2			S. F1	S. F2	S.S
		Superficie	Medio	Fondo		Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo			
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	21				20,6	18,5	9,2	13,7	12,8	10,3	4,9	17,3	14,4	
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	1,1				19	19,5	2,8	3,1	11,6	11,8	18,1	14,3	17,2	
NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	0,18				0,15	0,19	0,16	0,27	0,24	0,22	0,019	0,005	0,051	
NH ₃ -N (mg/l)	21.1				23.2	25.5	13.2	17	14,3	18,2	20,2	24.0	26,0	
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	33,8				29,6	19,5	19,2	28,6	24	24	32,4	17,2	22,2	
Alcalin.(mg/l CaCO ₃)	299,5				324,4	249,5	269,5	264,5	249,5	254,5	254,5	269,5	239,6	
Conductividad (µs/cm)	661				672	491	693	498	468	457	469	551	503	
S.Disueltos (mg/l)	701				654	474	669	481	449	440	453	530	487	
S.sedimentables (ml/l)	6				0,1	0	0	7	0,3	0	5	0,1	0,3	
S.Totales (mg/l)	592				476	466	472	732	482	474	802	460	462	
S.Suspendidos (mg/l)	162				112	116	112	362	126	120	426	130	120	
S.S.V (mg/l)	94				104	92	72	148	100	108	152	100	84	
DQO sol (mg/l)	165,21				87,64							53,91	84,26	66.9
DQO tot (mg/l)	667,78				249,54							286,6	249,5	265.4
DBO sol (mg/l)	57,5				28,7							21,9	18,9	20.2
DBO tot (mg/l)	296,3				38,3							53,9	39,9	46.7
Clorofila (µg/l)						299,9	258,7		205,8	158,8				129,36

Nota:

- Estación E.S = Entrada al sistema
- Estación C.A = Centro laguna anaerobia
- Estación S.A = Salida laguna anaerobia
- Estación C.F1 = Centro laguna facultativa 1
- Estación C.F2 = Centro laguna facultativa 2
- Estación S.F1 = Salida laguna facultativa 1
- Estación S.F2 = Salida laguna facultativa 2
- Estación S.S = Salida sistema total

Anexo 3. Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Segundo muestreo

FECHA DEL MUESTREO:		ABRIL 14 Y 15 DE 2007				
PRIMERA MUESTRA						
HORA:		7:30 a.m		TEMPERATURA AMBIENTE:		27,2 °C
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: ...			ESTADO DEL TIEMPO:		SOLEADO	
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: ...			VELOCIDAD DEL VIENTO:		0,8 m/s	
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	29,7	0,23	886	-194	7,10
Centro anaerobia	Superficie	32,5	2,40	823	-27	7,30
	Medio	31,2	0,68	841	-34	7,40
	Fondo	31,1	0,09	860	-183	7,20
Salida anaerobia	...	31,5	0,53	812	-99	7,10
Centro facultativa 1	Superficie	35,0	15,69	581	12	9,20
	Medio	36,0	17,70	606	17	9,00
	Fondo	34,8	13,40	633	64	9,00
Centro facultativa 2	Superficie	33,9	12,00	666	52	8,70
	Medio	32,0	9,01	753	48	7,90
	Fondo	32,2	7,60	754	46	7,90
Salida facultativa 1	...	30,0	18,20	594	24	9,00
Salida facultativa 2	...	30,5	15,60	684	35	8,60
Salida del sistema	...	30,3	13,10	636	29	8,80
OBSERVACIONES: Las lagunas facultativas presentan coloraciones rosas en sus esquinas. Su color gris va desapareciendo, dando lugar al color verde.						

Anexo 3. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Segundo muestreo

SEGUNDA MUESTRA						
HORA: 11:30 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 32,5 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1:			ESTADO DEL TIEMPO: SOLEADO			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2:			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,4 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	32,3	0,17	684	-132	7,10
Centro anaerobia	Superficie	28,5	0,74	830	-123	7,50
	Medio	28,3	0,76	826	-103	7,50
	Fondo	28,1	0,46	830	-74	7,40
Salida anaerobia	...	33,9	2,30	808	-4	7,30
Centro facultativa 1	Superficie	27,8	2,88	596	6	9,10
	Medio	27,8	3,59	680	17	8,40
	Fondo	27,0	2,31	724	25	7,80
Centro facultativa 2	Superficie	29,9	6,30	603	-16	9,20
	Medio	29,5	4,06	732	-19	8,20
	Fondo	27,3	2,76	765	-7	7,72
Salida facultativa 1	...	34,2	19,00	542	32	9,60
Salida facultativa 2	...	34,4	17,5	533	-5	9,70
Salida del sistema	...	33,4	21,2	564	13	9,30
OBSERVACIONES: Las lagunas facultativas presentan color verde intenso y algunas coloraciones rosas en las esquinas. La laguna anaerobia presenta color gris y se observan burbujeos en toda su superficie.						
TERCERA MUESTRA						
HORA: 3:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 28°C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: Poca lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,2 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	26,0	0,22	772	-198	7,10
Centro anaerobia	Superficie	27,4	0,53	821	-118	7,40
	Medio	23,0	0,37	825	-108	7,40
	Fondo	26,6	0,54	918	-93	7,30
Salida anaerobia	...	26,4	0,34	824	-269	7,10
Centro facultativa 1	Superficie	27,8	6,0	590	-55	9,00
	Medio	27,1	1,02	699	-25	8,00
	Fondo	27,1	0,55	712	-63	7,80
Centro facultativa 2	Superficie	28,8	10,20	641	4	8,90
	Medio	27,8	1,42	756	14	7,75
	Fondo	27,5	0,55	767	-49	7,60
Salida facultativa 1	...	26,9	7,60	625	-4	8,80
Salida facultativa 2	...	26,6	1,75	750	-20	7,70
Salida del sistema	...	26,5	2,80	705	-6	8,20
OBSERVACIONES: Las lagunas facultativas presentan coloración verde intenso, con algunas costras en la facultativa 1. La laguna anaerobia presenta color gris oscuro con algunas espumas.						

Anexo 3. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Segundo muestreo

CUARTA MUESTRA						
HORA: 7:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 27 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: SIN LLUVIA			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,4 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	26,5	0,34	833	-180	7,30
Centro anaerobia	Superficie	26,8	0,61	830	-303	7,10
	Medio	26,6	0,30	828	-293	7,02
	Fondo	26,4	0,27	871	-294	7,00
Salida anaerobia	...	26,5	0,46	830	-265	7,10
Centro facultativa 1	Superficie	26,4	1,56	675	-80	8,30
	Medio	26,0	0,41	739	-75	7,40
	Fondo	25,9	0,21	775	-292	7,10
Centro facultativa 2	Superficie	26,5	0,90	758	-64	7,60
	Medio	25,7	0,20	806	-301	7,20
	Fondo	25,8	0,23	839	-252	7,02
Salida facultativa 1	...	26,6	1,10	670	-64	8,40
Salida facultativa 2	...	25,8	0,54	749	-19	7,80
Salida del sistema	...	25,8	0,54	727	-34,0	7,50
OBSERVACIONES: Las muestras de las lagunas facultativas, especialmente la de la facultativa 2, presentan mucha turbiedad y su color es gris.						
QUINTA MUESTRA						
HORA: 11:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 28 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: SIN LLUVIA			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,1 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	25,3	0,29	856	-175	7,20
Centro anaerobia	Superficie	25,6	0,2	530	-281	7,21
	Medio	25,9	0,2	751	-296	7,10
	Fondo	25,6	0,1	858	-303,0	7,02
Salida anaerobia	...	25,4	0,23	830	-273	6,80
Centro facultativa 1	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Centro facultativa 2	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Salida facultativa 1	...	25,5	0,35	675	-201	7,80
Salida facultativa 2	...	25,3	0,44	769	-55	7,20
Salida del sistema	...	25,4	0,26	725	-144	7,50
OBSERVACIONES:						

