

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Biología



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados AyA

“Evaluación fisicoquímica y microbiológica del sistema de lagunas facultivas para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Liberia, Guanacaste.”

Informe de Proyecto para optar por el grado de Bachiller en Ingeniería en Biotecnología

Jorge Arturo Abarca Garbanzo

Cartago, 2000

Evaluación fisicoquímica y microbiológica del sistema lagunar facultativo para el tratamiento de las aguas residuales del cantón de Liberia, Guanacaste

Informe presentado a la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica por Jorge Arturo Abarca Garbanzo como requisito parcial para optar al título de bachiller en Ingeniería en Biotecnología

Miembros del Tribunal

Ms.C Alma Deloya
Profesora Guía

Ing. Dagoberto Araya Ms.C.
Lector

Ing. Lilliana Gaviria
Lector

RESUMEN

A inicios del año 2000 arrancó el nuevo sistema de lagunas facultativas de la ciudad de Liberia, Guanacaste, compuesto por 2 baterías de lagunas en serie funcionando en paralelo y destinado para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de su casco central. Se identificaron las descargas no domésticas de restaurantes, talleres, estaciones de gasolina y del Hospital de la zona, dado que estas descargas afectan la dinámica biológica del sistema. Se encontró que el principal problema era la cantidad de grasas en sus efluentes y el elevado caudal de aguas residuales aportado por el Hospital. Se evaluó cada una de las lagunas del sistema lagunar en términos hidráulicos, fisicoquímicos y bacteriológicos mediante 4 campañas de muestreo de 20 horas. Las lagunas primarias presentaron un tiempo de retención hidráulico de 24.3 días, las secundarias 31.5 días y un total para el sistema de 55.8 días. Las cargas orgánicas y cargas orgánicas superficiales en las lagunas fueron inferiores a lo típico para una laguna facultativa. El efluente final del sistema cumplió con todos los parámetros fisicoquímicos normados en Costa Rica excepto en la cantidad de coliformes fecales. Se identificaron de las microalgas predominantes conforme avanza el tratamiento del agua, dominando las Euglenófitas (*Euglena sp.*) y *Phacus sp.* en las lagunas primarias y la cianobacteria *Oscillatoria sp* en las secundarias y en el efluente final, estas últimas típicas en aguas con nitratos y nitritos.

Palabras claves: Liberia, aguas residuales, laguna, DBO, coliformes fecales y microalgas.

ABSTRACT

On the year 2000 began to operate the new facultative lagoons of Liberia, Guanacaste, for the wastewater treatment. The system had two lagoon batteries in serie working in parallel. There was identified no domestic wastewater discharges of restaurants, gas stations, garages and from the Liberia's hospital. It was very important to identified them because they flowed down chemistries that can affect the lagoon biotechnology dynamics. The principal problem was the greases in the wastewater and the toxics from the hospital. Each one of the four lagoons was hydraulic, chemistry and bacteriological evaluated per 20 hours in four different days. The primary lagoons had a retention time of 24.3 days, 31.5 days in the secondary lagoons and 55.8 days for all the system. The influent organic load and the superficial organic load were very low for a facultative lagoon. The effluent was lower than the physic – chemistries law maxim score but it was higher in the coliforms score. The principal microalgae of each lagoon were identified and there were found Euglenophytas (as *Euglena sp.* and *Phacus sp.*) in the primary lagoons which are characteristics in water with high organic load and the Cyanophyta *Oscillatoria sp.* in the secondary lagoon and in the final effluent, which is typical in water with nitrites and nitrates.

Key words: Liberia, wastewater, lagoons, fecal coliforms and microalgae.

DEDICATORIA

A mi familia y amigos por el apoyo
brindado durante los 4 años de
estudio en el Tecnológico.

Jorge A. Abarca G.

AGRADECIMIENTOS

A los compañeros de la sección de Operación de Sistemas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), especialmente al Ing. Dagoberto Araya Coordinador de la sección de aguas residuales del AyA, por su incondicional ayuda y apoyo a lo largo de todo el proyecto.

A mi tutora la Ms.C. Alma Deloya por su orientación en la investigación.

Al personal de la sección de Aguas Residuales, Microbiología y Biología del Laboratorio Nacional de Aguas por la ayuda brinda en la realización de las análisis físico – químicos y bacteriológicos.

A los diferentes funcionarios del AyA en Liberia por las facilidades brindadas en cuanto equipo y personal para llevar a cabo la evaluación tanto en la ciudad como en el sistema de laguna.

A la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica por prestar sus laboratorios y equipo durante la identificación de las microalgas.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. OBJETIVOS	5
- 3.1 Objetivo general	5
- 3.2 Objetivos específicos	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
- 4.1 Aspectos teóricos relacionados con la temática	6
4.1.1 Características de las aguas residuales.	6
4.1.2 Composición de las aguas residuales antes de su tratamiento.	7
4.1.3 Composición de las aguas residuales después de su tratamiento.	9
4.1.4 Lagunas como tratamiento biológico de las aguas residuales: concepto y clasificación.	9
4.1.5 Descripción del funcionamiento de las lagunas facultativas	12
4.1.6 Aspectos fisicoquímicos y biológicos de interés en las lagunas facultativas.	14
4.1.7 Breve reseña sobre los parámetros fisicoquímicos considerados a lo largo de la evaluación	16
4.1.7.1 Caudal (Q)	16
4.1.7.2 Temperatura del agua	16
4.1.7.3 Temperatura ambiental	17
4.1.7.4 Turbiedad	17
4.1.7.5 Sólidos sedimentables (SSed)	17
4.1.7.6 Potencial de hidrógeno (pH)	18
4.1.7.7 Conductividad	18
4.1.7.8 Oxígeno disuelto (OD)	19
4.1.7.9 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	19
4.1.7.10 Demanda química de oxígeno (DQO)	20
4.1.7.11 Sólidos totales (ST)	20
4.1.7.12 Sólidos suspendidos (SS)	21
4.1.7.13 Eficiencias en DBO	21
4.1.7.14 Coliformes y parásitos	21

4.1.8	Reglamentación en Costa Rica para el vertido de aguas residuales al alcantarillado sanitario y a cuerpos de agua.	22
- 4.2	Datos específicos de la zona en estudio y del sistema de lagunas de Liberia.	26
4.2.1	Localización del área en estudio	26
4.2.2	Acceso a la zona	27
4.2.3	Servicios de alcantarillado y de tratamiento de aguas residuales.	27
4.2.4	Clima de la región.	28
4.2.4.1	Humedad Relativa	28
4.2.4.2	Evaporación en mm ³	29
4.2.4.3	Precipitación en ml	30
4.2.4.4	Temperatura media ambiental media en grados Celsius (°C)	30
4.2.4.5	Brillo solar	31
4.2.5	Datos de diseño del nuevo sistema de lagunas	32
4.2.5.1	Justificación de la ampliación.	32
4.2.5.2	Resultados esperados	35
5.	METODOLOGÍA	37
- 5.1	Análisis físico – químicos y bacteriológicos de las descargas al alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia por parte de entes generados de aguas residuales no domésticas.	39
- 5.2	Análisis Hidráulicos, físico – químicos y bacteriológicos de cada una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas durante varias campañas de muestreo.	41
5.2.1	Caudal del afluente y del efluente, Tiempo de retención hidráulico y cálculos de la carga orgánica.	41
5.2.2	Profundidad real de las lagunas y perfil de lodos anaerobios.	46
5.2.3	Toma de muestras para análisis en el laboratorio	47
5.2.4	Análisis bacteriológicos	49
- 5.3	Identificación de las microalgas predominante en cada de una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas de Liberia.	50
6	RESULTADOS	51
- 6.1	Identificación de las principales descargas no domésticas vertidas sus aguas al sistema de alcantarillado sanitario de Liberia.	51
- 6.2	Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las descargas al alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia por parte de entes generados de aguas residuales no domésticas.	53
6.2.1	Campaña de muestreo	53
- 6.3	Análisis físico – químicos y bacteriológicos de cada una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas durante varias campañas de muestreo.	54
6.3.1	Análisis de los datos de campo generados durante las 4 campañas de muestreo	54

6.3.1.1	Precipitaciones previas a las campañas de muestreo.	55
6.3.1.2	Caudales	55
6.3.1.3	Tiempos de retención hidráulicos (TRH)	63
6.3.1.4	Carga orgánica y Carga orgánica superficial	65
6.3.2.	Datos de campo determinados durante las 4 campañas de muestreo.	68
6.3.2.1	Entrada al sistema de lagunas	69
6.3.2.2	Salida de las lagunas 1 y 2	73
6.3.2.3	Salida de las lagunas secundarias 3 y 4.	78
6.3.2.4	Salida del sistema de lagunas.	81
6.3.2.5	Profundidad real de las lagunas	83
6.3.2.6	Perfil de lodos en el sistema de lagunas	84
6.3.3	Evaluación fisicoquímica del Sistema de lagunas de Liberia.	87
6.3.3.1	Potencial de hidrógeno (pH)	87
6.3.3.2	Conductividad eléctrica	89
6.3.3.3	Oxígeno disuelto	92
6.3.3.4	Sólidos sedimentables	94
6.3.3.5	Sólidos totales y eficiencias en la remoción de sólidos totales	95
6.3.3.6	Sólidos suspendidos totales	99
6.3.3.7	Grasas y aceites.	101
6.3.3.8	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	103
6.3.3.9	Demanda química de oxígeno (DQO)	107
6.3.3.10	Relación DQO/DBO	110
6.3.4	Resultados de los análisis bacteriológicos realizados durante las campañas de muestreo	112
-6.4	Identificación de las microalgas predominante en cada de una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas de Liberia.	115
6.4.1	Parámetros físicos determinados en el lugar de muestreo	116
6.4.2	Microalgas de las lagunas primarias	116
6.4.3	Microalgas de las lagunas secundarias	119
6.4.4	Microalgas del efluente del sistema laguna y en el río Liberia.	121
7	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	122
- 7.1	Identificación de las principales descargas que vierten sus aguas al sistema de alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia.	122
7.1.1	Discusión de los resultados de la localización de los principales entes no domésticos	122
7.1.1.1	Sodas y restaurantes	123
7.1.1.2	Talleres, estaciones de gasolina y lubricentros	124
7.1.1.3	Hoteles	125
7.1.1.4	Mercados	125
7.1.1.5	Hospital Dr. Enrique Baltodano	126
-7.2	Análisis físico – químicos y bacteriológicos de las descargas al alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia por parte de entes generados de aguas residuales no domésticas.	127

7.2.1	Justificación de la selección	127
7.2.2	Discusión de los resultados de laboratorio	129
-7.3.	Análisis físico – químicos y microbiológicos de cada una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas durante varias campañas de muestreo.	131
7.3.1	Análisis de los datos de campos generados durante las 4 campañas de muestreo	131
7.3.1.1	Caudal del afluente al sistema de lagunas	132
7.3.1.2	Caudales del afluente a las lagunas secundarias.	133
7.3.1.3	Caudales del efluente de las lagunas secundarias.	134
7.3.1.4	Tiempos de retención hidráulicos (TRH)	135
7.3.1.5	Carga orgánica y Carga orgánica superficial	136
7.3.1.6	Temperatura ambiental	138
7.3.1.7	Temperatura del agua	138
7.3.1.8	Sólido sedimentables	140
7.3.1.9	Conductividad.	141
7.3.1.10	Potencial de hidrógeno (pH)	141
7.3.1.11	Profundidad real de las lagunas	142
7.3.1.12	Perfil de lodos	143
7.3.2	Evaluación fisicoquímica del Sistema de lagunas de Liberia.	144
7.3.2.1	Potencial de hidrógeno (pH)	144
7.3.2.2	Conductividad	146
7.3.2.3	Oxígeno disuelto	146
7.3.2.4	Sólidos sedimentables	148
7.3.2.5	Sólidos totales.	149
7.3.2.6	Sólidos suspendidos	150
7.3.2.7	Grasas y aceites	151
7.3.2.8	DBO	153
7.3.2.9	DQO	155
7.3.2.10	Relación DQO/DBO	157
7.3.2.11	Análisis de las natas.	157
7.3.3	Análisis bacteriológicos realizados durante las campañas de muestreo	158
7.4	Identificación de las microalgas predominante en cada de una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas de La ciudad de Liberia.	160
7.4.1	Microalgas en las lagunas primarias.	160
7.4.2	Microalgas en las lagunas secundarias.	163
7.4.3	Microalgas del efluente del sistema de lagunas.	163
8.	CONCLUSIONES	165
9.	RECOMENDACIONES	167
10	BIBLIOGRAFÍA	168

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

<i>Figura 4.1 Interacciones químicas de las lagunas facultativas.</i>	12
<i>Tabla 4.1 frecuencias mínima de muestreo y análisis para aguas residuales de tiempo ordinario.</i>	24
<i>Tabla 4.2 Límites máximos permitidos en Costa Rica para el vertido de aguas residuales a alcantarillados sanitarios o a cuerpos de agua.</i>	25
<i>Tabla 4.4. Evaporación (mm³) para la ciudad de Liberia durante 1990 a 1999</i>	29
<i>Tabla 4.3. Humedad relativa (%) reportada para la ciudad de Liberia durante 1991 a 1999.</i>	30
<i>Tabla 4.5. Precipitación (ml) reportados para la ciudad de Liberia, Guanacaste entre 1990 a 1999.</i>	30
<i>Tabla 4.6. Temperatura media en grados Celsius durante 1990 a 1999 en la ciudad de Liberia, Guanacaste.</i>	30
<i>Tabla 4.7. Valores promedio del brillo solar en horas durante 1975 a 1994 en la ciudad de Liberia, Guanacaste.</i>	31
<i>Figura 4.1 Esquema del nuevo sistema de lagunas facultativo de Liberia, Guanacaste.</i>	34
<i>Tabla 4.8 Datos empleados en el diseño del nuevo sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	35
<i>Tabla 5.1 Código y tipo de comercio a localizar mediante el plano de alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia, Guanacaste.</i>	38
<i>Tabla 5.2 Fecha e intervalos de tiempo para los aforos y la toma de muestras en la evaluación del sistema de lagunas facultativo de Liberia, Guanacaste.</i>	41
<i>Figura 5.1. Puntos en las lagunas N° 1, N° 2, N°3 y N° 4 en los cuales se realizaron los aforos</i>	42
<i>Figura 5.2. Puntos de cada laguna en los cuales se determinó la altura del lodo.</i>	46
<i>Figura 5.3. Puntos de muestreo para los análisis de laboratorio en el sistema de lagunas.</i>	47
<i>Tabla 6.1 Número de comercios conectados al alcantarillado sanitario de Liberia según su actividad localizados durante el recorrido por el área en estudio.</i>	51
<i>Tabla 6.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados al efluente del Hospital de La ciudad de Liberia en la primera campaña de muestreo.</i>	54
<i>Tabla 6.3 Caudales (L/s) máximos, mínimos y medios determinados en la entrada al Sistema de lagunas de Liberia durante 3 campañas de aforos.</i>	56

<i>Figura 6.1 Caudales (L/s) del afluente del Sistema de lagunas de Liberia en 3 campañas de aforos.</i>	57
<i>Tabla 6.4 Caudales (L/s) máximos, mínimos y medios determinados en la entrada de las lagunas secundarias del Sistema de lagunas de Liberia durante 4 campañas de aforos.</i>	58
<i>Figura 6.2 Caudales (L/s) de entrada a las lagunas secundarias de Liberia en las 4 campañas de aforos.</i>	59
<i>Tabla 6.5 Caudales (L/s) máximos, mínimos y medios determinados en la salida de las lagunas secundarias del Sistema de lagunas de Liberia durante 4 campañas de aforos.</i>	60
<i>Figura 6.3 Caudales (L/s) del efluente del Sistema de lagunas de Liberia en las 4 campañas de aforos y muestreos.</i>	61
<i>Figura 6.4 Caudales en metros cúbicos reportados para el Sistema de lagunas de Liberia en las 4 campañas de aforos y muestreos.</i>	62
<i>Tabla 6.6 Tiempos de retención hidráulicos (TRH) en días determinados en 4 campañas de muestreo para la laguna 1 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	63
<i>Tabla 6.7 Tiempos de retención hidráulicos (TRH) días determinados en 4 campañas de muestreo para la laguna 3 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	64
<i>Tabla 6.8 Carga orgánica (CO) y Carga orgánica superficial (CS) determinadas en 4 campañas de muestreo para la laguna 1 del sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste</i>	65
<i>Tabla 6.9 Carga orgánica (CO) y Carga orgánica superficial (CS) determinadas en 4 campañas de muestreo para la laguna 3 del sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	66
<i>Figura 6.5 Cargas orgánicas (KgDBO/d) determinadas durante 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	67
<i>Figura 6.6 Cargas orgánicas superficiales (KgDBO/ha*d) determinadas durante 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	68
<i>Tabla 6.10 Temperatura del agua (°C) en la entrada al sistema de lagunas durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	69
<i>Tabla 6.11 Temperatura ambiental (°C) en la entrada del sistema durante 3 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste</i>	70
<i>Tabla 6.12. Sólidos sedimentables (ml/L) en la entrada al sistema de lagunas durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	71

<i>Tabla 6.13. Conductividad eléctrica (us/cm) en la entrada al sistema de lagunas durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	72
<i>Tabla 6.14. Potencial de hidrógeno determinado en la entrada al sistema de lagunas durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	73
<i>Tabla 6.15 Valores máximos, mínimos y medios de la temperatura (°C) del agua en el efluente de las lagunas 1 y 2 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	74
<i>Tabla 6.16 Valores máximos, mínimos y medios de los Sólidos sedimentables (ml/L) en el efluente de las lagunas 1 y 2 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	75
<i>Tabla 6.17 Valores máximos, mínimos y medios de la Conductividad (us/cm) en el efluente de las lagunas 1 y 2 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste</i>	76
<i>Tabla 6.18 Valores máximos, mínimos y medios del Potencial de hidrógeno en el efluente de las lagunas 1 y 2 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	77
<i>Tabla 6.19 Valores máximos, mínimos y medios de la Temperatura (°C) del agua en el efluente de las lagunas 3 y 4 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	78
<i>Tabla 6.20 Valores máximos, mínimos y medios de la Conductividad eléctrica (us/cm) en el efluente de las lagunas 3 y 4 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	79
<i>Tabla 6.21 Valores máximos, mínimos y medios de la Potencial de hidrógeno en el efluente de las lagunas 3 y 4 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	80
<i>Tabla 6.22 Temperatura (°C) del agua del efluente del Sistema de lagunas durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia.</i>	81
<i>Tabla 6.23 Conductividad eléctrica (us/cm) del efluente durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia.</i>	82
<i>Tabla 6.24 Potencial de hidrógeno del efluente durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia.</i>	83
<i>Tabla 6.25 Diferencia de altura (m) entre el fondo lagunar y el nivel agua superficial de cada laguna del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	84
<i>Figura 6.7 Puntos en los que se determinó la altura del lodo en el fondo de las lagunas primarias y secundarias.</i>	85
<i>Tabla 6.26 Altura (cm) del lodo en el fondo de las lagunas primarias del Sistema de lagunas de Liberia.</i>	85
<i>Tabla 6.27 Altura (cm) del lodo en el fondo de las lagunas secundarias del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	87
<i>Tabla 6.28 Potencial de hidrógeno (unidades de pH) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	88