Anexo 3. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Segundo muestreo

SEXTA MUESTRA						
HORA: 3:30 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 24,2 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: SIN LLUVIA			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,2 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	26,7	0,50	781	-20	7,3
Centro anaerobia	Superficie	26,8	0,3	803	-381,1	7,20
	Medio	26,9	0,1	895	-386,2	7,10
	Fondo	26,6	0,05	1010	-397,5	7,08
Salida anaerobia	...	27,0	0,26	832	-303	6,80
Centro facultativa 1	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Centro facultativa 2	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Salida facultativa 1	...	26,8	0,30	703	-206	7,50
Salida facultativa 2	...	26,5	0,30	766	-219	7,20
Salida del sistema	...	26,3	0,20	741	-170	7,30
OBSERVACIONES:						
SÉPTIMA MUESTRA						
HORA: 6:00 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 23,4 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1:			ESTADO DEL TIEMPO: DESPEJADO			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2:			VELOCIDAD DEL VIENTO: 1,5 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	27,3	0,47	1021	-199	6,96
Centro anaerobia	Superficie	26,8	0,07	930	-196	6,78
	Medio	27,1	0,03	936	-216	6,67
	Fondo	27,1	0,02	1210	-228	6,60
Salida anaerobia	...	27,6	1,10	819	-4	6,98
Centro facultativa 1	Superficie	....	....	....	...	...
	Medio	....	....	....	....	...
	Fondo	....	....	....	....	....
Centro facultativa 2	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Salida facultativa 1	...	27,1	13,3	701	8	7,50
Salida facultativa 2	...	27,6	12,2	706	6	7,20
Salida del sistema	...	27,8	13,60	702	7	7,19
OBSERVACIONES: Las lagunas facultativas presentan color gris oscuro con espumas, pero en menor cantidad que en la laguna anaerobia, donde se observa además buen burbujeo.						

Anexo 4. Resultados obtenidos de las variables físicas, químicas y biológicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Segundo muestreo

REPORTE MUESTREO COMPUESTO														
FECHA: Abril 14 y 15 de 2007							Duración del muestreo: 24 horas							
PARÁMETRO	ESTACIÓN DE MUESTREO													
	E.S	C.A			S.A	C. F1			C. F2			S. F1	S. F2	S.S
		Superficie	Medio	Fondo		Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo			
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	62,7	24,4	24,8	8,9	23,9	20,5	20,2	21,4	25,0	21,9	20,6	28,1	21,4	24,5
NO ₃ ⁻ (mg/l)	2,9	4,5	7,6	32,0	10,8	13,2	6,8	15,0	8,2	9,8	21,0	10,2	17,1	15,1
NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	0,27	0,10	0,11	0,32	0,18	0,14	0,14	0,20	0,08	0,09	0,11	0,11	0,15	0,12
NH ₃ -N (mg/l)	17,2	18,3	27,3	15,6	16,8	10,5	8,0	8,2	13,7	8,1	8,8	12,8	12,2	13,6
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	28,00	27,20	25,20	17,20	34,6	26,6	22,8	13	14,2	13,4	14,2	14,9	15	14,3
Alcalin.(mg/l CaCO ₃)	269,5	299,5	294,5	359,3	299,5	249,5	304,4	289,5	309,4	329,4	289,5	284,5	259,5	309,4
S.sedimentables (ml/l)	7	6	10	21	0,1	0	0	6	0,4	0	5	0,2	0,3	0,3
S.Totales (mg/l)	1166	636	706	3538	786	644	642	814	632	310	746	726	708	706
S.Suspendidos (mg/l)	342	106	104	2010	224	132	138	328	120	106	220	122	142	128
S.S.V (mg/l)	340	104	108	742	206	134	132	266	134	104	154	132	138	138
S.D (mg/l)	824	530	602	1528	562	512	504	486	512	504	526	604	566	578
DQO sol (mg/l)	134,9	300,1	40,4	94,4	367,6	57,3	47,2	296,8	47,2	57,3	47,2	67,4	114,6	107,9
DQO tot (mg/l)	549,7	347,4	286,6	2495,4	455,3	205,7	236,0	330,5	188,8	158,5	178,7	222,6	239,4	161,8
DBO sol (mg/l)	81,6	39,3	27	33,4	45,4							21,5	18,3	15,2
DBO tot (mg/l)	281,1	96,6	76,6	485,1	161,1	84,8	88,6	185,1	85,4	51,5	56,9	71,6	52,4	50,7
Clorofila (µg/l)						1634,6	1111,3		1340,6	646,8				2275,6
Feofitinas (µg/l)						6826,1	5386,4		5453,3	2893,2				9422,6

Nota:

Estación E.S = Entrada al sistema

Estación C.A = Centro laguna anaerobia

Estación S.A = Salida laguna anaerobia

Estación C.F1 = Centro laguna facultativa 1

Estación C.F2 = Centro laguna facultativa 2

Estación S.F1 = Salida laguna facultativa 1

Estación S.F2 = Salida laguna facultativa 2

Estación S.S = Salida sistema total

Anexo 5. Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Tercer muestreo

FECHA DEL MUESTREO:		AGOSTO 25 Y 26 DE 2007				
PRIMERA MUESTRA						
HORA: 7:30 a.m		TEMPERATURA AMBIENTE:		29,3 °C		
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: 5 cm		ESTADO DEL TIEMPO:		OPACO		
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: 6 cm		VELOCIDAD DEL VIENTO:		1,0 m/s		
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	25,8	2,1	804	128	8,04
Centro anaerobia	Superficie	28,2	0,1	807	-250	7,41
	Medio	26,9	0,5	802	-258	7,50
	Fondo	27,2	0,1	868	-250	7,35
Salida anaerobia	...	27,5	0,2	817	-256	7,50
Centro facultativa 1	Superficie	27,0	13,2	739	6	7,85
	Medio	29,2	6,1	711	80	8,19
	Fondo	29,5	4,0	714	90	7,94
Centro facultativa 2	Superficie	29,7	24,6	753	82	7,81
	Medio	28,6	12,1	763	75	7,62
	Fondo	29,3	4,9	772	72	7,52
Salida facultativa 1	...	27,0	4,8	732	141	7,62
Salida facultativa 2	...	25,9	0,9	774	131	7,42
Salida del sistema	...	25,8	0,5	753	107	7,31
OBSERVACIONES: El viento está en dirección a la población central. El color de las lagunas es gris. A medida que transcurre la mañana, la facultativa 2 se torna con coloraciones rosas abundantes, en la anaerobia también se observan en menor cantidad. Se siente mal olor (muy fuerte) en la laguna anaerobia.						

Anexo 5. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Tercer muestreo

SEGUNDA MUESTRA						
HORA: 11:30 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 28 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: 9 cm			ESTADO DEL TIEMPO: Opaco, lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: 11 cm			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,5 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	29,5	2,10	719	105	7,89
Centro anaerobia	Superficie	30,8	2,20	761	53	7,28
	Medio	30,0	0,7	799	-279	7,20
	Fondo	31,0	0,2	1005	-257	7,17
Salida anaerobia	...	31,2	2,5	790	-7	7,37
Centro facultativa 1	Superficie	29,8	16,2	731	107	8,14
	Medio	30,0	7,3	730	102	8,00
	Fondo	31,5	2,7	754	148	7,90
Centro facultativa 2	Superficie	31,1	11,9	724	124	8,08
	Medio	30,1	3,1	769	102	7,16
	Fondo	30,3	1,5	791	79	6,93
Salida facultativa 1	...	30,1	24,0	564	28	8,48
Salida facultativa 2	...	31,6	17,2	669	-21	8,20
Salida del sistema	...	29,9	4,4	710	-5	7,90
OBSERVACIONES: Al inicio de la toma de muestras hubo sol, luego se nubló y llovió suave. Las facultativas presentan coloraciones rosas pero acumuladas en las esquinas. La anaerobia presenta coloraciones verdes y rojas dispersas.						
TERCERA MUESTRA						
HORA: 3:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 28 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: 10 cm			ESTADO DEL TIEMPO: Lluvioso			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: 11 cm			VELOCIDAD DEL VIENTO: 2,1 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	27,9	1,80	783	-118	7,36
Centro anaerobia	Superficie	29,1	2,40	759	-117	7,36
	Medio	28,7	0,50	786	-249	7,19
	Fondo	28,3	0,80	823	-256	7,26
Salida anaerobia	...	26,9	7,20	798	23	7,50
Centro facultativa 1	Superficie	27,9	6,50	703	46	8,02
	Medio	26,4	0,20	741	26	7,57
	Fondo	25,8	0,20	756	-128	7,42
Centro facultativa 2	Superficie	27,1	4,50	768	-19	7,52
	Medio	26,0	0,60	774	-72	7,50
	Fondo	25,7	0,20	785	-206	7,43
Salida facultativa 1	...	29,7	15,70	577	-65	8,72
Salida facultativa 2	...	29,9	15,20	614	-8	8,79
Salida del sistema	...	28,8	8,50	670	27	8,34
OBSERVACIONES: La laguna anaerobia presenta color café oscuro, las facultativas presentan color gris en su mayor extensión, aunque en algunas zonas tiene coloraciones rosas y verdes.						