<i>Figura 6.8 Potencial de hidrógeno del sistema lagunar para las 4 campañas de muestreo.</i>	89
<i>Tabla 6.29 Conductividad eléctrica (us/cm) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	90
<i>Figura 6.9 Conductividad eléctrica (us/cm) en las 4 campañas de muestreo en los diferentes puntos del sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	91
<i>Cuadro 6.30 Oxígeno disuelto durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	92
<i>Figura 6.10 Oxígeno disuelto (mg/L) en los diversos puntos analizados en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	93
<i>Tabla 6.31 Sólidos sedimentables (ml/L) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	94
<i>Figura 6.11 Sólidos sedimentables (ml/L) en las 4 campañas de muestreo en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	95
<i>Tabla 6.32 Sólidos totales (mg/L) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	96
<i>Figura 6.12 Sólidos totales (mg/L) para cada campaña de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	97
<i>Tabla 6.33 Eficiencias (%) en la remoción de sólidos totales en la evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	98
<i>Tabla 6.34 Sólidos suspendidos totales (mg/L) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	99
<i>Figura 6.13 Sólidos suspendidos (mg/L) reportados en las 4 campañas de muestreo en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	100
<i>Tabla 6.35 Grasas y aceites (mg/L) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	101
<i>Figura 6.14 Grasas y aceites (mg/L) en la evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	102
<i>Tabla 6.36 Grasas y aceites (mg/L) durante una campaña de muestreo de 4 horas en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	103
<i>Tabla 6.37 Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) indicada por el laboratorio durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	104
<i>Tabla 6.38 Eficiencias (%) en DBO durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	105
<i>Figura 6.15 Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en las 4 campañas de muestreo en del Sistema de lagunas de Liberia.</i>	106

<i>Tabla 6.39 Demanda química de oxígeno (mg/L) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	108
<i>Figura 6.16 Demanda química de oxígeno (mg/L) en las 4 campañas de muestreo en los diversos puntos de análisis del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	109
<i>Tabla 6.40 Eficiencias (%) en DQO durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	110
<i>Tabla 6.41 Relación DQO/DBO durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	111
<i>Tabla 6.42 Resultados de análisis químicos sanitarios típicos de aguas residuales en los Estados Unidos.</i>	112
<i>Tabla 6.43 Coliformes fecales para el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	113
<i>Tabla 6.44 Eficiencia (%) en la remoción de coliformes fecales por cada laguna en 4 campañas de muestreo compuesto en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	114
<i>Tabla 6.45 Coliformes de una muestra puntual en la entrada y salida del sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	114
<i>Tabla 6.46 Cantidad de Escherichia coli determinada en 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	115
<i>Tabla 6.47 Microalgas identificadas en las lagunas primarias en la campaña de muestreo 1 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	117
<i>Tabla 6.48 Microalgas identificadas en las lagunas primarias en la campaña de muestreo 2 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	118
<i>Tabla 6.49 División de los géneros encontrados en las lagunas primarias del Sistema de lagunas de Liberia.</i>	119
<i>Tabla 6.50 Microalgas identificadas en las lagunas secundarias en la campaña de muestreo 1 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	119
<i>Tabla 6.51 Microalgas identificadas en las lagunas secundarias en la campaña de muestreo 2 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.</i>	120

1. INTRODUCCIÓN

El hombre, más que cualquier otra especie, trata de manipular el ambiente de sus alrededores para satisfacer sus necesidades, sin embargo, al hacerlo altera y destruye los componentes bióticos necesarios para su existencia fisiológica, tal es el caso de la eutroficación de aguas dulces y la contaminación de los mares que en forma directa o indirecta son fenómenos producidos por la acción de las aguas residuales no tratadas.

Desde hace varios años ha crecido el interés por el proceso del tratamiento de las aguas residuales provenientes tanto del sector industrial - comerciales como el de viviendas. Lo anterior ha motivado, primero en forma empírica y luego a base a conocimientos científicos, la búsqueda de nuevos sistemas tales que sean eficientes, prácticos y de bajo costo. Los objetivos de los tratamientos biológicos del agua residual son: la coagulación y la sedimentación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica, este último es la meta principal a conseguir en las aguas residuales domésticas. (Tchobanglou, 1996).

Su depuración depende exclusivamente de la integración y simplificación de sus componentes, éste es el trabajo de una gama de organismos especializados, aunque también de procesos abióticos como los son reacciones químicas entre los componentes de la actividad enzimática, reacciones físicas y otras (Crites, 1998). El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental en la realización y evaluación de nuevos proyectos, para su recolección, tratamiento y dentro de la gestión ambiental. (Tchobanglou, 1996)

Para comunidades de mediano tamaño y en zonas de alta radiación solar se ha recomendado el empleo de lagunas facultativas, las cuales se han destacado en la reducción de organismos patógenos y en la DBO, pero presentan la propiedad de descargar apreciables concentraciones de sólidos en suspensión en forma de algas unicelulares y son ineficientes en la remoción de nutrientes.

Las características del agua residual de una comunidad varían dependiendo de factores como: el consumo de agua potable, el tipo de sistema de alcantarillado, la existencia de sistemas individuales de disposición de excretas y la presencia de desechos industriales. A parte de los factores indicados es importante conocer los cambios en concentraciones y caudales diarios. (Jánez, 1993). El agua de los alcantarillados sanitarios urbanos están conformada por: aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales, aportaciones incontroladas y por aguas pluviales en diferentes proporciones.(Tchobanglou, 1996)

La actitud actual del hombre, como manipulador y como individuo que interrelaciona con los ecosistemas tendrá que regirse en el futuro próximo por fundamentos ambientales de cuyas aplicaciones será el desarrollo de mejores sistemas de tratamiento para las aguas residuales.

2. JUSTIFICACIÓN

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) fue creado en 1961. En la actualidad se ocupa de dotar a la mayor cantidad de la población del país de agua potable y de la recolección y tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico. Ambas son actividades en continua expansión y de suma importancia para el desarrollo del país.

En 1975 el AyA estableció un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la ciudad de Liberia, Guanacaste. Dicho sistema estaba constituido por dos lagunas facultativas de operación en paralelo.

A finales de los años noventas las pruebas físico - químicas y bacteriológicas aplicadas al sistema de lagunas revelaron bajos porcentajes de eficiencia en la remoción de contaminantes ante la excesiva carga orgánica del afluente, debido al incremento de conexiones (incremento poblacional). Esta situación conllevó a variar las condiciones del proceso tal que las eficiencias en términos de DBO no eran las deseables, había malos olores, producción de espumas, entre otros problemas. Debido a esto se decidió construir un par de lagunas facultativas adicionales e integrarlas a las dos anteriores y establecer un tren de lagunas para incrementar el tiempo de retención hidráulico. (Araya, 1999)

El nuevo sistema de lagunas arrancó en el mes de abril del 2000, por lo tanto es de sumo interés para el AyA evaluarlo intensamente para conocer la dinámica biológica las lagunas (identificar las algas que están participando en el proceso), al igual que las condiciones de operación establecidas.

Así también, a pesar de que desde su inicio las lagunas se construyeron para el tratamiento de aguas residuales domésticas, la ciudad de Libera ha crecido en grandes proporciones lo cual va aunado al desarrollo del sector comercial - industrial quienes también vierten sus aguas al alcantarillado público. Debido a ello es de interés realizar un diagnóstico de las descargas comerciales que estén conectados al alcantarillado sanitario con el fin de tener una proyección de su efecto dentro del afluente en el nuevo sistema de lagunas. Hasta el momento no había registros actualizados de dichas descargas al alcantarillado sanitario en la zona.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar en términos hidráulicos, fisicoquímicos y microbiológicos la calidad del afluente y el funcionamiento del nuevo sistema de lagunas facultativas de Liberia, empleado para el tratamiento de sus aguas residuales de origen doméstico.

3.2 Objetivos específicos

- a. Localizar los principales entes generadores de aguas residuales no domésticas conectados al sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Liberia.
- b. Realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos a las descargas sospechosas de origen no doméstico que se vierten al alcantarillado sanitario.
- c. Analizar las variaciones de caudal, temperatura, pH, conductividad y sólidos sedimentables en el sistema de lagunas a lo largo del día.
- d. Realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos a cada una de las lagunas facultativas con el fin de evaluar su funcionamiento y eficiencia en diversos días.
- e. Identificar las microalgas predominantes en cada una de las lagunas y su relación con el tratamiento del agua residual.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Aspectos teóricos relacionados con la temática

4.1.1 Características de las aguas residuales.

Las características de las aguas residuales de un lugar varían dependiendo de factores como: consumo de agua potable, tipo y sistema de alcantarillado, presencia de desechos industriales, entre otros y es necesario considerar circunstancias tales como las variaciones diarias del caudal. (Crites, 1998)

Las aguas residuales pueden provenir tanto de casas de habitación (aguas residuales domésticas), de empresas (aguas residuales de origen industrial o especiales) o de una mezcla de ambas (aguas residuales mixtas). Todas ellas poseen características químicas y biológicas diferentes y por lo tanto la normativa de Costa Rica establece parámetros especiales en cuanto a su caracterización.

Las aguas residuales domésticas, por lo general, no contienen sustancias peligrosas como lo son metales pesados, tóxicos fuertes, entre otros; pero sí una elevada cantidad de agentes infecciosos y patógenos, dado que su principal prominencia es de los servicios sanitarios. Son aguas con alta cantidad de amonio y nitrógeno debido a las excretas, lo que permite su tratamiento mediante diversos procesos biológicos. (Crites, 1998)

Las aguas residuales del sector industrial dependen totalmente del tipo de actividad productiva que desarrolle la empresa. En ellas es importante evaluar, a parte del caudal y la cantidad de materia orgánica, la presencia de sustancias tóxicas como los metales pesados. (Tchobanglou, 1996)

Las aguas residuales mixtas comparten características de las domésticas y de las especiales.

4.1.2 Composición de las aguas residuales antes de su tratamiento.

Las características de las aguas residuales antes de su tratamiento dependen directamente de su procedencia, ya sean de carácter doméstico, industrial o mixto. Los desechos de diferente naturaleza producen efectos típicos indeseables. Dentro de los parámetros físicos medibles y negativos ecológicamente se encuentran: los sólidos, temperatura, el color y el olor. (Cubillos, 1994)

Los sólidos alteran la actividad biológica en muchas formas, disminuyendo el ingreso de la luz a través del agua necesario para las algas, afecta las branquias de los peces e incrementan los depósitos de materiales sólidos en el fondo de lagos y ríos, originando condiciones anaerobias.

El color es otro parámetro físico muy relacionado con las aguas residuales del sector industrial. Usualmente su eliminación se da más a través de procesos físicos, como la filtración sobre arenas o diatomitas, que a través de procesos biológicos. Su presencia impide la penetración de la luz y por lo tanto afecta la tasa fotosintética. La temperatura interfiere en las reacciones bioquímicas y enzimáticas de los microorganismos que participan en la depuración de las aguas residuales.

Dentro de los componentes químicos en ellas se encuentran los orgánicos y los inorgánicos, variando si son aguas de origen doméstico o industrial. Las sustancias orgánicas comunes son proteínas, carbohidratos, grasas, surfactantes, fenoles, aminoácidos, pesticidas. Gran parte de estas sustancias, como los carbohidratos y las proteínas, son aprovechadas por bacterias y protozoarios (sarcodinas y mastigóforos). Algunas grasas y aceites son biodegradables mientras que otras no y su abundancia puede resultar perjudicial ante la formación de capas que impiden el intercambio gaseoso e incrementan las características anaerobias de las aguas residuales. (Tchobanglou, 1996)

Dentro de los compuestos inorgánicos se mencionan los cloruros, alcalinizantes, nitrógenos, fósforos, azufres, compuestos tóxicos, metales pesados y algunos gases como sulfuro de hidrógeno, metano, dióxido de carbono, entre otros. Los surfactantes más usuales son los fundamentados en las cadenas de ABS y LAS cuyo grado de biodegradabilidad es incierto, especialmente para los ABS. Los fenoles son típicamente bactericidas y son biodegradables a concentraciones inferiores a 500 mg/L. Los metales pesados, como el cobre, mercurio, níquel, cobalto, cadmio y arsénico, no son biodegradables y alteran el equilibrio ecológico. (Sánchez, 1995)

4.1.3 Composición de las aguas residuales después de su tratamiento.

Después de un tratamiento biológico que contemple un buen diseño, adecuado tiempo de retención hidráulico y en presencia de los microorganismos idóneos, las características finales del agua son muy distintas a las iniciales. La actividad biológica intensa y suficiente a cargo de las bacterias, algas, protozoarios, hongos, principalmente, produce agua mineralizada cuyas características son las requeridas en el desarrollo de la flora y fauna, lo cual significa capacidad de intercambio catiónico, intercambio gaseoso, cantidad de oxígeno disuelto superior a 6 mg/L, mínima presencia de materia orgánica biodegradable, mucha cantidad de minerales como lo son carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfonatos, nitratos, fosfatos, sodio, potasio, calcio y magnesio. También puede encontrarse minerales como lo son los silicatos, fluoruros, compuestos de hierro, magnesio, aluminio, boro, entre otros. (Sánchez, 1995)

Un aspecto a recalcar es la múltiple presencia de microorganismos encargados de los procesos para el tratamiento del agua residual en los sistemas biológicos.

4.1.4 Lagunas como tratamiento biológico de las aguas residuales: concepto y clasificación

Las lagunas son masas de agua con un alto período de retención lo cual favorece que se lleven a cabo toda una serie dinámica de procesos biológicos aunados con la interacción ambiental, tal que se logre la oxidación de la materia orgánica en compuestos estables que no demanden oxígeno al cuerpo de agua en que se vierta su contenido. En los países subdesarrollados se han instalado gran cantidad de ellas con el fin de tratar el agua residual de comunidades pequeñas y medianas. Estas pueden encontrarse solas o actuar junto con otros procesos para el tratamiento de las aguas residuales.

Dentro de las ventajas que presentan se encuentran: (Crites, 1998)

- a. Bajo capital para su mantenimiento
- b. Requerimientos operativos mínimos
- c. Baja producción de lodos en comparación con otros sistemas
- d. Compatibilidad con otros procesos acuáticos o terrestres.

Con respecto a las desventajas se mencionan: (Crites, 1998)

- a. Requerimiento de grandes extensiones de tierras.
- b. Sobreproducción de algas a nivel superficial, lo cual conlleva a problemas en las descargas a los cuerpos receptores.
- c. Los diseños inapropiados pueden producir fuertes olores.

Existen varias formas de clasificar una laguna, ya sea por su contenido de oxígeno, de acuerdo al lugar que ocupan, por su secuencia, según su función específica y su relación con aireadores. A continuación se comentan varias de ellas (Jáñez, 1993)

De acuerdo con el contenido de oxígeno, las lagunas se clasifican en lagunas aerobias, anaerobias y facultativas; si el oxígeno se adiciona en forma mecánica se habla de lagunas aereadas. Las aerobias son de escasa profundidad (0.3 a 0.45 m) con el fin de lograr una alta penetración de la luz y desarrollo de densas masas de algas para la oxigenación. Se recomienda su uso en lugares con alta radiación solar y temperatura dado que favorece el desarrollo de algas. Las anaerobias son de mayor profundidad (2.5 a 5.0 m) y funcionan muy bien para afluentes con alta cantidad de materia orgánica. El efluente contiene mucha de esta materia por tratar y muy poca cantidad de oxígeno disuelto, por lo que necesita de otro proceso para su vertido a un cuerpo de agua. Las lagunas facultativas presentan una estratificación entre aerobias en los primeros 30 cm de profundidad a anaerobias en la parte inferior. (Jáñez, 1993)

De acuerdo a su posición, las lagunas pueden estar en serie (una después de la otra) o en paralelo (una contiguo a la otra). Según el lugar que ocupen, pueden ser lagunas primarias o de aguas residenciales crudas, secundarias si el agua que reciben tuvo un proceso previo, o de maduración si se desea aún más reducir la cantidad de microorganismos indicadores.

En términos de su función específica, las lagunas se catalogan como lagunas de reducción de compuestos orgánicos, lagunas de reducción de organismos patógenos y lagunas para criterios múltiples de calidad del efluente. (Jáñez, 1993)

Dentro de las aereadas se encuentran: las lagunas aereadas de mezcla completa o biomasa en suspensión, lagunas aereadas facultativas, lagunas facultativas con agitación mecánica y las lagunas de estabilización aereada. (Jáñez, 1993)

4.1.5 Descripción del funcionamiento de las lagunas facultativas

Las lagunas facultativas presentan menor profundidad que una laguna anaerobia y mayor profundidad que una laguna aerobia y su contenido de oxígeno disuelto varía de acuerdo a su profundidad y hora del día. En la parte superior se localiza el amensalismo entre las algas y las bacterias, las primeras mediante la fotosíntesis aportan oxígeno disuelto que favorece el desarrollo de bacterias y protozoarios aerobios para la oxidación de la materia orgánica biodegradable, soluble y coloidal. En la parte inferior favorecen condiciones anaerobias y por lo tanto actúan otros microorganismos con sus bacterias bioquímicas en una fase de hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis, produciéndose CH_4 y CO_2 , principalmente como productos estables a partir de la materia orgánica. (Jánez, 1993).