Anexo 5. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Tercer muestreo

CUARTA MUESTRA						
HORA: 7:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 24,1 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: ...			ESTADO DEL TIEMPO: Lluvioso			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: ...			VELOCIDAD DEL VIENTO: 1,5 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	25,1	4,10	742	-3	7,14
Centro anaerobia	Superficie	26,2	0,20	748	-258	7,09
	Medio	26,0	1,00	789	-252	7,06
	Fondo	26,0	0,60	818	-249	7,17
Salida anaerobia	...	26,0	0,60	764	-267	7,08
Centro facultativa 1	Superficie	25,4	2,30	706	-86	7,34
	Medio	24,8	2,00	740	-89	7,31
	Fondo	24,9	1,30	742	-31	7,30
Centro facultativa 2	Superficie	25,5	8,50	727	-54	7,42
	Medio	24,8	1,30	715	-235	7,28
	Fondo	24,9	3,20	774	-225	7,26
Salida facultativa 1	...	25,5	3,40	714	30	7,54
Salida facultativa 2	...	26,4	3,90	757	21	7,45
Salida del sistema	...	26,3	3,00	732	56	7,43
OBSERVACIONES: En el afluente de las lagunas facultativas, se observa mucha espuma y siente olor muy fuerte. Hubo dificultad para tomar el volumen, por existir un alto caudal. El terreno alrededor de las lagunas está inundado por tanta lluvia.						
QUINTA MUESTRA						
HORA: 11:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 23,8 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: ...			ESTADO DEL TIEMPO: Lluvioso			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: ...			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,9 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	25,1	2,90	514	-48	7,20
Centro anaerobia	Superficie	25,7	0,00	776	-245	7,03
	Medio	25,7	0,00	727	-256	7,10
	Fondo	25,9	0,20	778	-266	7,05
Salida anaerobia	...	24,9	0,30	680	-234	7,04
Centro facultativa 1	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Centro facultativa 2	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Salida facultativa 1	...	24,8	0,30	731	-7	7,28
Salida facultativa 2	...	24,3	1,00	764	-12	7,23
Salida del sistema	...	23,9	0,60	745	-92	7,24
OBSERVACIONES: El afluente de las lagunas facultativas presenta muchas espumas, con olor fuerte. La lluvia hay disminuído su intensidad.						

Anexo 5. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Tercer muestreo

SEXTA MUESTRA						
HORA: 3:30 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 23,6 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: Sin lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0.6 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	25,1	2,70	562	71	7,21
Centro anaerobia	Superficie	25,7	0,30	746	-240	7,10
	Medio	25,9	0,30	743	-237	7,07
	Fondo	25,7	0,60	756	-260	7,04
Salida anaerobia	...	25,0	0,40	778	-220	7,13
Centro facultativa 1	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Centro facultativa 2	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Salida facultativa 1	...	24,4	0,70	735	-68	7,23
Salida facultativa 2	...	24,3	0,80	760	-83	7,21
Salida del sistema	...	24,3	0,30	749	-81,0	7,26
OBSERVACIONES: Se presenta abundantes espumas a la salida de la laguna anaerobia. Se presenta olor fuerte en el sistema.						
SÉPTIMA MUESTRA						
HORA: 6:00 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 22,1 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: Sin lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,1 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	25,4	2,60	662	55	7,24
Centro anaerobia	Superficie	25,2	0,60	742	-216	7,10
	Medio	25,3	0,80	746	-235	7,07
	Fondo	25,0	0,00	1153	-228	7,03
Salida anaerobia	...	25,0	1,00	752	-25	7,15
Centro facultativa 1	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Centro facultativa 2	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Salida facultativa 1	...	24,6	1,10	738	45	7,21
Salida facultativa 2	...	24,4	1,30	770	-7	7,24
Salida del sistema	...	24,5	2,00	753	10	7,27
OBSERVACIONES: Las lagunas presentan color café oscuro, más intenso en las facultativas. Existen espumas dispersas en las tres lagunas lagunas, aunque se observa mayor cantidad en la anaerobia. También existen lodos flotando en ellas.						

Anexo 6. Resultados obtenidos de las variables físicas, químicas y biológicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Tercer muestreo

REPORTE MUESTREO COMPUESTO														
Fecha: Agosto 25 y 26 de 2007										Duración del muestreo: 24 horas				
PARÁMETRO	ESTACIÓN DE MUESTREO													
	E.S	C.A			S.A	C. F1			C. F2			S. F1	S. F2	S.S
		Superficie	Medio	Fondo		Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo			
SO₄²⁻ (mg/l)	40,0	27,9	16,6	3,5	35,9	16,3	22,5	3,6	29,5	27,6	23,0	15,3	18,4	18,1
NO₃⁻-N (mg/l)	2,8	10,4	12,4	38,0	29,6	18,3	11,2	11,0	8,0	8,4	10	8,7	7,3	9,1
NO₂⁻-N (mg/l)	0,23	0,14	0,16	0,4	0,12	0,18	0,2	0,32	0,13	0,13	0,22	0,18	0,14	0,15
NH₃-N (mg/l)	21,3	20,9	22,6	21,0	11,6	13,2	9,6	18,0	12,0	11,4	20,8	6,2	7,3	6,6
PO₄³⁻ (mg/l)	30,0	27,8	30,40	57,60	31,6	24,4	22,2	29,0	24,0	21,1	28,0	21,3	19,2	21,1
Alcalin.(mg/l CaCO₃)	249,5	334,4	349,4	409,3	329,4	314,4	309,4	289,5	314,4	299,5	329,4	329,4	314,4	324,4
S.sedimentables (ml/l)	6	7	11	25	0,4	0	0	8	0,4	0	9	0,2	0,2	1,1
S.Totales (mg/l)	578	558	478	6308	512	540	580	952	534	534	1128	552	488	516
S.Suspendidos (mg/l)	180	146	100	3660	90	136	148	348	118	106	678	164	128	114
S.S.V (mg/l)	62	104	84	1438	78	110	112	218	98	72	306	126	106	96
S. D (mg/l)	398	412	378	2648	422	404	432	604	416	428	450	388	360	402
DQO sol (mg/l)	70,7	N/A	81	47	40,4	23	57,2	23,5	<9,0	70,7	20,2	<9,0	<9,0	<9,0
DQO tot (mg/l)	313	128	148	3440	134	195	209	533	206	145	401	222	179	388
DBO₅ sol (mg/l)	18,4	...	...	...	20,1	9,7	6,0	8,8	<5,4	5,6	9,5	16,7	14,4	<5,4
DBO₅ tot (mg/l)	122	37,1	38,5	584,8	40,2	23,6	31,3	99,6	24,6	23,2	16,6	55,5	41,2	36,1
Clorofila (µg/l)						1299,5	1134,8		288,1	182,3				934,9
Feofitinas (µg/l)						4836,2	4205,4		1914,4	1530,8				4019,6

Nota:

- Estación E.S = Entrada al sistema
- Estación C.A = Centro laguna anaerobia
- Estación S.A = Salida laguna anaerobia
- Estación C.F1 = Centro laguna facultativa 1
- Estación C.F2 = Centro laguna facultativa 2
- Estación S.F1 = Salida laguna facultativa 1
- Estación S.F2 = Salida laguna facultativa 2
- Estación S.S = Salida sistema total

Anexo 7. Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Cuarto muestreo

FECHA DEL MUESTREO:		SEPTIEMBRE 29 Y 30 DE 2007				
PRIMERA MUESTRA						
HORA:		7:30 a.m		TEMPERATURA AMBIENTE:		28,1 °c
TRANSP. SECCHI FACULTATIVA 1:		6 cm		ESTADO DEL TIEMPO:		Despejado
TRANSP. SECCHI FACULTATIVA 2:		7 cm		VELOCIDAD DEL VIENTO:		0,8 m/s
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	24,5	0,12	1144	-37	7,46
Centro anaerobia	Superficie	26,5	1,50	873	-98	7,43
	Medio	26,7	0,87	875	-66	7,52
	Fondo	27,2	0,08	1042	-279	7,16
Salida anaerobia	...	25,9	0,19	878	-296	7,28
Centro facultativa 1	Superficie	26,5	6,46	818	34	8,13
	Medio	28,2	6,26	815	33	8,23
	Fondo	28,3	6,04	821	30	8,09
Centro facultativa 2	Superficie	29,2	6,58	841	28	8,28
	Medio	28,8	6,77	848	38	8,09
	Fondo	27,8	3,56	847	-8	7,66
Salida facultativa 1	...	25,9	1,69	804	-93	7,69
Salida facultativa 2	...	25,8	2,73	810	-32	7,69
Salida del sistema	...	25,8	3,21	800	2	7,74
OBSERVACIONES: Existen burbujeos en la laguna anaerobia y presenta color gris oscuro. Las facultativas tienen color verde, con natas rosadas fuertes en sus esquinas, también presentan sólidos allí. Los vientos presentan dirección W-E. No existe olor extravagante en las lagunas.						

Anexo 7. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Cuarto muestreo

SEGUNDA MUESTRA						
HORA: 11:30 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 32,1 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: 10,5 cm			ESTADO DEL TIEMPO: Soleado			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: 14 cm			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,9 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	27,4	0,85	810	-7	7,63
Centro anaerobia	Superficie	31,5	0,15	962	-239	7,35
	Medio	30,7	0,10	953	-268	7,23
	Fondo	31,1	0,10	1050	-278	7,11
Salida anaerobia	...	32,6	4,23	970	-11	7,55
Centro facultativa 1	Superficie	32,2	13,10	814	-14	8,73
	Medio	30,7	4,18	865	28	7,86
	Fondo	30,9	3,20	898	35	7,50
Centro facultativa 2	Superficie	30,4	5,43	875	34	7,83
	Medio	30,2	3,68	883	36	7,54
	Fondo	29,8	2,23	886	3	7,69
Salida facultativa 1	...	31,7	1,42	961	-124	7,45
Salida facultativa 2	...	31,2	13,01	802	-39	8,78
Salida del sistema	...	31,8	18,90	800	-7	8,81
OBSERVACIONES: La laguna anaerobia presenta color gris con desprendimiento de lodo en algunas zonas. La laguna facultativa 1 presenta coloraciones verdes intensas con resuspensiones amarillosas y nata rosada. La laguna facultativa 2 tienen más intensidad en su color verde y presenta natas rosadas. Viento W-E						
TERCERA MUESTRA						
HORA: 3:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 34,5 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: 11cm			ESTADO DEL TIEMPO: Soleado			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: 14 cm			VELOCIDAD DEL VIENTO: 1,1 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	29,3	1,70	714	70	7,49
Centro anaerobia	Superficie	30,9	0,60	949	-256	7,34
	Medio	30,7	0,61	952	-185	7,44
	Fondo	30,8	0,30	1068	-200	7,30
Salida anaerobia	...	32,5	2,22	959	72	7,30
Centro facultativa 1	Superficie	34,3	11,50	706	-65	9,39
	Medio	30,9	3,11	874	-9	7,86
	Fondo	31,0	1,83	890	-8	7,56
Centro facultativa 2	Superficie	34,0	19,55	762	-52	9,11
	Medio	29,3	11,90	865	-28	7,62
	Fondo	28,7	0,08	870	-286	7,57
Salida facultativa 1	...	32,2	13,50	836	25	8,58
Salida facultativa 2	...	32,9	14,50	784	-13	8,89
Salida del sistema	...	32,3	12,50	811	35	8,72
OBSERVACIONES: La laguna anaerobia tiene color gris oscuro, las facultativas se observan de color verde más oscuro. Los sólidos en las lagunas facultativas sólo aparecen en las esquinas, sin las coloraciones rosas. Viento de (N-S). Desde las horas de la mañana se comenzaron labores de lavado del sistema de alcantarillado.						

Anexo 7. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Cuarto muestreo

CUARTA MUESTRA						
HORA: 7:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 26 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: ...			ESTADO DEL TIEMPO: Sin lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: ...			VELOCIDAD DEL VIENTO: ...			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	26,9	0,16	857	5	7,69
Centro anaerobia	Superficie	27,6	0,03	895	-263	7,31
	Medio	27,2	0,03	892	-269	7,24
	Fondo	26,7	0,03	930	-224	7,30
Salida anaerobia	...	28,2	0,05	893	-256	7,26
Centro facultativa 1	Superficie	28,1	1,10	795	-60	8,40
	Medio	28,1	0,50	805	-78	7,50
	Fondo	28,0	0,20	830	-125	7,10
Centro facultativa 2	Superficie	28,3	0,80	798	-74	8,00
	Medio	28,2	0,40	820	-210	7,20
	Fondo	28,0	0,30	880	-290	7,10
Salida facultativa 1	...	28,8	4,48	800	-98	8,28
Salida facultativa 2	...	28,5	0,62	855	-40	7,65
Salida del sistema	...	28,9	2,44	842	-37	7,86
OBSERVACIONES: Se ha aumentado el olor en la laguna anaerobia.						
QUINTA MUESTRA						
HORA: 11:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 23,4 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: Sin lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO:			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	26,1	0,03	967	-98	7,70
Centro anaerobia	Superficie	25,9	0,26	866	-93	7,43
	Medio	26,6	0,05	915	-239	7,15
	Fondo	25,7	0,15	1090	-215	7,22
Salida anaerobia	...	27,3	0,05	890	-246	7,23
Centro facultativa 1	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Centro facultativa 2	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Salida facultativa 1	...	27,0	1,12	788	-90	8,00
Salida facultativa 2	...	26,9	0,78	807	-51	7,82
Salida del sistema	...	26,6	1,38	795	-33	7,94
OBSERVACIONES: El afluente de las lagunas facultativas presenta muchas espumas, con olor muy fuerte.						

Anexo 7. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Cuarto muestreo

SEXTA MUESTRA						
HORA: 3:30 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 23,6 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: Sin lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO: ...			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	25,4	0,02	833	-4	7,81
Centro anaerobia	Superficie	25,6	0,10	867	-237	7,33
	Medio	25,4	0,10	869	-235	7,33
	Fondo	25,8	0,07	894	-259	7,22
Salida anaerobia	...	26,3	0,03	874	-262	7,26
Centro facultativa 1	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Centro facultativa 2	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Salida facultativa 1	...	25,7	1,09	788	-126	7,72
Salida facultativa 2	...	25,4	0,02	798	-120	7,72
Salida del sistema	...	25,6	0,03	796	-95	7,70
OBSERVACIONES: Se presenta abundantes espumas a la salida de la laguna anaerobia. Se presenta olor fuerte en el sistema.						
SÉPTIMA MUESTRA						
HORA: 6:00 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 25,2 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: Despejado			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO: ...			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH un. pH
Entrada sistema	....	25,2	0,03	744	-45	7,72
Centro anaerobia	Superficie	25,4	0,21	870	-91	7,40
	Medio	25,7	0,06	872	-185	7,37
	Fondo	25,7	0,04	933	-228	7,30
Salida anaerobia	...	21,9	0,26	873	-214	7,32
Centro facultativa 1	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Centro facultativa 2	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Salida facultativa 1	...	25,2	0,60	781	-122	7,74
Salida facultativa 2	...	25,1	0,06	796	-93	7,70
Salida del sistema	...	25,0	0,08	788	-79	7,74
OBSERVACIONES: El sistema presenta olores fuertes.						