La siguiente figura esquematiza los procesos químicos característicos en una laguna facultativa. (Crites, 1998)

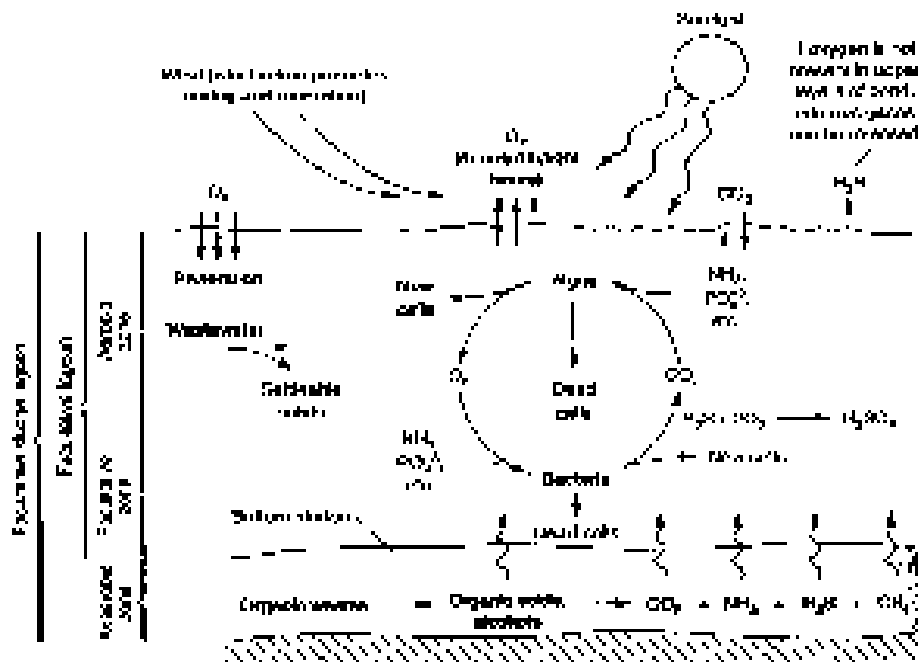


Figura 4.1 Interacciones químicas de las lagunas facultativas.

Su diseño bajo un alto período de retención hidráulico permite la remoción de parásitos, como los nemátodos intestinales, por sedimentación, y la muerte bacteriana de patógenos debido a procesos como la sedimentación, antagonismo con otros organismos, pH, temperatura y la radiación con rayos ultravioleta provenientes del sol.

En dichos sistemas la mortalidad bacteriana se asocia principalmente en los períodos en los cuales se tiene alta radiación solar y por lo tanto prevalecen en los estratos superiores, a parte de un incremento en el pH durante dichos períodos favorece el proceso. (CEQIATEC, 1999)

El resultado del tratamiento de desechos líquidos en lagunas de estabilización es un efluente estable, saturado de oxígeno, con una pequeña demanda de oxígeno y una reducción de los sólidos.

Las lagunas facultativas tienen los siguientes objetivos: (Crites, 1998)

- a. Acumular lodos biológicos y digeridos anarobiamente en el fondo
- b. Facilitar el desarrollo de algas superficiales en las aguas para su saturación con oxígeno disuelto por medio de la fotosíntesis
- c. Reducir en forma apreciable de bacterias.

4.1.6 Aspectos fisicoquímicos y biológicos de interés en las lagunas facultativas.

La temperatura es uno de los aspectos de mayor relevancia dentro de este tipo de lagunas. El crecimiento de algas es máximo, por lo tanto la producción de oxígeno disuelto, en un ámbito de 25 a 30 °C. A temperaturas más bajas disminuye el crecimiento de algas y superiores a los 35 °C hay inhibición total de su crecimiento. (Cubillos, 1994)

En las lagunas hay un cambio continuo de carbonatos a bicarbonatos a lo largo del día, lo cual se encuentra muy relacionado con la tasa fotosintética. Se ha encontrado cambios en el pH llegando a valores de 10 y 11 en puntos cercanos a la superficie, es decir donde predominan las algas y el oxígeno disuelto. En horas con sol, el CO₂ bacteriano y de los desechos orgánicos no es suficiente para el requerimiento de las algas, por lo que estas extraen el CO₂ de los bicarbonatos y carbonatos, aumentando el pH debido a la liberación de iones hidroxilo (OH⁻). En climas tropicales se ha encontrado una relación paralela entre la producción y tasa de la fotosíntesis, el incremento en el pH y la cantidad de oxígeno disuelto, el cual es mayor entre las 2:00 p.m. a 4:00 p.m.. (Jáñez, 1993)

Varios científicos e ingenieros han llegado a la conclusión que las lagunas son un método ineficiente en la remoción de nitrógeno y fósforo y por lo tanto no son un procedimiento llamativo para disminuir la eutroficación en los cuerpos receptores del agua tratada, pero sí para la reutilización del agua en la agricultura, dado que el principal mecanismo de remoción del nitrógeno es su precipitación en estado orgánico y la pérdida, en menor proporción, en forma de NH_3 . Las algas emplean al amoníaco como principal fuente de nitrógeno, el cual predomina en los desechos crudos. Los recuentos de Nitrosomonas y Nitrobacter en lagunas son muy bajos, lo cual explica el poco potencial de nitrificación, a parte de ello estas bacterias son afectadas por los elevados valores de pH, nivel de DBO, los sólidos solubles volátiles y el nivel amoniacal inicial (Jánez, 1993)

La remoción en términos de DBO depende del tiempo de retención y de la temperatura del agua en la laguna. Los sólidos suspendidos son removidos por sedimentación, pero debido al hiperdesarrollo algal ocurre un incremento en los sólidos suspendidos al final del proceso. (Crites, 1998) Lo anterior es un aspecto a considerar cuando se reporta la determinación de los sólidos suspendidos.

4.1.7 Breve reseña sobre los parámetros fisicoquímicos considerados a lo largo de la evaluación

4.1.7.1 Caudal (Q)

El caudal es un parámetro físico que indica por medio de unidades de volumen y tiempo la cantidad de agua que está entrando al sistema a una hora específica. Su valor es de vital importancia dado con base a él se determina el tiempo de retención hidráulica, la carga orgánica y la carga orgánica superficial. Esta última junto con la DBO ayuda a saber si las lagunas están operando como un sistema aerobio, anaerobio o facultativo.

Su valor se ve grandemente influenciado por la precipitación, debido a que muchas de los domicilios vierten sus aguas pluviales al alcantarillado sanitario o por infiltración de las mismas, por lo tanto también varía entre la estación seca y la estación lluviosa. Su determinación puede realizarse empleando la canaleta Parshall o mediante aforos volumétricos.

4.1.7.2 Temperatura del agua

Es importante volver a recordar que el proceso de depuración del agua residual en lagunas facultativas se lleva a cabo a través de métodos biológicos, los cuales son más eficientes entre ciertos ámbitos de temperatura. Su temperatura es, por lo general, diferente en comparación con la temperatura ambiental debido a la capacidad calórica del agua, la cual es mayor que la del aire. En Costa Rica está reglamentada la temperatura para el vertido de aguas residuales tanto al alcantarillado sanitario como a cuerpos receptores de agua.

4.1.7.3 Temperatura ambiental

La temperatura ambiental llega a afectar en forma directa a la temperatura del agua, lo cual quiere decir que si esta aumenta la del agua también lo hará.

En La ciudad de Liberia la temperatura es la típica del trópico seco, por lo que es elevada tanto en períodos de lluvia como en la época seca y no hay grandes diferencias entre estos períodos.

4.1.7.4 Turbiedad

La turbiedad consiste en la incapacidad de penetración de la luz a través del agua debido a la presencia de partículas pequeñas suspendidas. Es importante conocer sus valores en lagunas facultativas y en los ríos debido a que valores altos pueden alterar la vida de los microorganismos y algas dependientes de luz.

4.1.7.5 Sólidos sedimentables (SSed)

Es necesario determinarlos tanto en la entrada al sistema de lagunas como en la salida del mismo. Como su nombre lo indica con dicho valor se conoce la cantidad de sedimentos que trae consigo el agua residual y por lo tanto estos se quedarán en el fondo de las lagunas, principalmente en las primarias. Pueden estar constituidos por materia orgánica biodegradable y no biodegradable.

4.1.7.6 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH se define como el logaritmo con base 10 negativo de la concentración de iones hidroxilo en función a una temperatura y se determina con el fin de conocer si el agua, tanto de entrada a las lagunas como en su salida, cuenta con características básicas, ácidas o neutras. Según el pH se desarrollan ciertos géneros de bacterias, algas y protozoarios y por lo tanto varía las características de tratamiento del agua residual.

En la entrada al sistema de lagunas puede encontrarse variaciones a diversas horas del día, pero las lagunas cuentan con un sistema de amortiguamiento tal que se logren mantener cierta condición homogénea.

4.1.7.7 Conductividad

Para la conductividad eléctrica del agua es necesario la presencia de iones, por lo que mayor conductividad mayor es la concentración de los mismos y viceversa. Es un parámetro a considerar si se planea el rehuso del agua residual en la agricultura, dado que afecta la salinidad de los suelos.

4.1.7.8 Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es el empleado por organismos aerobios para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica degradándola a moléculas más estables. La cantidad de oxígeno que se encuentra en el agua depende de la presión atmosférica, temperatura y turbulencia. Con base en su presencia así se indica la predominancia de microorganismos aerobios o anaerobios y por lo tanto la forma de operación de la laguna. Las concentraciones bajas de oxígeno se asocian con aguas de baja calidad. La concentración mínima necesaria para tener buenas densidades de especies es de 5.0 mg/L

En una laguna facultativa, la mayor concentración de oxígeno se localiza en el área superficial, lugar de predominio de las algas verdes y verde azules (fase aerobia) que emanan oxígeno gracias a la fotosíntesis. El mismo disminuye conforme se acerca al fondo hasta llegar niveles anóxicos (fase anaerobia). A la hora de verter el agua tratada al río esta no puede ser anóxica.

4.1.7.9 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) corresponde a la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica biodegradable de una muestra de agua por medio de una población heterogénea de microorganismos. Entre mayor sea la cantidad de materia orgánica de la muestra mayor será el requerimiento de oxígeno para su estabilización a tal punto que puede ponerse en peligro la vida acuática.

La prueba de la DBO₅ es una de las determinaciones más importantes en las actividades de control de contaminación y es también de importancia fundamental en trabajos y en estudios designados a evaluar la capacidad de purificación en cuerpos receptores de agua.

4.1.7.10 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica de un desecho líquido por medio de un agente oxidante, sin importar su degradación biológica. Al oxidar tanto materia orgánica como inorgánica se convierte en una prueba menos específica que la DBO pero de gran ventaja para ser aplicada en casos de sospechas de presencia de sustancias tóxicas o inorgánicos. Tal como lo establece la normativa costarricense es importante su determinación en efluentes no domésticos

4.1.7.11 Sólidos totales (ST)

Como su nombre lo indica, corresponde a la totalidad de partículas sólidas que trae consigo el agua residual y que permanecen después de un proceso de secado de la misma a 103 °C. Dichos sólidos pueden ser de naturaleza orgánica o mineral.

4.1.7.12 Sólidos suspendidos (SS)

Los sólidos suspendidos son útiles para valorar la concentración de las aguas residuales y para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento. Indican la cantidad de partículas en suspensión, las cuales son de menor tamaño que las partículas sedimentables. Estas están ligadas a turbiedad y en el agua tratada de sistemas de lagunas presentan altos valores debido a la presencia de algas. Este parámetro es de valor para estimar la cantidad de sedimentos que pueden acumularse en las lagunas primarias.

4.1.7.13 Eficiencias en DBO

La relación entre la DBO₅ de entrada y la DBO₅ de salida de una laguna permite conocer la eficiencia del sistema en la remoción de la materia orgánica biodegradable, gracias a la acción de los microorganismos, por lo tanto se llega a conocer que tan bien o mal es el funcionamiento de las mismas.

4.1.7.14 Coliformes y parásitos

Los coliformes fecales corresponden a una serie de bacterias indicadoras capaces de crecer y desarrollarse a 44 °C y 44.5 °C en condiciones de laboratorio. Los enterococos se han considerado generalmente como indicadores fecales. (CEQIACTEC, 1999). Los géneros que conforman este grupo son: *Escherichia sp.*, *Klebsiella sp.*, *Citrobacter sp.* y *Enterobacter sp.*

Los coliformes fecales y parásitos son parámetros indispensables en la caracterización de aguas residuales y normalmente son usados en el diseño de lagunas.

Los sistemas lagunares presentan elevados índices de remoción de coliformes debido a factores como su elevado tiempo de retención hidráulica, radiaciones con luz ultravioleta proveniente del sol y por antagonismo de su desarrollo con otros microorganismos que se encuentran en las lagunas; por lo tanto a diferencia de los otros métodos de tratamiento biológico no es necesario la aplicación de cloro en el efluente final. Las aguas residuales de origen doméstico dan un importante aporte de los mismos, por lo que se ha recomendado el diseño de lagunas en serie y en paralelo para su tratamiento. (Jánez, 1993) Su remoción es importante dado que ayudan a determinar la calidad del agua en aspectos sanitarios.

Los parásitos, como los helmintos y amebas son causantes de enfermedades para el hombre y se encuentran en altas cantidades en aguas residuales de origen doméstico. Las lagunas de estabilización son un método idóneo para su remoción dado que presentan altos períodos de retención hidráulica, lo cual permite la sedimentación de los mismos y de sus huevecillos.

4.1.8 Reglamentación en Costa Rica para el vertido de aguas residuales al alcantarillado sanitario y a cuerpos de agua.

El vertido de aguas residuales a cuerpos de agua está regido por el Decreto N° 26042-S-MINAE, publicada en la Gaceta N° 117 del 19 de junio de 1997. (MINAE, 1997)

En él se establecen los parámetros fisicoquímicos máximos permisibles para el vertido de aguas residuales, frecuencia de las campañas de muestreo, entre otros. A continuación se comentan brevemente los artículos más relevantes con relación al estudio.

El artículo 3 indica la importancia de realizar tratamientos a las aguas residuales previo a su vertido en cuerpos de agua y señala la obligación por parte de los entes generadores para que se cumpla dicho reglamento.

El artículo 4 obliga a todo ente generador no doméstico a presentar reportes operacionales sobre la calidad de las aguas residuales ante el AyA o ante la División de Saneamiento del Ministerio de Salud. Más adelante se comentará la importancia de este artículo. También, el artículo 7 recuerda que los análisis fisicoquímicos deben ser realizados por un laboratorio acreditado.

De acuerdo con el artículo 14 los parámetros a analizar en las aguas residuales de tipo ordinarios son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Potencial de hidrógeno (pH), Grasas y aceites (GyA), Sólidos sedimentables (SSed), Sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes fecales. Así mismo el artículo 15 indica que para aguas consideradas como no domésticas es necesario, a parte de los indicados, analizar la Demanda Química de Oxígeno y la temperatura.

En el artículo 16 se recuerda que según la actividad específica a la que se dedica el ente generador no doméstico existen otros parámetros a considerar.

Para el vertido de aguas residuales tratadas a cuerpos de agua en el artículo 19 comenta la necesidad de confeccionar reportes operacionales. Los análisis de aguas residuales deben practicarse a muestras compuestas.

La siguiente tabla indica la frecuencia y parámetros para el vertido de aguas residuales de tipo ordinarias a cuerpos de agua.

Tabla 4.1 frecuencias mínima de muestreo y análisis para aguas residuales de tiempo ordinario.

PARÁMETRO	CAUDAL (m3/día)		
	< 50	50 a 100	> 100
pH, Sólidos Sedimentables y Caudal	Mensual	Semanal	Diario
Grasas y aceites	Anual	Semestral	Trimestral
DBO5	Anual	Semestral	Trimestral
Sólidos suspendidos totales	Anual	Semestral	Trimestral
Coliformes fecales	Anual	Semestral	Trimestral

Fuente: Decreto N° 26042 - S- MINAE, 1997

Nota: Todos los muestreos deben ser compuestos.

El siguiente cuadro resume los límites máximos permitidos para el vertido de aguas residuales a alcantarillados sanitarios y a ríos, señalado por el artículo 27.

Tabla 4.2 Límites máximos permitidos en Costa Rica para el vertido de aguas residuales a alcantarillados sanitarios o a cuerpos de agua.

Parámetro	Límite máximo al alcantarillado sanitario	Límite máximo a cuerpos de agua
DBO5	300 mg/L	50 mg/L
DQO	1 000 mg/L	-
Sólidos suspendidos	500 mg/L	-
Sólidos sedimentables	1 ml/L	1 ml/L
Grasas y aceites	100 mg/L	30 mg/L
Potencial de hidrógeno	6 a 9	5 a 9
Temperatura	T < a 40 °C	15 ° < T < 40 °C
Sustancias activas al azul de metilo	10 mg/L	2 mg/L

Fuente: Decreto N° 26042 - S- MINAE, 1997

A los hospitales y clínicas, aparte de los indicados anteriormente, el artículo 28 indica que la cantidad de coliformes fecales no debe superar los 1000 por cada 100 ml de muestra.

Mediante el artículo 40, queda totalmente prohibido verter materiales sólidos que obstaculicen el flujo libre del agua, aquellos que formen vapores tóxicos, explosivos o de mal olor, así como la inyección de gases.

Finalmente el artículo 42 prohíbe el vertido en cuerpos de agua o en cualquier sistema de alcantarillado contaminantes con sustancias radiactivas.