Anexo 8. Resultados obtenidos de las variables físicas, químicas y biológicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Cuarto muestreo

REPORTE MUESTREO COMPUESTO														
Fecha: Septiembre 29 y 30 de 2007							Duración del muestreo: 24 horas							
PARÁMETRO	ESTACIÓN DE MUESTREO													
	E.S	C.A			S.A	C. F1			C. F2			S. F1	S. F2	S.S
		Superficie	Medio	Fondo		Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo			
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	59,9	30,7	28,9	8,6	34,5	11,8	28,8	22,4	20,2	28,1	27,3	32,1	26,6	25,6
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	3,1	2,8	6,0	38,0	9,0	12,0	12,6	14,0	10,0	12,3	14,0	8,8	10,1	12,7
NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	0,2	0,14	0,15	0,28	0,15	0,17	0,16	0,40	0,2	0,17	0,32	0,17	0,17	0,18
NH ₃ -N(mg/l)	21,6	21,3	21,2	22,0	10,9	14,0	8,1	20,0	16,0	15,0	25,0	16,0	17,0	14,2
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	29,0	26,6	29,4	56,0	30,4	23,0	21,4	26,8	30,4	28,4	31,6	20,8	26,4	29,6
Alcalin.(mg/l CaCO ₃)	304,4	399,3	354,4	673,8	359,3	314,4	339,4	344,4	314,4	359,3	349,4	314,4	309,4	344,4
S.sedimentables (ml/l)	7	5	6	19	0,3	0	0	8	0,4	0	7	0,2	0,3	0,3
S.Totales (mg/l)	830	490	594	8670	484	522	484	1072	534	512	1198	800	828	820
S.Suspendidos (mg/l)	344	92	186	6936	88	122	102	598	146	110	460	126	142	132
S.S.V (mg/l)	270	82	132	2311	82	120	86	424	122	90	244	92	122	102
S. D (mg/l)	486	398	408	1734	396	400	382	474	388	402	738	674	686	688
DQO sol (mg/l)	23,5	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	86,9	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0	<9,0
DQO tot (mg/l)	674	327	256	806	226	219	169	422	236	222	455	182	303	225
DBO ₅ sol (mg/l)	91.0	...	...	...	33.9	...	...	...	...	...	...	13.6	24.4	17.6
DBO ₅ tot (mg/l)	303.3	94.8	67.0	137.1	67.8	65.7	42.3	147.7	70.8	55.5	104.7	45.5	69.7	58.5
Clorofila (µg/l)						976,08	435,1		1846,3	429,2				1423,0
Feofitinas (µg/l)						4017	2373,4		7211,4	3077,2				5659,8
N. total (mg/l NH ₃ -N)	56,4													37,6
Fósforo total (mg/l P)	1,62													1,82

Nota:

Estación E.S = Entrada al sistema

Estación C.A = Centro laguna anaerobia

Estación S.A = Salida laguna anaerobia

Estación C.F1 = Centro laguna facultativa 1

Estación C.F2 = Centro laguna facultativa 2

Estación S.F1 = Salida laguna facultativa 1

Estación S.F2 = Salida laguna facultativa 2

Estación S.S = Salida sistema total

Anexo 9. Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Quinto muestreo

FECHA DEL MUESTREO:		DICIEMBRE 4 Y 5 DE 2007				
PRIMERA MUESTRA						
HORA:		7:30 a.m		TEMPERATURA AMBIENTE:		28,3 °C
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: ---			ESTADO DEL TIEMPO: Despejado			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: ---			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,9 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH Un. pH
Entrada sistema	....	22,1	0,18	1093	-56,4	7,48
Centro anaerobia	Superficie	23,6	0,24	983	-174,9	7,04
	Medio	25,1	0,36	982	-205	6,98
	Fondo	25,0	0,12	1033	-308,6	7,35
Salida anaerobia	...	23,9	0,21	1014	-191,1	6,94
Centro facultativa 1	Superficie	25,0	1,00	825	104,2	6,78
	Medio	25,0	0,63	824	10,3	6,84
	Fondo	27,0	0,73	832	-39,4	7,04
Centro facultativa 2	Superficie	27,8	1,03	879	118,7	7,06
	Medio	27,7	0,40	876	101,3	7,19
	Fondo	27,7	0,50	878	-37,5	7,30
Salida facultativa 1	...	22,8	0,18	805	17,1	6,90
Salida facultativa 2	...	23,1	0,29	840	6,5	7,25
Salida del sistema	...	23,3	0,55	831	9,2	7,27
OBSERVACIONES: Las lagunas facultativas poseen natas verdes en sus esquinas, las anaerobias presentan color gris oscuro. No existe olor extravagante.						

Anexo 9. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Quinto muestreo

SEGUNDA MUESTRA						
HORA: 11:30 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 31 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: --			ESTADO DEL TIEMPO: Nublado			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: --			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0,5 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH Un. pH
Entrada sistema	....	26,7	0,40	790	-88,8	7,35
Centro anaerobia	Superficie	28,2	0,38	1006	-238,5	7,10
	Medio	27,8	0,22	997	-253,8	7,13
	Fondo	28,2	0,14	1103	-243,8	6,14
Salida anaerobia	...	28,8	0,04	1012	-213,7	7,31
Centro facultativa 1	Superficie	27,7	0,06	884	-243,7	7,42
	Medio	28,1	0,24	845	-48,3	7,40
	Fondo	28,1	0,41	847	-36,9	7,42
Centro facultativa 2	Superficie	28,5	0,24	913	-34,3	7,46
	Medio	27,7	0,47	856	-37,0	7,50
	Fondo	28,2	0,41	886	-99,7	7,45
Salida facultativa 1	...	29,2	6,40	818	25,9	8,13
Salida facultativa 2	...	28,9	6,13	876	7,2	7,88
Salida del sistema	...	29,1	4,40	861	14,3	7,90
OBSERVACIONES: Existe mayor cantidad de natas verdes en la entrada de la facultativa 1. A pesar de observarse en ellas un espejo de agua de color verde, al tomarse la muestra eran amarillosas.						
TERCERA MUESTRA						
HORA: 3:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 28,5 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: --			ESTADO DEL TIEMPO: Lluvia suave			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2:--			VELOCIDAD DEL VIENTO: 0 m/s			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH Un. pH
Entrada sistema	....	26,4	1,56	791	52,1	7,42
Centro anaerobia	Superficie	27,6	0,24	995	-187,0	7,20
	Medio	28,0	0,76	989	-135,8	7,19
	Fondo	27,7	0,09	1231	-247,4	6,99
Salida anaerobia	...	29,1	0,39	1010	-264,2	7,28
Centro facultativa 1	Superficie	27,2	0,52	837	-56,6	7,38
	Medio	27,1	0,08	830	-26,3	7,46
	Fondo	26,9	0,09	829	-54,8	7,42
Centro facultativa 2	Superficie	27,5	0,81	885	-8,7	7,48
	Medio	27,3	0,14	872	-27,3	7,46
	Fondo	27,5	0,10	880	-148,3	7,42
Salida facultativa 1	...	28,3	0,60	819	-29,2	7,76
Salida facultativa 2	...	28,0	1,31	902	60,6	7,48
Salida del sistema	...	28,3	1,22	862	54,2	7,72
OBSERVACIONES: Existió lluvia suave durante la toma de muestras. Se observaron sólidos gruesos en las esquinas de las facultativas. Existe olor fuerte.						

Anexo 9. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Quinto muestreo

CUARTA MUESTRA						
HORA: 7:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 25,7 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: ...			ESTADO DEL TIEMPO: Lluvia suave			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: ...			VELOCIDAD DEL VIENTO: ...			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH Un. pH
Entrada sistema	....	25,9	0,49	767	-34,2	7,86
Centro anaerobia	Superficie	26,8	0,72	963	-235,5	7,28
	Medio	26,5	0,05	1014	-224,8	7,10
	Fondo	25,3	0,14	1988	-270,0	6,80
Salida anaerobia	...	26,6	0,08	968	-270,2	7,09
Centro facultativa 1	Superficie	27,4	0,16	804	-114,7	7,91
	Medio	26,5	0,07	823	-79,6	7,48
	Fondo	26,0	0,06	816	-104,1	7,39
Centro facultativa 2	Superficie	26,2	2,81	815	20,0	8,15
	Medio	25,5	0,56	847	-171,7	7,38
	Fondo	25,7	0,18	853	-73,8	7,44
Salida facultativa 1	...	26,6	5,05	706	18,3	8,80
Salida facultativa 2	...	26,4	4,03	810	55,7	8,25
Salida del sistema	...	26,4	2,74	791	-27,0	8,29
OBSERVACIONES: Se ha aumentado el olor en la laguna anaerobia.						
QUINTA MUESTRA						
HORA: 11:30 p.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 23,9 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO: Sin lluvia			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO:			
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH Un. pH
Entrada sistema	....	24,4	0,31	984	-201,9	7,81
Centro anaerobia	Superficie	25,4	0,10	945	-271,6	7,09
	Medio	25,0	0,28	939	-262,1	7,13
	Fondo	24,9	0,14	1221	-244,1	7,01
Salida anaerobia	...	24,6	0,09	931	-207,1	7,18
Centro facultativa 1	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Centro facultativa 2	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Salida facultativa 1	...	24,1	0,14	781	-222,5	7,54
Salida facultativa 2	...	24,5	0,22	823	-24,8	7,46
Salida del sistema	...	24,3	0,22	801	-30,6	7,54
OBSERVACIONES: Se siente olor muy fuerte.						

Anexo 9. Continuación Resultados obtenidos de las variables físicas y químicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Quinto muestreo

SEXTA MUESTRA						
HORA: 3:30 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 23,6 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO:		Sin lluvia	
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO:		...	
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH
Entrada sistema	....	24,9	1,41	615	68,8	7,48
Centro anaerobia	Superficie	25,1	0,15	936	-214,7	7,07
	Medio	25,2	0,11	934	-264,5	7,08
	Fondo	25,1	0,11	2200	-218,5	7,10
Salida anaerobia	...	25,3	0,15	930	-284,3	7,14
Centro facultativa 1	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Centro facultativa 2	Superficie	....	....	....	....	....
	Medio	....	....	....	....	....
	Fondo	....	....	....	....	....
Salida facultativa 1	...	24,4	0,16	778	-77,6	7,48
Salida facultativa 2	...	24,5	0,22	819	-126,3	7,44
Salida del sistema	...	24,3	0,44	804	-76,1	7,52
OBSERVACIONES: Se presenta olor fuerte en el sistema.						
SÉPTIMA MUESTRA						
HORA: 6:00 a.m			TEMPERATURA AMBIENTE: 22,1 °C			
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 1: -			ESTADO DEL TIEMPO:		Despejado	
TRANSPARENCIA SECCHI FACULTATIVA 2: -			VELOCIDAD DEL VIENTO:		...	
MUESTRAS PUNTUALES						
Estación de muestreo	Altura columna de agua	PARÁMETRO				
		T. agua °C	O.D (mg/l)	Conduct. (µs/cm)	P. Redox (mv)	pH
Entrada sistema	....	24,8	0,10	852	-31,5	7,94
Centro anaerobia	Superficie	25,0	0,16	937	-287,2	7,08
	Medio	24,9	0,11	936	-207,0	7,10
	Fondo	25,1	0,12	1223	-201,7	6,96
Salida anaerobia	...	25,0	0,17	933	-277,0	7,17
Centro facultativa 1	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Centro facultativa 2	Superficie	...	...	...	...	...
	Medio	...	...	...	...	...
	Fondo	...	...	...	...	...
Salida facultativa 1	...	24,0	0,24	776	-81,2	7,49
Salida facultativa 2	...	24,1	0,13	819	-148,7	7,50
Salida del sistema	...	24,1	0,25	806	-85,0	7,51
OBSERVACIONES: El sistema presenta olores demasiado fuertes.						

Anexo 10. Resultados obtenidos de las variables físicas, químicas y biológicas en las lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia: Quinto muestreo

REPORTE MUESTREO COMPUESTO														
Fecha: Diciembre 4 y 5 de 2007							Duración del muestreo: 24 horas							
PARÁMETRO	ESTACIÓN DE MUESTREO													
	E.S	C.A			S.A	C. F1			C. F2			S. F1	S. F2	S.S
		Superficie	Medio	Fondo		Superficie	Medio	Fondo	Superficie	Medio	Fondo			
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	38,6	14,5	6,65	4,7	<3,0	24,49	30,94	32,8	32,9	31,4	27,4	29,6	40,2	31,8
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	3,1	4,0	6,3	42,0	41,0	21,5	3,6	4,9	10,1	11,0	34,0	10,0	22,1	11,8
NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
NH ₄ ⁺ -N(mg/l)	41,8	43,4	44,4	107,0	42,9	30,1	25,8	29,3	30,5	32,7	28,5	21,6	29,4	26,7
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	21,3	24,7	25,2	55,6	25,3	11,1	10,5	14,4	21,7	20,2	22,5	14,6	22,0	19,3
Alcalin.(mg/l CaCO ₃)	284,0	358,0	359,0	635,0	357,0	279,0	280,0	278,0	317,0	323,0	348,0	280,0	297,0	300,0
S.sedimentables (ml/l)	3,5	<0,1	5,0	390,0	0,5	0,6	<0,1	15,0	0,5	5,0	30,0	2,5	<0,1	2,0
S.Totales (mg/l)	782	582	896	24108	778	588	556	800	566	662	1080	698	556	527
S.Suspendidos (mg/l)	304	64	380	22,3	74	176	114	373	102	212	653	204	92	112
S.S.V (mg/l)	280	24	240	10533	74	130	104	286	102	168	447	204	92	112
S. D (mg/l)	478	518	516	1775	704	412	442	427	464	450	427	494	464	415
DQO sol (mg/l)	107,8	83,5	86,5	149,7	84,2	54,6	42,8	53,6	32,6	35,6	42,8	45,3	41,8	37,0
DQO tot (mg/l)	695,1	260,4	484,9	5390,0	259,4	202,2	209,2	451,0	235,1	271,1	537,1	360,2	224,5	230,5
DBO ₅ sol (mg/l)	111,0	42,5	46,1	72,0	41,0	26,0	21,0	27,4	17,3	18,2	19,7	21,3	18,4	17,0
DBO ₅ tot (mg/l)	313,1	78,8	119,2	771	83,4	48,6	42,3	93,9	48,9	53,2	109,2	88,2	60,6	66,8
Clorofila (µg/l)						722,7	1049,0		827,6	757,6				1946,6
Feofitinas (µg/l)						2345,7	2980,0		2758,7	1844,1				6063,3
N. total K.(mg/l -N)	46,9													34,38
Fósforo total (mg/l P)	9,44													7,64

Nota:

- Estación E.S = Entrada al sistema
- Estación C.A = Centro laguna anaerobia
- Estación S.A = Salida laguna anaerobia
- Estación C.F1 = Centro laguna facultativa 1
- Estación C.F2 = Centro laguna facultativa 2
- Estación S.F1 = Salida laguna facultativa 1
- Estación S.F2 = Salida laguna facultativa 2
- Estación S.S = Salida sistema total

Anexo 11. Resultados de Sulfuros obtenidos en la laguna anaerobia: Primer muestreo