4.2 Datos específicos de la zona en estudio y del sistema de lagunas de Liberia.

4.2.1 Localización del área en estudio

La ciudad de Liberia es cabecera de la provincia de Guanacaste y se localiza al noreste del país a 10° 38´ de latitud norte y 85° 27´ de longitud oeste. Su población para 1995 era de 40 000 habitantes. (Peinador, 1995)

La ciudad de Liberia se encuentra a una distancia de 235 Km. de San José y a 77 kilómetros de Peñas Blancas, frontera con Nicaragua. Limita al norte con la Cruz y Upala, al sur con Carrillo, al este con Bagaces y al oeste con el Océano Pacífico. La ciudad de Liberia se encuentra en la región del Valle del Tempisque, a una elevación de 140 m.s.n.m. y a orillas del río Liberia, la configuración del terreno es bastante plana con un pequeño desnivel hacia el oeste. (Atán, 2000)

Parte de la ciudad cuenta con servicio de alcantarillado sanitario el cual cubre únicamente el sector más densamente poblado y de mayor desarrollo comercial. Dichas aguas son conducidas hacia el oeste hasta el sistema de lagunas facultativo para su debido tratamiento, previo al vertido en el río Liberia. (Peinador , 1995)

4.2.2 Acceso a la zona

Para llegar a La ciudad de Liberia es posible hacerlo por tierra o vía aérea. Por tierra a través de la carretera interamericana o por Nicoya. Por vía aérea se puede hacer mediante el aeropuerto Daniel Oduber, el cual recibe vuelos nacionales e internacionales. Por lo general, las vías de comunicación dentro de la ciudad se encuentran en regular situación, pero en los barrios aledaños las calles son de lastre y de difícil acceso durante los períodos de lluvia. (Atán, 2000)

4.2.3 Servicios de alcantarillado y de tratamiento de aguas residuales.

El servicio del alcantarillado sanitario cubre únicamente el casco central de la ciudad lo cual representa aproximadamente un 30 % con respecto a la red de agua potable. (Atan, 2000) Dicho sistema fue diseñado para la recolección de aguas residuales domésticas pero en la actualidad también recibe gran cantidad de descargas de comercios y del hospital de La ciudad de Liberia Dr. Enrique Baltodano

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra en el barrio Capulín, localizado a 2 kilómetros al suroeste del centro de La ciudad de Liberia. Para el tratamiento de las aguas residuales se contaba desde hace décadas con un sistema de lagunas facultativo constituido por un par de lagunas dispuestas en paralelo. A finales de los años noventas el sistema ya no estabilizaba adecuadamente la carga orgánica del afluente (Araya *et al*, 1998). Debido a ello en 1999 inició la ampliación del mismo tal que en la actualidad está constituido por dos baterías de lagunas en serie funcionando con dos unidades en paralelo.

4.2.4 Clima de la región.

La información sobre el clima de la región fue proporcionada por el Instituto Meteorológico Nacional, la cual pertenece a la estación de Liberia, que se localiza en las coordenadas 10° 31' de latitud Norte y 85° 32' de longitud Oeste y 85 metros sobre el nivel del mar.

La ciudad de Liberia se encuentra bajo el régimen de lluvias del Pacífico y por lo tanto tiene influencia de esta vertiente y debido a ello la distribución diaria de lluvia es por lo general en las horas de la tarde. La época seca se extiende desde noviembre a abril y la época lluviosa de mayo a octubre, presentándose el "Veranillo de San Juan" en el mes de julio.

Como todo sistema biológico, a la hora de evaluarlo es necesario conocer sus características ambientales por lo que se consideran como importantes la humedad relativa, evaporación, precipitación y la temperatura promedio para la ciudad de Liberia. Todos los parámetros mencionados afectan directamente la actividad biológica del sistema de lagunas.

4.2.4.1 Humedad Relativa

La humedad relativa está relacionada con la temperatura y en cierta forma con la precipitación. El siguiente cuadro muestra sus valores a lo largo del período en análisis.

Tabla 4.3. Humedad relativa (%) para la ciudad de Liberia durante el período de 1990 a 1999.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Prom	66	63	60	62	73	82	79	81	86	87	81	72
Mín	60	60	57	55	63	79	71	68	81	76	67	66
Máx	72	69	64	78	83	85	86	89	91	91	85	79

Fuente: Instituto Metereológico Nacional, (IMN), 2000

El mes más húmedo corresponde a setiembre y el más seco a marzo, lo cual está directamente relacionado con el grado de precipitación en la zona.

4.2.4.2 Evaporación en mm³

Tabla 4.4. Evaporación (mm³) para la ciudad de Liberia durante 1990 a 1999

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	11.3	10.9	13.5	ND	10.2	ND	ND	5.8	5.1	3.7	4.7	7.3
1991	10.6	13.1	ND	11.4	7.8	5.8	6.1	5.4	5.3	4.5	6.2	8.3
1992	9.4	ND	14.6	ND	10.2	5.7	4.8	5.2	4.6	4.5	4.7	6.7
1993	7.2	12.1	ND	ND	5.5	5.3	6.3	5.9	4.4	4.4	5.2	7.8
1994	10.6	12.1	13	12.6	8.1	5.7	7.2	4.9	5.2	4.3	4.6	6.6
1995	10	11.7	10.9	8.3	5.5	4.4	4.7	4.4	3.9	ND	ND	ND
Prom	9.8	12.0	13	10.8	7.88	5.38	5.82	5.27	4.75	4.28	5.08	7.34

Fuente: Instituto Metereológico Nacional. (IMN), 2000

El mes con mayor evaporación es febrero y la mínima está en setiembre lo cual va directamente ligado con los meses de mayor y menor precipitación y horas sol.

4.2.4.3 Precipitación en ml

Las lluvias diluyen la carga orgánica del afluyente debido a que, por lo general, muchas casas y comercios conectan las aguas pluviales al alcantarillado sanitario. Los siguientes datos son aportados por el Instituto Metereológico Nacional.

Tabla 4.5. Precipitación (ml) reportados para la ciudad de Liberia, Guanacaste entre 1990 a 1999.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Total
Prom	2.0	3.4	7.3	30.5	185	237	139	224	416	357	121	11.7	1855
Mín	0.0	0.0	0.0	-9.7	13.7	69.6	13.5	50.3	115	144	0.1	0.1	1093
Máx	16.4	24.7	54.6	92.7	491	326	298	409	136	680	234	69.6	2752

Fuente: Instituto Metereológico Nacional. (IMN), 2000

El mes que presentan mayor precipitación es setiembre y la menor ocurre en enero y por lo general las lluvias inician en el mes de mayo para disminuir a partir de noviembre.

4.2.4.4 Temperatura media ambiental media en grados Celsius (°C)

Tabla 4.6. Temperatura media en grados Celsius durante 1990 a 1999 en la ciudad de Liberia, Guanacaste.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Prom	27	27.3	27.8	29.4	28.8	27.8	27.6	27.4	26.6	26.6	26.5	26.8
Mín	26.4	24	27.8	27.8	27.7	26.6	26.8	26.6	25.2	26.1	25.2	26
Máx	27.5	28	30	31.3	30.6	28.9	29.2	29.6	27.4	27.7	27.5	27.2

Fuente: Instituto Metereológico Nacional. (IMN), 2000

Los máximos valores se registran en el mes de abril y los menores en enero. Es importante indicar el hecho de que prevalecen temperaturas altas a lo largo del año.

4.2.4.5 Brillo solar

Tabla 4.7. Valores promedio del brillo solar en horas durante 1975 a 1994 en la ciudad de Liberia, Guanacaste.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Prom.
9.4	9.9	9.6	8.9	6.6	5.5	5.9	5.7	5.2	5.6	6.7	8.3	7.2

Fuente: Instituto Metereológico Nacional. (IMN)2000

En Liberia la cantidad de horas luz es elevada y por lo tanto se ratifica lo indicado en el comentario de la temperatura media.

Para el año 2000 el Instituto Metereológico Nacional indicó variaciones anormales en el comportamiento de las precipitaciones en la zona guanacasteca, en la cual las lluvias disminuyeron un 35 % con respecto a la media del mes de junio y en un 65 % con respecto a julio. La causa de las variaciones en los parámetros se debe al fenómeno de la Niña.

4.2.5 Datos de diseño del nuevo sistema de lagunas

4.2.5.1 Justificación de la ampliación.

Estudios realizados en los años noventas indicaron que el sistema de lagunas presentaba bajas eficiencias en términos de la remoción de la DBO, alta producción de natas, espumas en el efluente hacia el río y malos olores, lo cual reflejaba su pésima operación y su incumplimiento con la normativa para el vertido de aguas a ríos (Araya *et al*, 1998), (Ramírez y Salazar, 1999).

Para 1999 el número de conexiones al alcantarillado sanitario era de 2 742 para una población equivalente de 13 775, por lo que las dos lagunas facultativas construidas en paralelo estaban funcionando en forma sobrecargada y vertían gran cantidad de materia orgánica sin tratar al río (Araya, 1999) También, a pesar de que se construyó para el tratamiento de agua residual de origen domiciliario el número de empresas conectadas al sistema de alcantarillado público había aumentado. Ante tal situación era necesario construir dos lagunas adicionales.

Como objetivos para la ampliación se consideró:

- a. Complementar la reducción de parásitos
- b. Reducir la cantidad de organismos patógenos hasta niveles permisibles
- c. Reducir los compuestos orgánicos (DBO₅ y DQO) hasta niveles permitidos

En un futuro muy cercano se desea incrementar la red de alcantarillado para cubrir mayor cantidad de la población liberiana. Las dimensiones de las nuevas lagunas son las siguientes: 265 m de largo, 60 metros de ancho y 2 metros de profundidad tal que cada una puede contener 30 000 metros cúbicos de agua.

Dichas lagunas son primarias facultativas, es decir reciben el agua cruda de tal forma que el caudal de entrada se reparte 50 % para la laguna N° 1 y 50 % para la laguna N° 2. Para el vertido del agua a cada una de ellas, el caudal se reparte en tres tubos equidistantes a 3 metros unos de otros en el borde este de cada laguna primaria con el fin de favorecer el flujo laminar del agua. En el extremo oeste de cada una de las lagunas se localiza una caja de recaudación del agua la cual por gravedad es enviada hasta las lagunas 3 y 4, que son las antiguas lagunas facultativas del sistema de lagunas. Cabe destacar que el agua tratada de la laguna 1 es vertida a la laguna número 3 y que el agua tratada de la laguna primaria 2 es vertida a laguna 4, ambas con una repartición de caudales del 33 % en cada tubo. Posteriormente, el agua que sale de la laguna 3 y 4 son llevadas en un pozo y se vierten al río Liberia, localizado al norte de la propiedad. (Araya, 1999)

Como estrategia para el escape mínimo de algas se colocó un tubo con una TEE tal el agua que sale está a 30 cm por debajo del nivel del agua. En síntesis, se pasó de un sistema de lagunas de dos lagunas en paralelo a uno con dos baterías de lagunas facultativas en paralelo con dos unidades en serie. El siguiente diagrama esquematiza al nuevo sistema de lagunas facultativo para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Liberia.

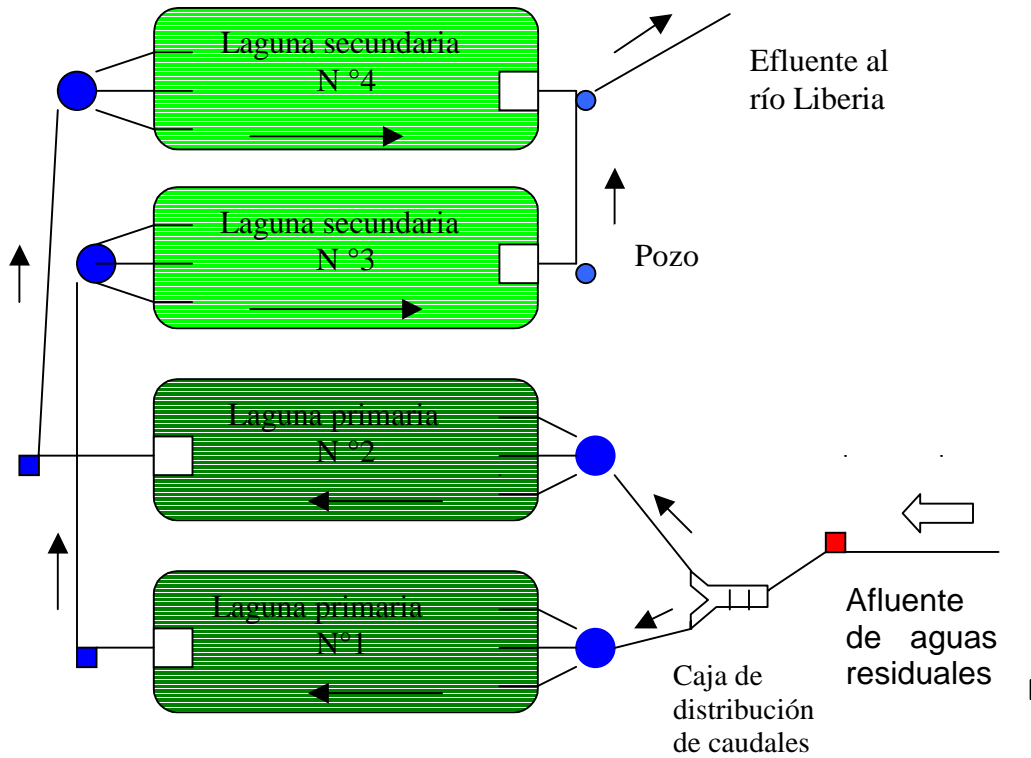


Figura 4.1 Esquema del nuevo sistema de lagunas facultativo de Liberia, Guanacaste.

Los cálculos empleados para la ampliación fueron:

Tabla 4.8 Datos empleados en el diseño del nuevo sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Parámetro	Valor
Conexiones al alcantarillado sanitario	2 742 conexiones
Factor de hacimiento	5.2 habitantes por conexión
Población servida por sistema	13 666 habitantes
Aporte per cápita por consumo de agua	204 L/hab. x día
Coeficiente de retorno	0.75
Aporte percápita de aguas residuales dom.	153 L/han. x día
Aporte per cápita de DBO (teórica)	50 g/hab x día
Concentración promedio de DBO afluente	300 mg/L
Concentración del C.F. afluente	2+E8 / 100 ml
Caudal promedio de entrada	34 L/s
Temperatura del mes más frío	22 °C

Fuente: Araya, 1999

Con base en el cuadro anterior, el 40 % del caudal doméstico reportado corresponde a aguas residuales del sector industrial. El valor de la DBO fue obtenido al promediar los valores indicados en los reportes operacionales de 1992 a 1999. El tiempo de retención mínimo es de 10 días con el fin de lograr la remoción de parásitos intestinales y para la reducción de bacterias se determinará en términos de coliformes fecales. (Araya, 1999)

4.2.5.2 Resultados esperados

Debido al incremento en el tiempo de retención hidráulica, disminución del caudal y por lo tanto de materia orgánica en cada serie del sistema de lagunas, se espera que después del período de estabilización se lograra:

- a. Aumentar las eficiencias en términos de DBO₅ y DQO

- b. Verter al cuerpo de agua receptor (río Liberia) agua tratada cuya DBO₅ filtrada sea cercano a 30 mg/L e inferior a 50 mg/L

- c. Valores de coliformes fecales a la salida del sistema inferiores a 1 000 por cada 100 ml de agua.

- d. Reducción total de parásitos o sus huevos en el efluente

- e. Reducción de la espuma en el efluente y trayecto del agua tratada al río Liberia.

Es de esperarse un aumento en los sólidos suspendidos totales debido a alta proliferación de microalgas.

5. METODOLOGÍA

La evaluación del sistema de lagunas de Liberia estuvo compuesta por 4 etapas:

Etapa 1: Identificación de las principales descargas de aguas residuales que son vertidas al sistema de alcantarillado sanitario de Liberia.

Etapa 2: Análisis físico – químicos y bacteriológicos de las descargas al alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia por parte de entes generados de aguas residuales no domésticas.

Etapa 3: Análisis Hidráulicos, físico – químicos y bacteriológicos de cada una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas durante varias campañas de muestreo.

Etapa 4: Identificación de las microalgas predominante en cada de una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas de Liberia.

Las actividades se llevaron a cabo entre los meses de julio a noviembre del año 2000. Los muestreos de los entes generadores de aguas especiales se realizaron en los diversos puntos de La ciudad de Liberia, los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del alcantarillado sanitario los realizó el laboratorio CEQIATEC, los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del sistema de lagunas se llevaron a cabo en el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA y las identificaciones de microalgas en el laboratorio de Microbiología de la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Identificación de las principales descargas que vierten sus aguas residuales al sistema de alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia.

Para ello, se contó con el plano de alcantarillado sanitario de la ciudad de Liberia. Dicho plano fue actualizado en el año 1994. Se procedió a enumerar cada uno de los cuadrantes respectivos para su identificación. Debido a que el interés del estudio en este punto eran los entes generadores de agua residual no doméstica (comercial) se procedió a establecer una lista sobre cuáles eran los más importantes a estudiar y cuáles obviar, según las experiencias encontradas en la zona. La lista de códigos y comercios final fue la siguiente:

Tabla 5.1 Código y tipo de comercio a localizar mediante el plano de alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia, Guanacaste.

Código del comercio	Comercio
01	Supermercados
02	Sodas – Restaurantes
03	Carnicerías
04	Peluquerías
05	Hoteles
06	Talleres
07	Bombas
08	Mercado
09	Clínicas u Hospitales
10	Escuelas
11	Panaderías.
12	Molinos

Posteriormente se diseñó una encuesta para aplicarla a cada uno de los comercios localizados.

Para la localización de los comercios, se procedió a recorrer cada uno de los cuadrantes de la ciudad. Cuando se encontraba un comercio de interés se anotaba su localización en el plano de alcantarillado sanitario, el código de comercio, se realizaba la encuesta y finalmente se revisaba la caja registro previa a la conexión al alcantarillado en busca de obstrucciones, depósitos de grasas, rupturas, entre otras observaciones. Posterior a ello se le informaba al dueño o administrador la importancia de no tirar desechos sólidos (como restos de alimentos, pieles de pollo, carne cruda, entre otros) a través de la tubería del alcantarillado, a parte de las labores de mantenimiento de las mismas.

5.1 Análisis físico – químicos y bacteriológicos de las descargas al alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia por parte de entes generados de aguas residuales no domésticas.

Previo al muestreo, se indagó sobre las actividades del ente generador que demandan vertidos importantes de agua residual.

El proceso de selección se llevó a cabo considerando los siguientes aspectos:

- a. Antecedentes reportados en la zona.
- b. Elevados caudales de los efluentes
- c. Sospechas de la presencia de sustancias tóxicas que alterarían la dinámica biológica que se lleva a cabo en el sistema de lagunas.

Seleccionado el ente generador a analizar se empleó un muestreo compuesto de 4 horas en el cual se tomaron volúmenes cada 30 minutos en un punto de conexión al alcantarillado sanitario. Debido a la dificultad de medir el caudal de agua residual se estableció un volumen fijo de 4 litros para la preparación de la muestra compuesta.