REPORTE DE SULFUROS											
Fecha de muestreo: Octubre 18 y 19 de 2007										TIPO DE LAGUNA: ANAEROBIA	
MUESTRAS PUNTUALES											
Hora	Altura (m)	PARÁMETRO								Q (l/s)	ESTADO DEL TIEMPO OBSERVACIONES
		T. agua °C	O.D (mg/l)	P. Redox (mv)	pH	S⁻² (mg/l)	SO₄⁻² (mg/l)	H₂S (mg/l)	T. aire °C		
8 a.m	0,50	27,6	0,15	-258	6,81	5,54	<3,0	5,88	25,8	43,5	Lluvia fuerte en noche anterior no hay lluvia, laguna color gris no hay olor extravagante
	1,46	27,0	0,09	-268	6,83	5,40	<3,0	5,74	....	
	2,92	27,2	0,09	-251	6,85	....	....	....	....
11 a.m	0,50	27,1	0,24	-263	6,87	4,60	3,1	4,89	26,1	43,5	lluvia suave
	1,46	27,0	0,08	-280	6,87	5,18	5,6	5,50	....	
	2,92	26,7	0,08	-266	6,90	....	....	....	....
2 p.m	0,50	30,1	0,13	-308	6,87	6,60	<3,0	7,01	28,3	31,5	sol fuerte
	1,46	29,0	0,12	-318	6,86	6,90	<3,0	7,33	....	
	2,92	29,0	0,07	-308	6,85	....	....	....	....
5 p.m	0,50	27,9	0,07	-308	6,88	6,88	<3,0	7,31	27,6	30,3	olor fuerte en efluente de la anaerobia, coloraciones verdes al final de laguna, no hay lluvia
	1,46	27,3	0,06	-313	6,90	6,52	<3,0	6,93	....	
	2,92	27,2	0,05	-290	6,94	....	....	....	....
8 p.m	0,50	26,2	0,05	-317	6,89	6,50	<3,0	6,91	25,6	21,9	hay lluvia suave
	1,46	26,7	0,03	-326	6,87	7,10	<3,0	7,54	....	
	2,92	26,6	0,04	-318	6,89	....	....	....	....
11 p.m	0,50	26,1	0,06	-265	6,95	8,70	<3,0	9,24	25,1	20,8	hay brisa suave
	1,46	26,5	0,04	-267	6,92	8,78	<3,0	9,33	....	
	2,92	26,7	0,03	-266	6,90	....	....	....	....
2 a.m	0,50	25,9	0,12	-307	6,87	8,96	10,0	9,52	24,6	14,3	hay lluvia , se percibe olor fuerte en laguna
	1,46	26,3	0,11	-308	6,87	7,86	9,2	8,35	....	
	2,92	25,9	0,10	-310	6,86	....	....	....	....
5 a.m	0,50	25,8	0,12	-317	6,87	8,48	<3,0	9,01	24,1	14,3	lluvia suave
	1,46	25,0	0,07	-320	6,85	8,64	<3,0	9,18	....	
	2,92	26,0	0,07	-317	6,87	....	....	....	....

Anexo 12. Resultados de Sulfuros obtenidos en la laguna anaerobia: Segundo muestreo

REPORTE DE SULFUROS											
Fecha de muestreo: Diciembre 4 y 5 de 2007						TIPO DE LAGUNA: ANAEROBIA					
MUESTRAS PUNTUALES											
Hora	Altura (m)	PARÁMETRO									ESTADO DEL TIEMPO OBSERVACIONES
		T. agua °C	O.D (mg/l)	P. Redox (mv)	pH	S ⁻² (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	H ₂ S (mg/l)	T. aire °C	Q (l/s)	
8 a.m	0,50	27,9	0,1	-207	7,05	4,76	<3,0	5,06	28,3	41,1	Día despejado con vientos moderados, hacia las viviendas No hay olor extravagante
	1,46	27,8	0,08	-244	7,04	7,70	<3,0	8,18	....	
	2,92	25,0	0,12	-309	7,35	....	....	....	....
11 a.m	0,50	27,8	0,12	-274	7,04	8,18	<3,0	8,69	31,0	43,5	Tiempo un poco nublado
	1,46	27,3	0,35	-277	7,02	8,26	<3,0	8,78	....	
	2,92	28,2	0,14	-244	6,14	....	....	....	....
2 p.m	0,50	27,5	0,06	-299	7,01	9,76	<3,0	10,37	28,5	47,1	Lluvia suave
	1,46	27,4	0,08	-305	7,02	8,86	<3,0	9,41	....	
	2,92	27,7	0,09	-247	6,99	....	....	....	....
5 p.m	0,50	26,9	0,12	-272	7,13	6,32	15,6	6,72	28,5	33,9	Lluvia suave
	1,46	26,5	0,11	-275	6,92	16,00	<3,0	17,00	....	
	2,92	25,3	0,14	-270	6,80	....	....	....	....
8 p.m	0,50	26,1	0,23	-275	7,08	7,92	<3,0	8,42	25,7	29,0	Se presentó olor extravagante
	1,46	26,0	0,17	-283	6,98	8,12	<3,0	8,63	....	
	2,92	26,2	0,13	-282	6,98	....	....	....	....
11 p.m	0,50	24,8	0,11	-232	7,02	7,16	<3,0	7,61	23,9	17,8	Se presentó olor extravagante
	1,46	24,5	0,1	-238	6,80	8,36	29,2	8,88	....	
	2,92	24,9	0,14	-244	7,01	....	....	....	....
2 a.m	0,50	24,1	0,09	-194	7,11	6,78	<3,0	7,20	22,0	9,1	Olor fuerte en laguna anaerobia
	1,46	24,1	0,18	-207	7,04	7,96	<3,0	8,46	....	
	2,92	25,1	0,11	-219	7,10	....	....	....	....
5 a.m	0,50	24,0	0,08	-199	7,05	5,98	<3,0	6,35	22,1	12,4	Lluvia suave, con vientos moderados.
	1,46	24,3	0,17	-197	7,09	4,16	<3,0	4,42	....	
	2,92	25,1	0,12	-202	6,96	....	....	....	....

Anexo 13. Reporte de caudales obtenidos en cinco muestreos: Afluente y efluente del sistema

Noviembre 29-30/2006		
CAUDAL, Q, (l/s)		
Hora	E.S	S.S
6:00 a.m	30,1	19,6
7:00 a.m	36,3	19,6
8:00 a.m	36,3	26,4
9:00 a.m	33,9	30,1
10:00 a.m	33,9	30,1
11:00 a.m	32,5	26,4
12:00 m	19,7	26,4
1:00 p.m	16,4	26,4
2:00 p.m	16,4	26,4
3:00 p.m	30,3	26,4
4:00 p.m	37,0	30,1
5:00 p.m	35,1	26,4
6:00 p.m	30,3	26,4
7:00 p.m	25	30,1
8:00 p.m	24,1	30,1
9:00 p.m	19,1	31,0
10:00 p.m	19,5	32,5
11:00 p.m	18,7	34
12:00 p.m	18,5	34,2
1:00 a.m	17,5	33,4
2:00 a.m	15,2	28,6
3:00 a.m	13,2	27,3
4:00 a.m	10,2	26,4
5:00 a.m	14,1	22,1
6:00 a.m	19,8	19,6

Abril 14-15/2007		
CAUDAL, Q, (l/s)		
Hora	E.S	S.S
6:00 a.m	36,3	34,0
7:00 a.m	41,1	34,0
8:00 a.m	43,5	34,0
9:00 a.m	42,6	34,0
10:00 a.m	42,6	34,0
11:00 a.m	49,5	38,0
12:00 m	49,5	38,0
1:00 p.m	48,3	42,1
2:00 p.m	39,9	42,1
3:00 p.m	39,9	42,1
4:00 p.m	38,7	46,4
5:00 p.m	38,7	46,4
6:00 p.m	35,1	55,4
7:00 p.m	35,1	55,4
8:00 p.m	27,0	50,8
9:00 p.m	22,2	46,4
10:00 p.m	24,6	46,4
11:00 p.m	19,8	50,8
12:00 p.m	17,0	50,8
1:00 a.m	15,8	46,4
2:00 a.m	13,5	42,1
3:00 a.m	11,3	42,1
4:00 a.m	11,3	38,0
5:00 a.m	12,4	34,0
6:00 a.m	21,0	30,1