En dicha campaña se preparó una muestra compuesta de 4 litros de la cual se vertió en recipientes apartes a cada 30 minutos 500 ml de agua residual en un galón para preparar la muestra compuesta. De ella se tomó 500 ml para la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), 500 ml para la Demanda química de oxígeno (DQO), 1 litro para las sustancias activas al azul de metilo y 1 litro para los Sólidos suspendidos (SS) y Sólidos sedimentables (SSed). Las muestras para grasas y aceites no se vertieron en tales galones, sino que se agregó 167ml de agua residual directamente a 2 recipiente de vidrio de 1 litro cada media hora. Todas las muestras fueron transportadas en hielo hasta el laboratorio y preservadas químicamente según el parámetro a analizar. Se procuró no sobrepasar las 24 horas de viabilidad de las mismas.

En lo que respecta a la preservación de las muestras se empleó 5 ml de Ácido sulfúrico para la DQO, 5 ml de Ácido clorhídrico para las grasas y aceites.

El laboratorio seleccionado para la realización de los análisis fue el Laboratorio de Servicios Químicos y Microbiológicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (CEQIATEC). Todos los análisis se realizaron de acuerdo con los métodos establecidos en el Estandar Methods for the examination of water and wastewater 19th e. 1995 APHA-AWWA-WPCF.

5.2 Análisis Hidráulicos, físico – químicos y bacteriológicos de cada una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas durante varias campañas de muestreo.

Los muestreos y los aforos se realizaron en 4 días diferentes. El siguiente cuadro resume las fechas y horas de realización de cada uno.

Tabla 5.2 Fecha e intervalos de tiempo para los aforos y la toma de muestras en la evaluación del sistema de lagunas facultativo de Liberia, Guanacaste.

Número	Fecha	Intervalo de tiempo
Muestreo 1	Miércoles 12 - 7-2000	8:00 am a 2:00 am
Muestreo 2	Jueves 17-8-2000	6:00 am a 12:00 am
Muestreo 3	Lunes 21 –8-2000	6:00 am a 12:00 am
Muestreo 4	Martes 29-8-2000	6:00 am a 12:00 am

5.2.1 Caudal del afluente y del efluente, Tiempo de retención hidráulico y cálculos de la carga orgánica.

Se determinó el caudal del afluente en forma volumétrica en la entrada de la laguna primaria 1, en la entrada de la laguna secundaria 3 (la cual recibe el agua proveniente de la laguna número 1) y en la salida de la laguna número 3. Su determinación fue volumétrica al no contarse con un canal Parshall. El siguiente diagrama indica los lugares en los cuales se realizaron los aforos.

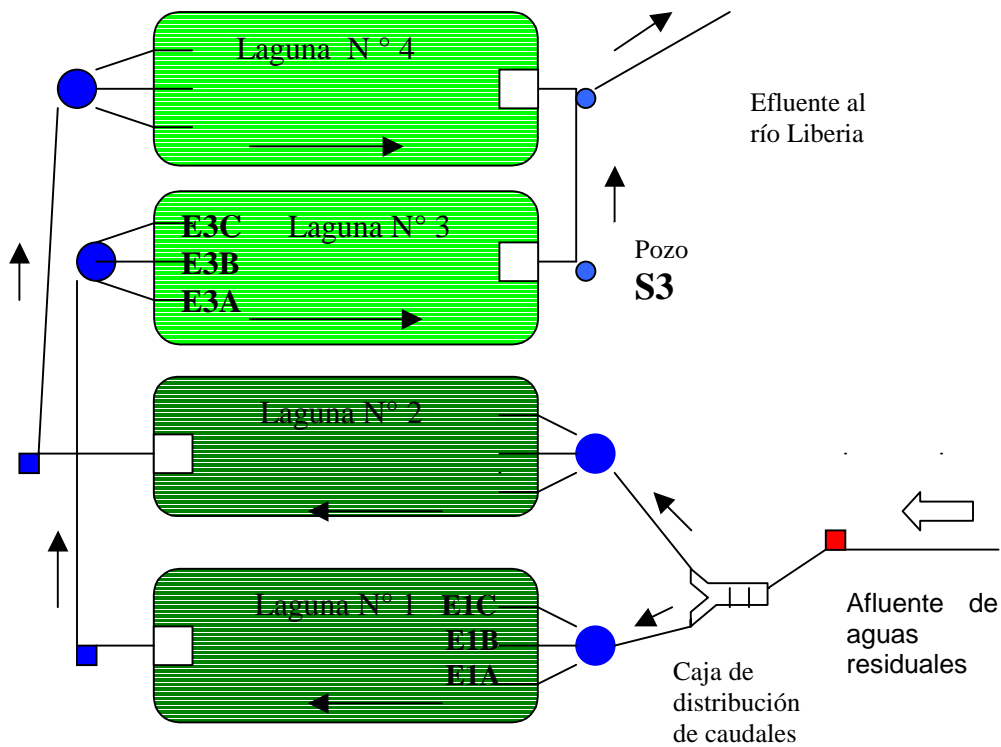


Figura 5.1. Puntos en las lagunas N° 1, N° 2, N°3 y N° 4 en los cuales se realizaron los aforos.

Se estableció que la caja de distribución de caudales de la entrada al sistema de lagunas reparte el afluente en una relación del 50 % para la laguna primaria 1 y 50 % para la laguna primaria 2. Para llegar hasta la boca de los tubos de entrada a la laguna 1 (**E1A, E1B y A1C**) se empleó un bote, dado que se encuentran a una distancia de 6 metros del borde. El utensilio a aforar era un balde de 15 litros. El tiempo de llenado del balde fue medido con un cronómetro cada aforo se repitió 3 veces para establecer un promedio.

La fórmula empleada a cada hora fue la siguiente:

$$(1) \mathbf{Q \text{ lag. 1}} = (15/X \text{ tiempo E1A}) + (15/X \text{ tiempo E1B}) + (15/X \text{ tiempo E1C}) = \text{L/s}$$

Para la fórmula anterior, la simbología significa:

Q lag. 1: Caudal (L/s) afluente de la laguna 1

15: volumen en litros del recipiente empleado en los aforos

X tiempo E1A: promedio en segundos de finalizado el aforo en el primer tubo de la laguna 1

X tiempo E1B: promedio en segundos de finalizado el aforo en el segundo tubo de la laguna 1

X tiempo E1C: promedio en segundos de finalizado el aforo en el tercer tubo de la laguna 1

Para la entrada al sistema de lagunas fue al siguiente:

$$(2) \mathbf{Q \text{ entrada al sistema}} = ((15/X \text{ tiempo E1A}) + (15/X \text{ tiempo E1B}) + (15/X \text{ tiempo E1C})) \times \mathbf{2} = \text{L/s}$$

de tal modo que los componentes de la fórmula empleada tienen los mismos significados que la fórmula indicada anteriormente.

El caudal de entrada a laguna 3 (el mismo de salida de la laguna primaria 1) se determinó del mismo modo y con la misma fórmula desarrollada para la laguna 1

El aforo de la salida de la laguna 3 se determinó en el pozo de salida de la misma, para lo cual se aprovechó una caída de agua. Se emplearon los mismos intervalos de tiempo y cada aforo se repitió 3 veces para establecer un promedio.

La fórmula empleada para el caudal de salida de la laguna 3 fue la siguiente:

$$(3) \text{ Q efluente lag 3} = 15/Xt \text{ en seg} = \text{L/s},$$

para lo cual :

Q efluente lag 3 : corresponde al caudal (L/s) del efluente de la laguna 3,

15: volumen en litros del recipiente a aforar

Xt: corresponde a la media en segundos del llegado del recipiente a aforar.

Para la salida del sistema de lagunas se empleó la siguiente fórmula:

$$(4) \text{ Q efluente del sistema} = (15/Xt \text{ en seg.}) \times \mathbf{2} = \text{L/s}$$

La determinación del caudal del afluente se realizó en forma volumétrica y en 3 días diferentes. La hora de los aforos en las campañas 2 y 3 fueron entre las 8:00 a.m. a las 2:00 p.m., mientras que para la campaña 1 fue de 6:00 a.m. a 12:00 a.m..

Los datos para el cálculo de la capacidad volumétrica de la **laguna 1** fueron los siguientes:

Largo de la laguna 1: 235 m

Ancho de la laguna 1: 65 m

Nivel del agua desde el fondo a la superficie: 1.85 m

Por lo tanto, la superficie total de la laguna 1 fue: $235 \text{ m} \times 65 \text{ m} = \mathbf{15\ 275 \text{ m}^2}$

El volumen de la laguna 1 fue: $235 \text{ m} \times 65 \text{ m} \times 1.85 \text{ m} = \mathbf{28\ 259 \text{ m}^3}$.

Para la **laguna 3** se consideró:

Largo de la laguna 3: 235 m

Ancho de la laguna 3: 80 m

Nivel del agua desde el fondo de la laguna a la superficie: 1.5 m

Por lo tanto la superficie de la laguna 3 correspondió a: $235 \text{ m} \times 80 \text{ m} = \mathbf{18\ 800 \text{ m}^2}$

El volumen de la laguna 3 fue: $235 \text{ m} \times 80 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} = \mathbf{28\ 200 \text{ m}^3}$.

La evaporación por día para el mes julio fue de 0.0058 m/d y para el mes de 0.0053 m/d según datos reportados por el Instituto Meteorológico Costarricense.

Con base en ellos se calculó los tiempos de retención hidráulicos para cada una de las lagunas empleando la siguiente fórmula:

(5) $\mathbf{TRH = V / Q_e + Ev.}$ = días, en la cual cada componente de la fórmula significa:

TRH: tiempo de retención hidráulico en días.

5.2.3 Toma de muestras para análisis en el laboratorio

Se decidió realizar un muestreo compuesto de 20 horas. En el sistema de lagunas se seleccionaron 6 puntos en los cuales se tomarían muestras para la realización de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. El siguiente esquema muestra los puntos en los cuales se tomaron las muestras.

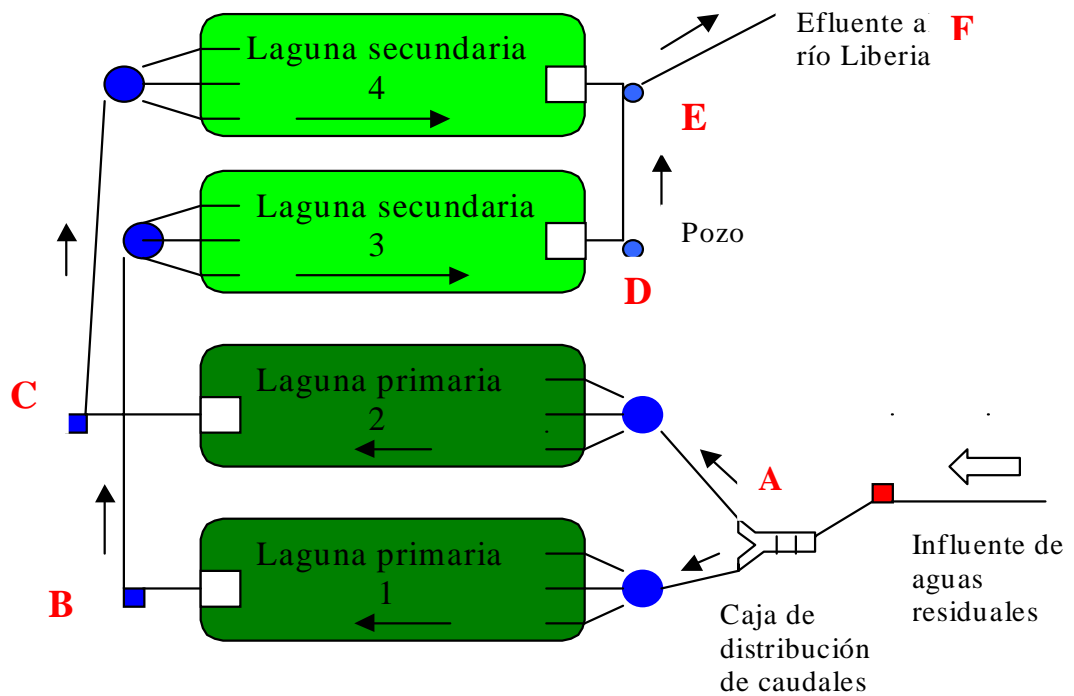


Figura 5.3. Puntos de muestreo para los análisis de laboratorio en el sistema de lagunas.

En el mismo intervalo de tiempo de los aforos se tomó dos litros de agua en los puntos: Entrada al Sistema (**A**), Salida de la laguna N° 1(**B**) y en la Salida de la laguna N°2 (**C**), un litro en los Salida de la laguna N° 3 (**D**), Salida de la laguna N° 4 (**E**) y En el Efluente final del sistema de lagunas (**F**). En A, B y C un litro era vertido en un cono imhoff para la determinación de los sólidos sedimentables y al otro litro de muestra se le calculaba el pH, temperatura, conductividad, a parte de la temperatura ambiental *in situ*. Posteriormente, el agua se vertió en una bolsa etiquetada y se guardó en hielo con Cloruro de sodio hasta la preparación de la mezcla compuesta. Esto último se le realizó al litro de muestra de los puntos D, E y F.

Finalizado el muestreo se preparó la muestra compuesta que sería llevada al Laboratorio Nacional de Aguas. Para ello se establecieron los mililitros de muestra a tomar con base al caudal a la hora de recolectar la muestra. La metodología fue la misma para las muestras de los 6 puntos en análisis

La fórmula empleada fue: (6)

$$\text{ml de muestra conservada} = \frac{Q1 \times 3\,500 \text{ ml}}{Q2}$$

donde:

- Q1:** corresponde al caudal a la hora de tomada la muestra
- Q2 :** sumatoria del caudal total en las 20 horas de tomada la muestra
- 3500 ml:** volumen final de la muestra compuesta

Preparada la muestra compuesta se tomaron 600 ml para realizar la fijación del oxígeno disuelto en el campo y 100 ml para los análisis bacteriológicos. Ambos procedimientos tal como lo establece el “Estandar Methods for the examination of water and wastewater 19 ed. 1995 APHA-AWWA-WPCF.”

Las muestras se colocaron en hieleras con hielo para ser transportadas lo antes posible al Laboratorio Nacional de Aguas en Tres Ríos, Cartago.

En el Laboratorio los análisis realizados fueron: DBO₅ (total y filtrada en el efluente final), DQO, COT, pH, Conductividad, Grasas y aceites, Sólidos totales, Sólidos suspendidos totales y Sólidos sedimentables. Los análisis siguieron la metodología del “Standard Methods for the examination of water and wastewater 19 ed. 1995 APHA-AWWA-WPCF.”

5.2.4 Análisis bacteriológicos

La metodología empleada en el campo fue la misma indicada anteriormente. Dichos análisis fueron efectuados por el personal del área de microbiología del Laboratorio Nacional de Aguas.

Únicamente se determinó la cantidad de coliformes fecales para cada muestra mediante la técnica del número más probable (NMP) y en algunas muestras la cantidad de *Escherichia coli* también mediante NMP

5.3 Identificación de las microalgas predominante en cada de una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas de Liberia.

Se llevaron a cabo 2 campañas de muestreo en días diferentes. En el muestreo 1, la toma de muestra fue superficial a una distancia de 1 m del borde de cada laguna. En el muestreo 2 las muestras se tomaron a una profundidad de 15 cm por debajo del nivel del agua a 20 m de cada borde de la laguna, aproximadamente. La figura 4 para la determinación de la altura de los lodos indica los puntos en los cuales se recolectaron las muestras para la segunda campaña.

Las muestras en el punto “río arriba” se tomaron a 25 m de la descarga y las del punto “río abajo” a 25 m, 50 m y 100 m de la misma.

Para las muestras puntuales y del río la cantidad de agua que se recolectó fue de 200 ml: a 100 ml se le agregó 2 ml de lugol y a los otros 100 ml no se le aplicó ningún preservante. Inmediatamente tomada la muestra se determinó la temperatura y pH del agua residual. Cada muestra se colocó en una bolsa plástica para su transporte hasta el laboratorio.

En la preparación de la muestra compuesta se tomó 100 ml de agua residual en 4 puntos del costado norte, 4 del costado sur, uno en la entrada a la laguna y otro hacia la salida. Finalizada la recolección en dichos puntos se tomó 100 ml de la muestra compuesta y se le agregó 2 ml de lugol. También se transportó al laboratorio 100 ml de la mezcla en estado fresco.

Para la identificación de las microalgas se emplearon las claves dicotómicas Prescott, 1970; Aquatic organisms 1993 y la parte de la experiencia personal.

6 RESULTADOS

6.1 Identificación de las principales descargas no domésticas vertidas sus aguas al sistema de alcantarillado sanitario de Liberia.

El siguiente cuadro resume los entes generadores no domésticos identificadas y su cantidad encontrados durante el recorrido en el campo

Tabla 6.1 Número de comercios conectados al alcantarillado sanitario de Liberia según su actividad localizados durante el recorrido por el área en estudio.

Código	Ente generador	Cantidad encontrada
01	Supermercados	3
02	Sodas, restaurantes y bares	22
03	Carnicerías	7
04	Peluquerías y barberías	3
05	Hoteles	4
06	Talleres	2
07	Bombas	2
08	Mercados *	3
09	Hospitales	1
10	Escuelas	3
11	Panaderías	1
12	Molinos	1
13	Mercado viejo	3 sodas
14	Mercado Municipal	4 carnicerías, 6 sodas
15	Mercado de la Parada	4 sodas
TOTAL		69

Fuente: datos de campo

Nota: * Liberia cuenta con 3 mercados.

Tal como se observó la mayoría de las descargas no domésticas correspondieron a sodas y restaurantes (22 junto a las del mercado) seguidas de las carnicerías. No hubo ningún ente generador de grandes proporciones en cuanto a elevados caudales o descargas de alta toxicidad, a excepción del hospital de La ciudad de Liberia Dr. Enrique Baltodano.

Fue común encontrar varios comercios y casas conectados a un mismo sifón para el desagüe de las aguas residuales. La mayoría de los comercios correspondieron a sodas o restaurantes, aparte que las conexiones múltiples eran tanto con otros comercios como con casas.

Las descargas que presentaron mayores problemas y que pueden afectar la dinámica biológica fueron:

a. Sodas y restaurantes

b. Talleres, bombas y lubricentros

c Hoteles

c. Mercados

e Hospital Dr. Enrique Baltodano

6.2 Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las descargas al alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia por parte de entes generados de aguas residuales no domésticas.