Fin de semana

Agosto 25-26/2007		
CAUDAL, Q, (l/s)		
Hora	E.S	S.S
6:00 a.m	39,9	101,7
7:00 a.m	43,5	101,7
8:00 a.m	43,5	90,6
9:00 a.m	42,3	90,6
10:00 a.m	56,8	90,6
11:00 a.m	45,7	90,6
12:00 m	36,3	101,7
1:00 p.m	43,5	85,2
2:00 p.m	36,3	85,2
3:00 p.m	43,5	90,6
4:00 p.m	36,3	79,9
5:00 p.m	171,5	90,6
6:00 p.m	178,7	90,6
7:00 p.m	178,7	90,6
8:00 p.m	51,9	107,4
9:00 p.m	45,9	119,1
10:00 p.m	50,7	125,1
11:00 p.m	43,5	113,2
12:00 p.m	41,1	113,2
1:00 a.m	25,5	113,2
2:00 a.m	18,6	90,6
3:00 a.m	17,0	90,6
4:00 a.m	17,0	85,2
5:00 a.m	17,8	69,8
6:00 a.m	19,4	60,0

Día lluvioso

Septiembre 29-30/2007		
CAUDAL, Q, (l/s)		
Hora	E.S	S.S
6:00 a.m	33,9	26,4
7:00 a.m	33,9	26,4
8:00 a.m	91,6	30,1
9:00 a.m	91,6	30,1
10:00 a.m	43,5	34,0
11:00 a.m	50,7	34,0
12:00 m	50,7	38,0
1:00 p.m	41,1	42,1
2:00 p.m	46,3	42,1
3:00 p.m	41,1	42,1
4:00 p.m	41,1	42,1
5:00 p.m	34,3	46,4
6:00 p.m	30,8	50,8
7:00 p.m	27,8	50,8
8:00 p.m	26,6	50,8
9:00 p.m	24,6	50,8
10:00 p.m	20,6	42,1
11:00 p.m	17,4	42,1
12:00 p.m	17,4	38,0
1:00 a.m	17,4	38,0
2:00 a.m	13,7	38,0
3:00 a.m	11,7	34,0
4:00 a.m	8,4	34,0
5:00 a.m	8,4	34,0
6:00 a.m	8,4	34,0

Lavado del alcantarillado

Diciembre 4-5/2007		
CAUDAL, Q, (l/s)		
Hora	E.S	S.S
6:00 a.m	43,5	26,4
7:00 a.m	43,5	26,4
8:00 a.m	41,1	26,4
9:00 a.m	48,3	30,1
10:00 a.m	48,3	30,1
11:00 a.m	43,5	34,0
12:00 m	43,5	34,0
1:00 p.m	43,5	34,0
2:00 p.m	47,1	38,0
3:00 p.m	47,1	38,0
4:00 p.m	33,9	38,0
5:00 p.m	33,9	42,1
6:00 p.m	30,5	42,1
7:00 p.m	29,1	42,1
8:00 p.m	29,0	42,1
9:00 p.m	22,2	46,4
10:00 p.m	22,2	46,4
11:00 p.m	17,8	42,1
12:00 p.m	15,8	38,0
1:00 a.m	8,9	34,0
2:00 a.m	9,1	34,0
3:00 a.m	10,2	34,0
4:00 a.m	10,2	30,1
5:00 a.m	12,4	30,1
6:00 a.m	18,6	26,4

Lavado del alcantarillado y
Lluvia suave

Nota: E.S significa entrada al sistema, S.S significa salida sistema total

Anexo 14. Caudales por estación y por muestreo

Caudal por muestreo l/s						
E.S	S.A	E.F1	E.F2	S.F1	S.F2	S.S
22,9	16,5	7,5	8,9	13,9	11,9	26,2
28,2	27,8	13,8	13,7	20,4	21,1	43,3
38,7	35,3	16,2	18,7	42,6	46,5	89,7
24,5	21,9	8,6	13,1	14,2	22,3	36,7
25,4	21,5	7,9	13,4	11,2	21,8	33,6

Anexo 15. Reporte de caudales obtenidos en cada unidad del sistema

Noviembre 29-30 /2006							
CAUDAL, Q (l/s)							
Hora	E.S	S.A	E.F1	E.F2	S.F1	S.F2	S.S
7:30 a.m	36,6	21,2	11,2	10,0	10,9	8,7	19,6
11:30 a.m	33,5	19,0	9,9	9,1	14,3	12,5	26,8
3:30 p.m	29,9	17,5	9,1	8,3	15,8	14,3	30,1
7:30 p.m	24,1	22,2	9,3	12,9	11,4	18,7	30,1
11:30 p.m	18,7	14,7	6,8	7,9	18,1	15,9	34,0
3:30 a.m	10,2	11,7	4,2	7,5	16,5	9,9	26,4
6:00 a.m	19,8	12,4	5,0	7,4	12,2	7,4	19,6
Abril 14-15 /2007							
CAUDAL, Q (l/s)							
Hora	E.S	S.A	E.F1	E.F2	S.F1	S.F2	S.S
7:30 a.m	41,1	27,8	11,7	16,06	19,0	23,1	42,1
11:30 a.m	49,5	32,1	13,9	18,2	21,2	16,8	49,8
3:30 p.m	39,9	30,7	19,6	11,1	20,1	26,3	46,4
7:30 p.m	35,1	29,2	14,6	14,6	25,1	25,7	50,8
11:30 p.m	19,8	27,1	14,5	12,6	27,3	23,5	50,8
3:30 a.m	11,3	25,2	13,0	12,2	19,8	18,2	38,0
6:00 a.m	22,5	23,6	11,0	12,6	13,5	16,7	30,1
Agosto 25-26 /2007							
CAUDAL, Q (l/s)							
Hora	E.S	S.A	E.F1	E.F2	S.F1	S.F2	S.S
7:30 a.m	43,5	34,40	16,9	17,5	47,5	48,7	96,1
11:30 a.m	41,0	32,60	17,1	15,5	49,7	46,5	96,1
3:30 p.m	39,9	35,00	15,4	19,6	38,5	46,9	85,3
7:30 p.m	115,3	52,60	31,1	21,5	59,1	39,9	99,0
11:30 p.m	42,3	47,20	21,8	25,4	53,0	60,2	113,2
3:30 a.m	17,0	29,90	9,5	20,4	33,1	54,9	87,9
6:00 a.m	22,1	23,40	10,1	13,3	26,9	33,4	60,3
Septiembre 29-30 /2007							
CAUDAL, Q (l/s)							
Hora	E.S	S.A	E.F1	E.F2	S.F1	S.F2	S.S
7:30 a.m	62,8	18,40	6,8	11,56	9,4	18,9	28,3
11:30 a.m	50,7	27,20	13,8	13,5	18,3	17,7	36,0
3:30 p.m	41,1	37,60	16,8	20,8	17,1	25,1	42,1
7:30 p.m	27,2	30,80	12,4	18,4	19,4	31,4	50,8
11:30 p.m	17,4	19,70	7,8	11,9	16,0	24,2	40,1
3:30 a.m	10,1	14,50	4,7	9,8	11,9	22,1	34,0
6:00 a.m	8,4	14,50	5,0	9,5	10,6	19,6	30,1
Diciembre 4-5 /2007							
CAUDAL, Q (l/s)							
Hora	E.S	S.A	E.F1	E.F2	S.F1	S.F2	S.S
7:30 a.m	42,3	17,8	6,9	10,9	9,2	17,2	26,4
11:30 a.m	43,5	28,1	12,7	15,4	14,3	19,7	34,0
3:30 p.m	40,5	24,8	11,3	13,5	16,8	21,2	38,0
7:30 p.m	29,1	22,8	8,1	14,7	14,5	27,7	42,1
11:30 p.m	16,8	23,1	6,3	16,9	9,4	30,6	40,0
3:30 a.m	10,2	20,0	5,4	14,7	6,8	25,4	32,1
6:00 a.m	18,6	16,3	7,1	9,2	11,1	15,3	26,4