En vista de la gran cantidad de restaurantes y sodas con problemas y por tratarse de comercios reducidos se decidió no tomarles muestras para análisis fisicoquímicos ni bacteriológicos. Era de esperar en ellas graves problemas por la presencia de grasas, principalmente y el caudal que aportaban era bajo.

El ente generador seleccionado para la toma de muestras correspondió al Hospital de La ciudad de Liberia Dr. Enrique Baltodano. Los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos se muestran a continuación.

6.2.1 Campaña de muestreo

Los análisis indican que el efluente del hospital por poco no cumplió con varios parámetros fisicoquímicos de los normados ni tampoco con los bacteriológicos, tal como se observa en el siguiente cuadro

Tabla 6.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados al efluente del Hospital de La ciudad de Liberia en la primera campaña de muestreo.

Parámetro	Valor reportado	Valor máximo	Valoración
DBO	154 mg/L	300 mg/L	cumple
DQO	300 mg/L	1 000 mg/L	cumple
Sólidos sedimentables	1 ml/L	1 ml/L	cumple
Sólidos suspendidos	53 mg/L	500 mg/L	cumple
Grasas y aceites	14.5 mg/L	100 mg/L	cumple
Conductividad	400 us/cm	-	**
pH	7.84	6 a 9	cumple
Sustancias activas al azul de metileno	9.0 mg/L	10 mg/L	cumple
Temperatura media*	38 °C	< a 40 °C	cumple
Coliformes totales	4.6+E7/100 ml	-	**
Coliformes fecales	1.1+E6/100 ml	<1000/100	No cumple

Fuente: reporte del laboratorio CEQIATEC

Nota: * fue determinado al tomar las muestras

** parámetros no normados.

Varios de los parámetros en los cuales sí cumple para el vertido de aguas residuales al alcantarillado sanitario tienden al límite máximo permisible.

6.3 Análisis físico – químicos y bacteriológicos de cada una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas durante varias campañas de muestreo.

6.3.1 Análisis de los datos de campo generados durante las 4 campañas de muestreo

6.3.1.1 Precipitaciones previas a las campañas de muestreo.

En la campaña de muestreo 1 no se presentaron precipitaciones en el momento del muestreo ni días antes a llevarse a cabo el mismo, por lo tanto se afirma predominio de condiciones secas. Contrario a ello en las campañas 2 y 4 hubo fuertes precipitaciones en los días anteriores, principalmente durante la campaña de muestreo 4. En la campaña 3 no llovió el día anterior ni en el momento de las campañas pero sí en los días previos.

6.3.1.2 Caudales

Caudal del afluente al sistema de lagunas

El siguiente cuadro indica los valores determinados de cada afluente a las diversas horas.

Tabla 6.3 Caudales (L/s) máximos, mínimos y medios determinados en la entrada al Sistema de lagunas de Liberia durante 3 campañas de aforos.

Muestreo	Caudal máximo (L/s)	Hora	Caudal mínimo (L/s)	Hora	Caudal promedio (L/s)	Desviación estandar
1 (M)	38.96	12:25 pm	14.50	2:00 am	27	9.8
2 (L)	48.62	12:00 pm	11.24	2:00 am	34	10.4
3 (J)	42.82	10:00 am	12.00	2:00 am	31	9.7

Fuente: datos de campo.

Nota: M: miércoles, L: Lunes, J: jueves. Las campañas de aforos fueron de 20 horas.

El siguiente gráfico esquematiza los datos anteriores.

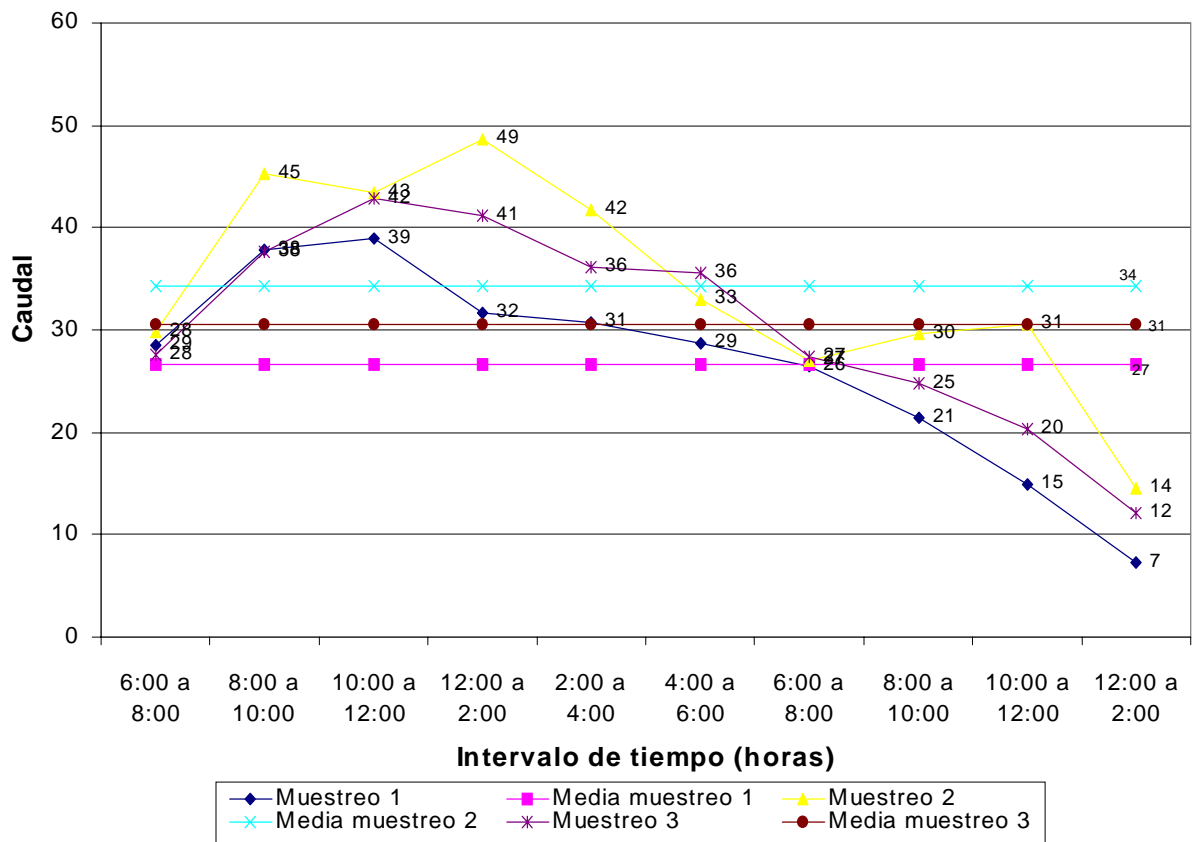


Figura 6.1 Caudales (L/s) del afluente del Sistema de lagunas de Liberia en 3 campañas de aforos.

Con base en los resultados se estimó como caudal promedio de entrada 31 L/s lo cual equivale a 2 678 m³/d. En el afluente no prevalecen los dos picos de caudal máximo; únicamente se observó en la campaña de muestreo 2.

El menor caudal correspondió al de la campaña de aforos 1, período en el cual no se registraron lluvias en los días previos, mientras que el máximo durante la campaña de muestreo 4 debido a la precipitación del día anterior.

Con respecto a las desviaciones estándares estas oscilaron entre los 9.7 a 10.4 L/s en cada campaña de muestreo. Se observaron variaciones de caudal de ingreso al sistema de lagunas a lo largo del día. Cabe destacar que no hay muchas diferencias entre los valores de las 3 campañas y por lo tanto los datos son representativos entre sí.

Caudales del afluente a las lagunas secundarias.

Los aforos se realizaron dentro del mismo intervalo de tiempo en el que se llevaron a cabo los aforos anteriores.

Tabla 6.4 Caudales (L/s) máximos, mínimos y medios determinados en la entrada de las lagunas secundarias del Sistema de lagunas de Liberia durante 4 campañas de aforos.

Muestreo	Caudal máximo (L/s)	Hora	Caudal mínimo (L/s)	Hora	Caudal promedio (L/s)	Desviación estandar
1 (M)	23	2:20 pm	18	2:45 am	21.3	0.82
2 (J)	30	6:15 pm	15	12:45 am	25.1	2.2
3 (L)	27	10:38 am	14	12:30 am	22.9	4
4 (K)	34	10:27 am	29	12:30 am	32.2	0.66

Fuente: datos de campo.

Nota: M: miércoles, J: jueves, L: lunes, K: martes. Las campañas de aforos fueron de 20 horas.

La media del afluyente para las lagunas secundarias fue de 25.4 L/s lo cual equivale a 2 195 m³/d. La campaña de muestreo 1 exhibió su máximo valor de caudal a las 2:00 pm mientras que las campañas de muestreo 2 y 3 lo tuvieron entre el intervalo de tiempo de 4:00 a 10:00 pm. La campaña número 4 fue muy constante tal como se observa a continuación:

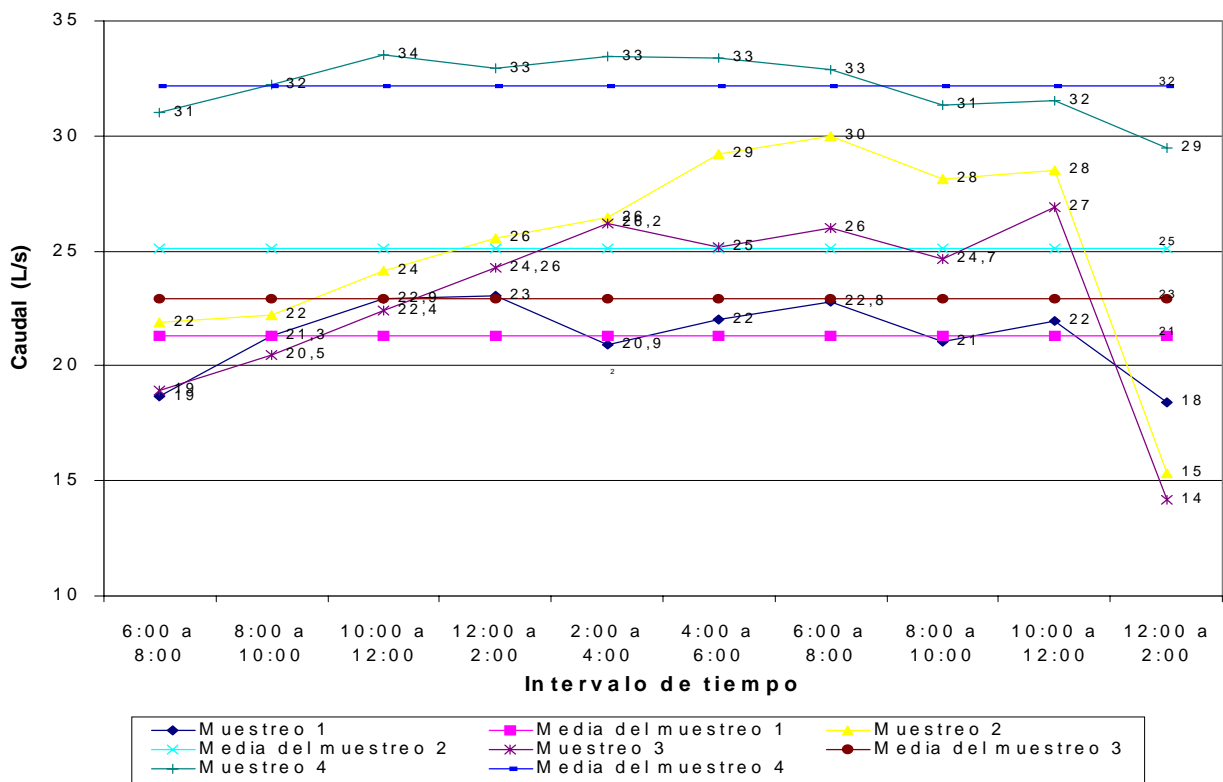


Figura 6.2 Caudales (L/s) de entrada a las lagunas secundarias de Liberia en las 4 campañas de aforos.

Durante las campañas 1 y 3 los aforos no mostraron grandes diferencias con respecto a la media al punto que solo fue ligeramente notable su descenso en la noche. Algo similar ocurrió durante la campaña de aforos 2 pero los niveles de agua subieron en el intervalo de tiempo de 4:00 a 10:00 pm.

Con respecto a las desviaciones estándares a lo largo del día se observó que las mayores ocurrieron en las campañas 2 y 3 y la menor en la 4.

Caudales del efluente de las lagunas secundarias.

La salida del agua por parte de estas lagunas fue mucho más constante que en los datos reportados anteriormente así mismo, en general, no hay grandes diferencias con respecto a la media.

Tabla 6.5 Caudales (L/s) máximos, mínimos y medios determinados en la salida de las lagunas secundarias del Sistema de lagunas de Liberia durante 4 campañas de aforos.

Muestreo	Caudal máximo (L/s)	Hora	Caudal mínimo (L/s)	Hora	Caudal promedio (L/s)	Desviación estandar
1 (M)	17	12:11 pm	10	3:05 am	13	2.0
2 (J)	28	2:50 am	15	4:12 pm	21	3.3
3 (L)	20	4:00 pm	13	6:30 pm	16	2.1
4 (K)	46	12:30 pm	30	6:00 am	35	6.0

Fuente: datos de campo.

Nota: M: miércoles, J: jueves, L: lunes, K: martes

Las campañas de aforos fueron de 20 horas.

En forma más explícita, la información se indica en el siguiente gráfico

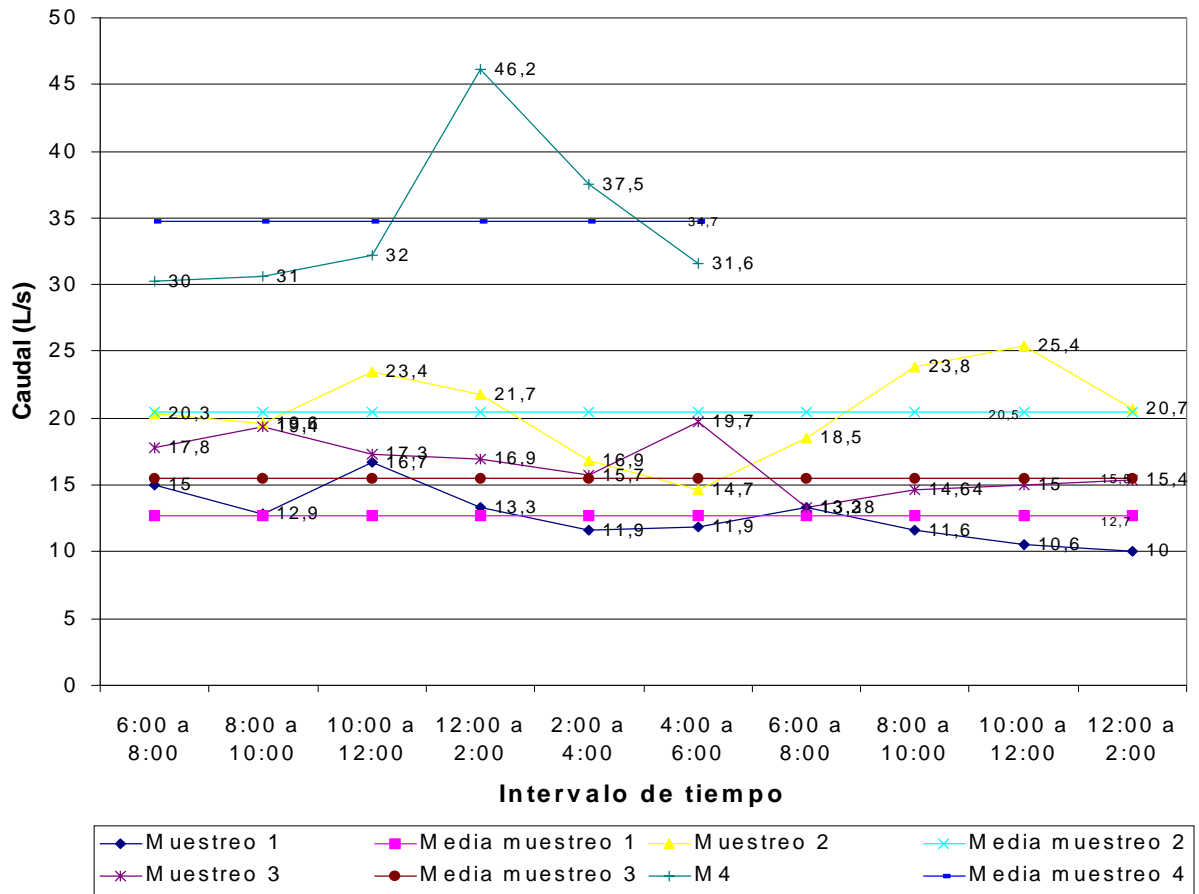


Figura 6.3 Caudales (L/s) del efluente del Sistema de lagunas de Liberia en las 4 campañas de aforos y muestreos.

Durante la campaña de muestreo 4 prevaleció un excesivo aumento de caudal a causa de las precipitaciones de los días anteriores, contrario a lo observado en las campañas 1 y 3. No fue posible establecer un intervalo de tiempo en el cual se encontrara las máximas y mínimas descargas para todo el sistema de lagunas. La media de la descarga fue de 21.2 L/s lo cual equivale a 1 832 m³/d, considerando el efluente registrado en la campaña de muestreo 4, el cual aporta un 70 % del valor total y debido a ello bajo condiciones de sequía se estimó un menor caudal del efluente.

El siguiente gráfico resume en metros cúbicos los caudales reportados.

Caudal (m³/d)

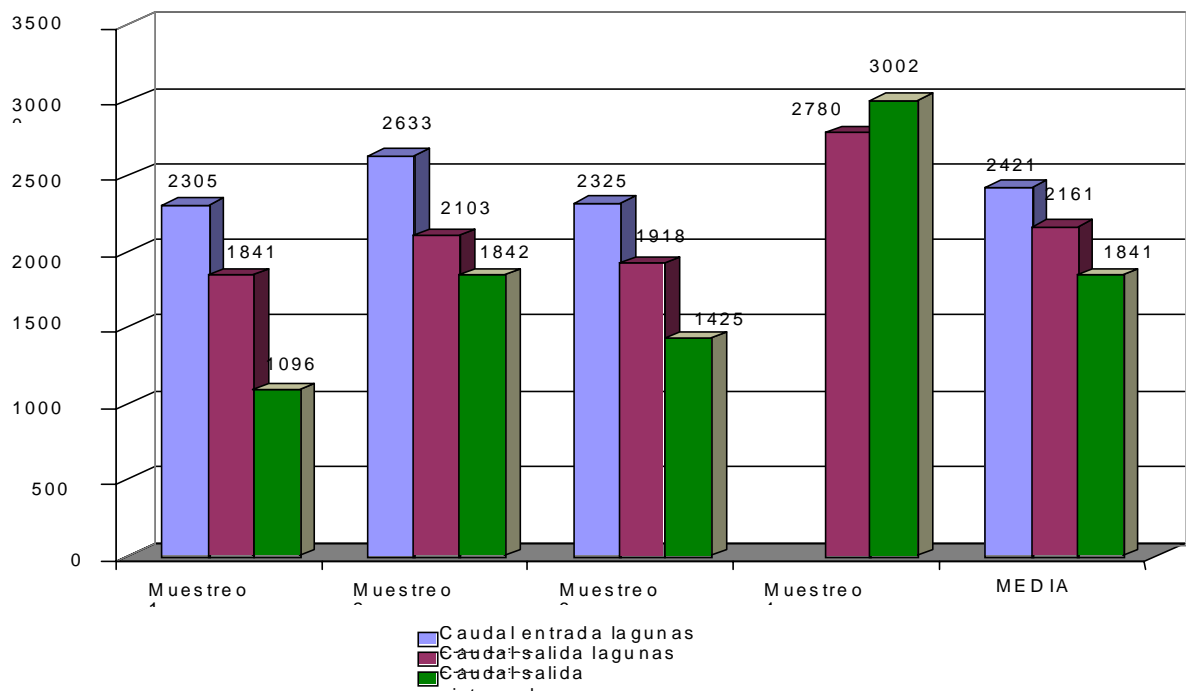


Figura 6.4 Caudales en metros cúbicos reportados para el Sistema de lagunas de Liberia en las 4 campañas de aforos y muestreos.

6.3.1.3 Tiempos de retención hidráulicos (TRH)

Los cuadros 16 y 17 resumen los valores obtenidos en cada campaña de muestreo.

Tabla 6.6 Tiempos de retención hidráulicos (TRH) en días determinados en 4 campañas de muestreo para la laguna 1 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Muestreo	Q efluente lag. 1 (m ³ /d)	Evaporación (m ³ /d)	Infiltración (m ³ /d)	TRH laguna 1 (días)
1 Miércoles	920	88.6	v.n.d.	28.0
2 Jueves	1 084	81.0	v.n.d.	24.0
3 Lunes	989	81.0	v.n.d.	26.4
4 Martes	1 391	81.0	v.n.d.	19.2
MEDIA	1096	82.9	-	24.3

Fuente: datos de campo

Nota. Los caudales al promedio de aforos realizado durante 20 horas.

v.n.d.: valor no dado para la realización del estudio.

La media empleada para referirse al TRH de las lagunas primarias fue de 24.3 días. A pesar de ello se observaron importantes diferencias entre las campañas de muestreo llevadas a cabo bajo condiciones de sequía en comparación bajo condiciones de lluvia en horas previas a la precipitación.

Con respecto a los tiempos de retención hidráulicos de la laguna secundaria 3 se empleó la misma fórmula indicada anteriormente con la diferencia de que se empleó el caudal del efluente de la laguna 3. Los resultados se presentan a continuación

Tabla 6.7 Tiempos de retención hidráulicos (TRH) días determinados en 4 campañas de muestreo para la laguna 3 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Muestreo	Q efluente lag.3 (m ³ /d)	Evaporación (m ³ /d)	Filtración (m ³ /d)	TRH laguna 3 (días)
1 Miércoles	562	88.6		43.3
2 Jueves	907	81.0		28.5
3 Lunes	691	81.0		36.5
4 Martes	1512	81.0		17.7
MEDIA	918	82.9		31.5

Fuente: datos de campo

Nota. Los caudales al promedio de aforos realizado durante 20 horas.

En la laguna secundaria 3 se estimó un TRH superior al determinado para la laguna primaria 1.

Se estableció como valor medio del TRH para la laguna 3 de 31.5 días, el cual es 1.3 veces mayor al reportado para las lagunas primarias.

Para conocer el TRH de todo el sistema de lagunas se sumó el TRH de la laguna 1 y el TRH de la laguna 3. En total el Sistema de lagunas de La ciudad de Liberia presentó un período de retención hidráulico medio de **55.8 días** durante las 4 campañas de muestreo.

6.3.1.4 Carga orgánica y Carga orgánica superficial

Fue notable la disminución de la DBO del afluente indicada para los muestreos de 20 horas en comparación con la empleada en la realización de los parámetros de diseño, la cual se tomó de los reportes operacionales emitidos por el Laboratorio Nacional de Aguas en condiciones de caudal máximo.

Los siguientes cuadros resumen los resultados obtenidos calculados con base a la DBO de entrada para la laguna facultativa N° 1 como para la N° 3.

Tabla 6.8 Carga orgánica (CO) y Carga orgánica superficial (CS) determinadas en 4 campañas de muestreo para la laguna 1 del sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste

Muestreo	DBO Entrada (Kg/m ³)	Q Entrada (m ³ /d)	CO (Kg DBO/d)	CS (Kg DBO/d*ha)	
1	Miércoles	0.198	1 166.4	230	152
2	Jueves	0.128	1 468.8	188	124
3	Lunes	0.220	1 339.2	295	194
4	Martes	0.177	-	-	-
MEDIA		0.180	1 324.8	238	157

Nota. Los caudales corresponden al promedio de aforos realizado durante 20 horas.

Se reportaron mayores cargas orgánicas y cargas orgánicas superficiales cuando prevalecieron condiciones secas tal como se observa en las campañas de muestreo 1 y 3.

Tabla 6.9 Carga orgánica (CO) y Carga orgánica superficial (CS) determinadas en 4 campañas de muestreo para la laguna 3 del sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Muestreo		DBO Entrada (Kg/m ³)	Q Entrada (m ³ /d)	CO (Kg DBO/d)	CS (Kg DBO/d*ha)
1	Miércoles	0.041	920	38	20
2	Jueves	0.048	1 084	52	28
3	Lunes	0.048	989	47	25
4	Martes	0.060	1391	83	44
MEDIA		0.049	1 096	55	29

Nota. Los caudales al promedio de aforos realizado durante 20 horas.

Se reporta similitud entre los datos de las 3 primeras campañas de muestreo. Lo indicado para la campaña 4 prácticamente duplica a los valores de las 3 campañas de muestreo previas. Los datos anteriores se muestran en el siguiente gráfico.

CO (Kg DBO/*d)

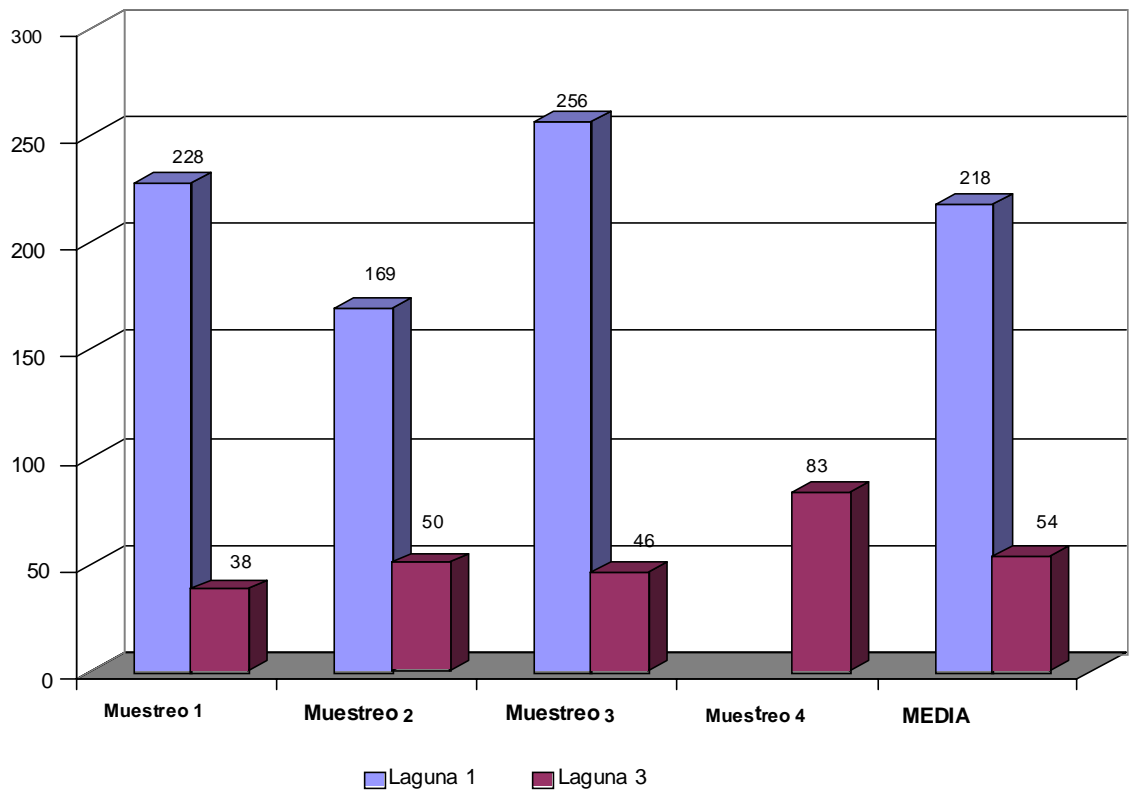


Figura 6.5 Cargas orgánicas (KgDBO/d) determinadas durante 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

CS (Kg DBO/ha*d)

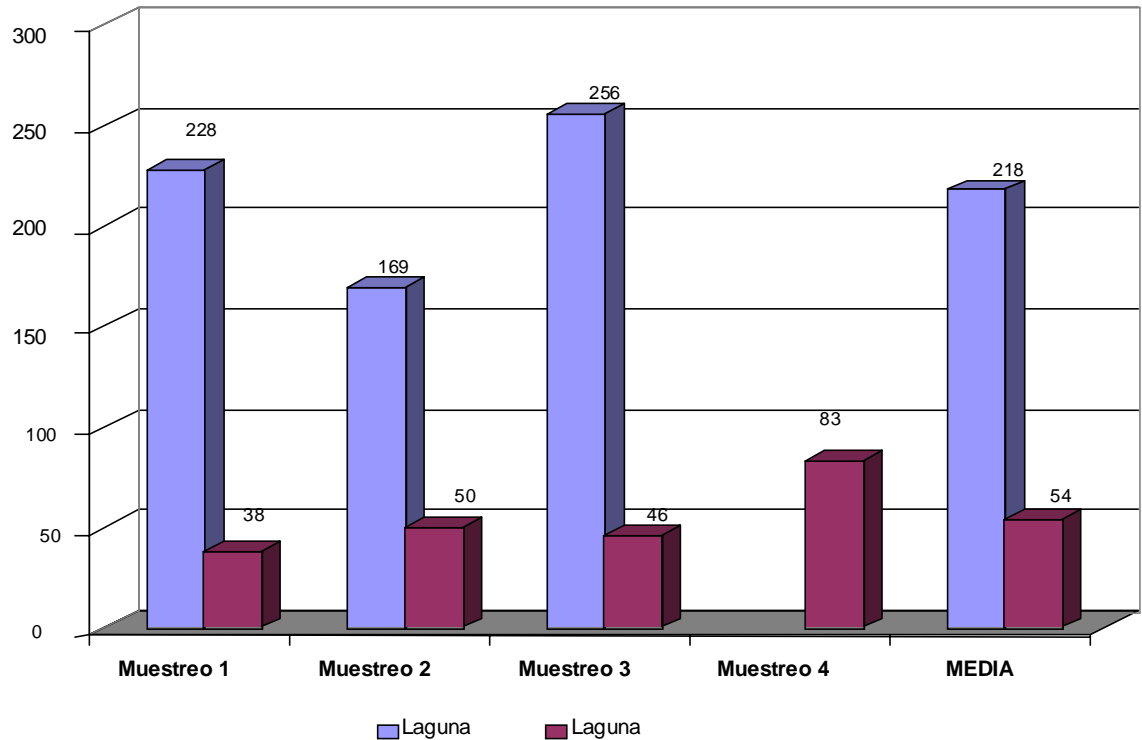


Figura 6.6 Cargas orgánicas superficiales (KgDBO/ha*d) determinadas durante 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

6.3.2 Datos de campo determinados durante las 4 campañas de muestreo.

Con el fin de organizar la presentación de los datos obtenidos se decidió agruparlos en 4 categorías:

- a. **Entrada al sistema de lagunas**
- b. **Salida de las lagunas primarias**
- c. **Salida de las lagunas secundarias**
- d. **Salida del sistema**

6.3.2.1 Entrada al sistema de lagunas

Temperatura del agua

Los valores oscilaron entre los 26 °C a 30 °C. Las temperaturas mayores se encontraron entre el intervalo de las 10:00 am a las 4:00 pm, y descendieron durante la noche. Lo anterior ocurrió durante las 4 campañas de muestreo.

Tabla 6.10 Temperatura del agua (°C) en la entrada al sistema de lagunas durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Muestreo	Temperatura °C Máxima	Temperatura °C Mínima	Promedio °C
1	30	27	29
2	30	26	28
3	30	27	28
4	30	28	29

Fuente: datos de campo.

Se observó cierta regularidad en dichos valores entre las 4 campañas de muestreo. Una temperatura máxima del afluente de 30 °C y mínima de 26 °C no afecta la dinámica biológica que se lleva a cabo en el sistema de lagunas.

Temperatura del ambiental

La ciudad de Liberia se caracteriza por poseer temperaturas altas a lo largo del año. Los datos obtenidos se indican a continuación.

Tabla 6.11 Temperatura ambiental (°C) en la entrada del sistema durante 3 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste

Muestreo	Temperatura °C	Temperatura °C	Promedio °C
	Máxima	Mínima	
1	-	-	-
2	38	25	29
3	36	27	29
4	36	24	29

Fuente: datos de campo.

La media no varió en ninguna de las 3 campañas de muestreo, a pesar de que se presentaron condiciones nubladas y de lluvia. A lo largo del período de 20 horas las temperaturas fueron superiores a los 24 °C y en ningún momento superaron los 40 °C

Sólidos Sedimentables

En las determinaciones no hay similitud entre las campañas de muestreo ni entre las horas en las cuales estos se realizaron.

Tabla 6.12. Sólidos sedimentables (ml/L) en la entrada al sistema de lagunas durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Muestreo	SSed (ml/L) Máxima	SSed (ml/L) Mínima	Promedio (ml/L)
1	11	4	6
2	8	0	5
3	7	0	4
4	4	2	2

Fuente: datos de campo.

Se apreció un incremento en la cantidad de sólidos en la campaña de muestreo 1, sin condiciones de lluvia previa, con respecto a la campaña 4 en la que imperaron chubascos horas previas a su inicio.

Conductividad eléctrica

Hubo variaciones en la misma a las diferentes horas del día y entre las campañas, por lo tanto no fue posible reportar un valor típico para una hora específica en el afluente.

Tabla 6.13. Conductividad eléctrica (us/cm) en la entrada al sistema de lagunas durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Muestreo	Conductividad (us/cm) Máxima	Conductividad (us/cm) Mínima	Promedio (us/cm)
1	665	370	468
2	765	538	587
3	825	530	613
4	588	370	505

Fuente: datos de campo

Los valores más altos se determinaron en las primeras horas de la mañana en todas las campañas de muestreo. Posteriormente aumentaron en forma paulatina pero no llegaron a estabilizarse. Las medias reflejaron las diferencias entre cada una de ellas. Los valores oscilan entre los 825 us/cm en la campaña 3 hasta 370 us/cm en la campaña 1.

Potencial de hidrógeno

Los datos recolectados se muestran a continuación:

Tabla 6.14. Potencial de hidrógeno determinado en la entrada al sistema de lagunas durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Muestreo	pH Máximo	pH Mínimo	Tendencia
1	8.0	6.6	7.3
2	7.5	6.4	7.0
3	8.0	7.0	7.5
4	8.1	6.2	7.4

Fuente: datos de campo

Los valores determinados durante las 4 campañas oscilan entre 6.0 y 8.14, mientras que las medias entre 7 a 7.5. El pH tuvo una conducta similar durante las 4 campañas de muestreo, disminuyendo ligeramente en horas de la noche. En las campañas 1, 2 y 4 los máximos valores se localizaron entre las 2:00 pm y 6:00 pm.

6.3.2.2 Salida de las lagunas 1 y 2

Temperatura del agua

Tabla 6.15 Valores máximos, mínimos y medios de la temperatura (°C) del agua en el efluente de las lagunas 1 y 2 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Salida de la laguna N° 1			Salida de la laguna N° 2				
Muestreo	Temp. °C Máxima	Temp. °C Mínimo	Temp. °C Media	Muestreo	Temp. °C Máxima	Temp. °C Mínimo	Temp. °C Media
1	29	25	28	1	29	26	28
2	30	26	28	2	30	25	27
3	30	26	28	3	30	26	28
4	31	28	30	4	31	29	29

Fuente: datos de campo.

Para los dos puntos en discusión, las temperaturas del agua oscilaron entre los 25 a 31 °C a lo largo de las 20 horas de cada una de las 4 campañas de muestreo. Los máximos valores se situaron entre las 12:00 pm a las 6:00 pm. Los análisis revelaron que la diferencia era mínima entre la salida de la primera laguna con respecto a la segunda, la cual resultó levemente inferior. Las temperaturas fueron muy parecidas a las reportadas para el agua cruda.

Sólidos sedimentables.

En la salida de la laguna primaria 1 y 2 hay diferencias entre sí.

Tabla 6.16 Valores máximos, mínimos y medios de los Sólidos sedimentables (ml/L) en el efluente de las lagunas 1 y 2 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Salida de la laguna N° 1				Salida de la laguna N° 2			
M	SSed (ml/L) Máxima	SSed (ml/L) Mínimo	SSed (ml/L) Media	M	SSed (ml/L) Máxima	SSed (ml/L) Mínimo	SSed (ml/L) Media
1	3	1	2	1	5	0	2
2	4	0	3	2	0.3	0.1	0.2
3	3	0	2	3	0.5	0.1	0.2
4	4	0	2	4	2	0.2	0.9

Fuente: datos de campo.

Hubo una apreciable disminución de los Sólidos sedimentables en la salida de las lagunas 1 y 2 con respecto a la entrada. En la laguna 1 fueron mayores los valores en horas de caudal pico. El rango se halló entre los 0 ml/L a 5 ml/L para ambas lagunas. No hubo diferencia entre el muestreo 1 (condiciones sin precipitación) en las lagunas 1 y 2, pero sí en el número 4. Bajo condiciones de lluvia predominaron valores elevados de sólidos sedimentables.

Conductividad.

Tabla 6.17 Valores máximos, mínimos y medios de la Conductividad (us/cm) en el efluente de las lagunas 1 y 2 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste

Salida de la laguna N° 1				Salida de la laguna N° 2			
M	(us/cm) Máxima	(us/cm) Mínimo	(us/cm) Media	M	(us/cm) Máxima	(us/cm) Mínimo	(us/cm) Media
1	458	330	384	1	457	365	402
2	459	350	427	2	472	393	441
3	460	400	428	3	469	384	422
4	472	278	402	4	442	217	373

Fuente: datos de campo.

Los valores para las lagunas primarias 1 y 2 fluctuaron entre los 280 us/cm a 472 us/cm y de 217 us/cm a 469 us/cm, respectivamente. No hay grandes diferencias con forme pasaban las horas ni entre los muestreos. Solamente la campaña de muestreo 4 indicó valores bajos en horas de la mañana. De 2:00 pm a 6:00 pm decreció la conductividad eléctrica en el agua en ambos estanques y tendieron a incrementarse al anochecer.

Potencial de Hidrógeno

Se encontró dinamismo en las variaciones del pH para ambas lagunas, tal como se observa en el siguiente cuadro.

Tabla 6.18 Valores máximos, mínimos y medios del Potencial de hidrógeno en el efluente de las lagunas 1 y 2 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Salida de la laguna N° 1				Salida de la laguna N° 2			
M	pH Máxima	pH Mínimo	pH Media	M	pH Máxima	pH Mínimo	pH Media
1	9.2	5.2	8.1	1	8.7	5.6	7.9
2	8.9	6.7	7.9	2	9.3	7.4	8.3
3	9.4	7.9	8.9	3	9.8	7.8	8.8
4	10.4	7.4	8.6	4	10.3	7.6	8.7

Fuente: datos de campo.

Fue notable observar un incremento del pH en las lagunas primarias conforme avanzaban las horas del día y decreció al caer la noche. Los valores mínimos se registraron en las madrugadas, momentos en que aumentaban los olores a sulfuros. No hubo grandes diferencias entre los valores de las campañas en los puntos en análisis, a pesar de las altas precipitaciones en dos de ellas.

En las horas del día prevalecieron condiciones básicas y en algunos casos con pH elevados

6.3.2.3 Salida de las lagunas secundarias 3 y 4.

Temperatura del agua

Tabla 6.19 Valores máximos, mínimos y medios de la Temperatura (°C) del agua en el efluente de las lagunas 3 y 4 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Salida de la laguna N° 3				Salida de la laguna N° 4			
M	Temp °C Máxima	Temp. °C Mínimo	Temp. °C Media	M	Temp. °C Máxima	Temp. °C Mínimo	Temp. °C Media
1	28	24	27	1	29	25	28
2	30	27	28	2	30	25	27
3	29	27	28	3	29	26	28
4	31	27	29	4	29	27	28

Fuente: datos de campo.

La temperatura del agua osciló entre los 24 a 31 °C en todas las campañas de muestreo. Hubo gran similitud entre los valores reportados para las lagunas 3 y 4, principalmente en las medias y con forme avanzaban las horas del día o de la noche tal como puede apreciarse en los cuadros del anexo C los aumentos y descensos simultáneos en ambas lagunas.

Conductividad

Tabla 6.20 Valores máximos, mínimos y medios de la Conductividad eléctrica (us/cm) en el efluente de las lagunas 3 y 4 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Salida de la laguna N° 3				Salida de la laguna N° 4			
M	Cond (us/cm) Máxima	Cond (us/cm) Mínimo	Cond (us/cm) Media	M	Cond (us/cm) Máxima	Cond (us/cm) Mínimo	Cond(us/cm) Media
1	360	290	332	1	385	285	338
2	463	375	406	2	440	365	401
3	458	380	421	3	467	403	439
4	399	290	370	4	412	332	385

Fuente: datos de campo.

Las diferencias entre las campañas de muestreos fueron muy marcadas entre sí, pero los valores de la misma campaña en la laguna 3 y 4 no cumplieron en este aspecto.

Fue evidente una reducción de todos los valores con respecto a los encontrados en la salida de las lagunas primarias.

Potencial de hidrógeno

Tabla 6.21 Valores máximos, mínimos y medios de la Potencial de hidrógeno en el efluente de las lagunas 3 y 4 del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Salida de la laguna N° 3				Salida de la laguna N° 4			
M	pH Máximo	pH Mínimo	pH Media	M	pH Máximo	pH Mínimo	pH Media
1	8.8	6.2	7.9	1	9.0	7.4	8.0
2	9.0	6.5	7.7	2	9.4	7.7	8.4
3	8.3	7.5	8.2	3	8.9	7.7	8.4
4	9.3	7.2	8.6	4	9.7	7.2	8.3

Fuente: datos de campo.

Se encontraron variaciones del mismo conforme avanza el día. Hubo gran similitud entre lo reportado para las lagunas 1 y 2 menos en la disminución del pH en horas de la noche. Prevalcieron pH básicos.

Los valores más altos se localizaron en las 2 últimas campañas de muestreo a pesar de que en la campaña 4 no imperaron condiciones de sol.

6.3.2.4 Salida del sistema de lagunas.

Temperatura del agua

Tabla 6.22 Temperatura (°C) del agua del efluente del Sistema de lagunas durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia.

Muestreo	Temp °C Máxima	Temp. °C Mínima	Temp. °C Promedio
1	29	25	27
2	30	25	27
3	29	26	28
4	30	27	28

Fuente: datos de campo

El rango de valores fue entre los 25 a 30 °C y hay mucha relación de ellos con respecto a la temperatura ambiental. El comportamiento de la temperatura fue muy similar al observado en las lagunas secundarias y prácticamente el efluente presentó homogeneidad en su temperatura para las 4 campañas de muestreo..

Conductividad eléctrica.

Tabla 6.23 Conductividad eléctrica (us/cm) del efluente durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia.

Muestreo	Cond (us/cm)		Cond (us/cm)
	Máximo	Mínimo	Promedio
1	398	294	328
2	443	380	413
3	470	386	436
4	413	325	380

Fuente: datos de campo

Se encontraron variaciones entre los muestreos, en los cuales los máximos valores se obtuvieron en las campañas 2 y 3 que en la 1 y 4. Lo anterior también se refiere a las diferentes horas y por lo general la tendencia de conductividad se asemejó a la encontrada en la laguna 4.

Potencial de hidrógeno

Tabla 6.24 Potencial de hidrógeno del efluente durante las 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia.

Muestreo	pH Máximo	pH Mínimo	pH Promedio
1	8.8	7.3	8.2
2	9.0	7.5	8.3
3	9.0	7.8	8.5
4	9.5	7.5	8.6

Fuente: datos de campo

Se encontró similitud entre los valores máximos, mínimos y medios de cada uno de los muestreos. Al igual que los datos mostrados para la salida de las lagunas los incrementos se produjeron conforme se acercaba y se sobrepasaba el medio día. Solamente durante el muestreo 2 descendieron un poco durante la noche mientras que el resto permaneció prácticamente igual.

6.3.2.5 Profundidad real de las lagunas

El siguiente cuadro muestra los valores obtenidos para la profundidad de cada laguna.

Tabla 6.25 Diferencia de altura (m) entre el fondo lagunar y el nivel agua superficial de cada laguna del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Laguna 4
Profundidad (m)	1.85	1.85	1.60	1.55

Fuente: datos de campo

El valor indicado para el diseño de las 2 lagunas primarias era de 2.0 metros de profundidad, sin embargo los análisis de campo comprobaron que la profundidad real reportada fue 15 centímetros menor a la esperada.

Con respecto a las lagunas secundarias se estimaba una profundidad de 1.5 metros, a lo cual la laguna 3 reveló 5 cm más de profundidad y 5 cm menos para la número 4.

6.3.2.6 Perfil de lodos en el sistema de lagunas

Las lagunas primarias 1 y 2 exhiben variaciones en la presencia de lodos de un punto a otro. El siguiente diagrama indica los puntos analizados y el siguiente cuadro indica los valores

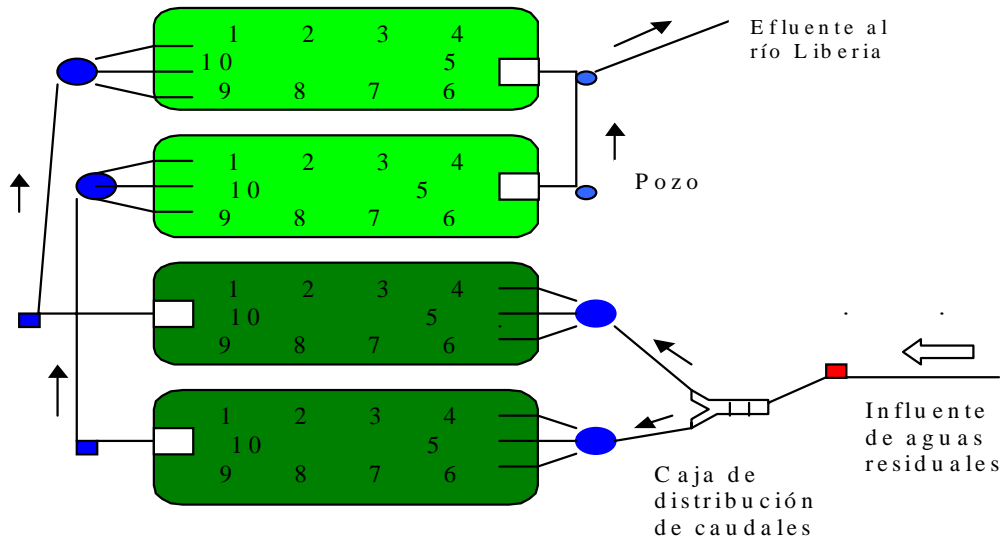


Figura 6.7 Puntos en los que se determinó la altura del lodo en el fondo de las lagunas primarias y secundarias.

Tabla 6.26 Altura (cm) del lodo en el fondo de las lagunas primarias del Sistema de lagunas de Liberia.

Laguna	Altura del lodo (cm)										Media
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
N° 1	-	-	7	4	4	6	-	-	-	-	5.3
N° 2	8	6	6	6	5	6	6	4	6	7	6.0

Fuente: datos de campo

Nota: por problemas técnicos no fue posible medir la altura de lodo en los puntos que presentan un guión.

La mayor cantidad de lodos se encontró en los puntos más cercanos a la entrada del agua residual, disminuyeron en la parte media de cada laguna y se elevó levemente su altura en los puntos cercanos a la salida del agua tratada.

Mediante los siguientes datos se calculó la cantidad teórica de sólidos a contener en el fondo de las lagunas primarias.

- La media de los SSed en las 4 campañas de muestreo: 4.3 ml/L
- El caudal promedio del afluente : 2421.4 m³/d
- Tiempo de operación : 7 meses
- Media de la altura del lodo en las lagunas primarias: 6.0 cm

Con base en ello se calculó que el porcentaje de SSed en un litro de agua residual era de 0.43 % y considerando un afluente total de 2.42E+6 el de metros cúbicos de lodo por día en el afluente, la cantidad de lodo por día aportada debería ser de 10.4 m³/d. Siete meses equivalen a 210 días por lo que la cantidad de lodo en 7 meses debe ser **2 184 m³**.

Los datos de campo reportan como altura del lodo en la laguna primaria N° 1, 6.0 cm, por lo tanto los metros cúbicos de lodo son 235 m x 65 m x 0.06 m = 916.5 m³ lo cual equivaldría aproximadamente a **1 833 m³** para las lagunas primarias.

Los cálculos realizados con base a los sólidos sedimentables del afluente indican mayor cantidad de lodo en las lagunas primarias que lo medido en el campo.

Los siguientes son los resultados de la altura de lodos en las lagunas secundarias.

Tabla 6.27 Altura (cm) del lodo en el fondo de las lagunas secundarias del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Laguna	Altura del lodo (cm)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media
N° 3	11	9	5	5	8	9	7	6	8	10	7.8
N° 4	15	8	8	6	9	10	8	8	8	10.5	9.0

Fuente: datos de campo

El lodo de las lagunas secundarias es de color negro. Al igual que lo indicado en las lagunas primarias este tiende a acumularse en los extremos este y oeste de las lagunas y disminuyen en la zona central.

6.3.3 Evaluación fisicoquímica del Sistema de lagunas de Liberia.

Se adjuntan los análisis obtenidos en dos reportes operacionales que realizó el Laboratorio Nacional de Aguas en el sistema de lagunas de Liberia durante el período de evaluación. Estos últimos solamente se emplearon como datos de comparación y por lo tanto no se contemplaron en los valores promedios del estudio.

6.3.3.1 Potencial de hidrógeno (pH)

En general se encontró diferencias entre lo indicado en los reportes operacionales del laboratorio y los datos que se obtuvieron durante la evaluación, tal como se observa en el siguiente cuadro.

Tabla 6.28 Potencial de hidrógeno (unidades de pH) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

FECHA	CLASIFICACIÓN	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)					
		E S	S 1	S 2	S 3	S 4	S S
13/06/00	Reporte Op.	6.81	7.27	7.28	7.66	7.54	7.39
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	6.80	7.85	8.05	7.94	7.92	7.81
02/08/00	Reporte Op.	7.02	7.27	7.16	7.16	7.13	7.30
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	7.07	7.65	8.23	7.74	8.09	7.95
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	6.94	8.00	8.60	7.58	7.60	7.67
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	7.14	7.63	7.72	7.82	7.82	7.88
MEDIA		7.00	7.78	8.15	7.77	7.86	7.83
MÁXIMO		6.80	8.00	8.60	7.94	8.09	7.95
MÍNIMO		7.07	7.63	7.72	7.58	7.60	7.67

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas del AyA.

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

En el siguiente gráfico se muestra las variaciones en el pH en las 4 campañas de muestreo.

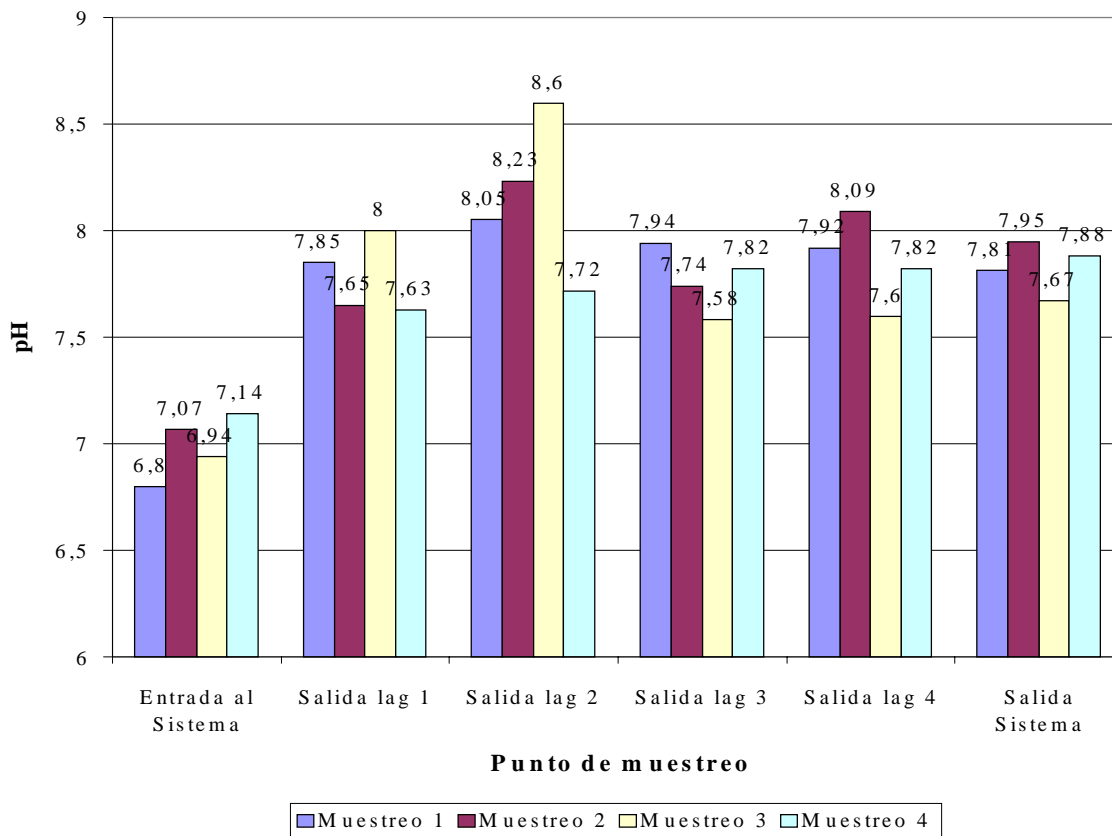


Figura 6.8 Potencial de hidrógeno del sistema lagunar para las 4 campañas de muestreo.

Fue notable en todas las campañas de muestreo un incremento del pH en el efluente de las lagunas primarias y secundarias. En resumen, no hay diferencias abruptas entre los pH determinados en cada punto de muestreo. La laguna primaria 2 mostró pH superiores a los encontrados en las 4 lagunas.

6.3.3.2 Conductividad eléctrica

Los datos reportados de cada uno de los puntos en las 4 campañas de muestreo fueron los siguientes:

Tabla 6.29 Conductividad eléctrica (us/cm) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

FECHA	CLASIFICACIÓN	Conductividad (us/cm)					
		E S	S 1	S 2	S 3	S 4	S S
13/06/00	Reporte Op.	540	422	404	373	394	378
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	519	417	452	385	375	381
02/08/00	Reporte Op.	613	475	456	433	443	462
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	487	368	337	339	347	345
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	533	365	431	348	337	339
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	478	386	355	346	349	353
MEDIA		504	384	394	354	352	354
MÁXIMO		533	417	452	385	375	381
MÍNIMO		478	365	337	339	337	339

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas del AyA.

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

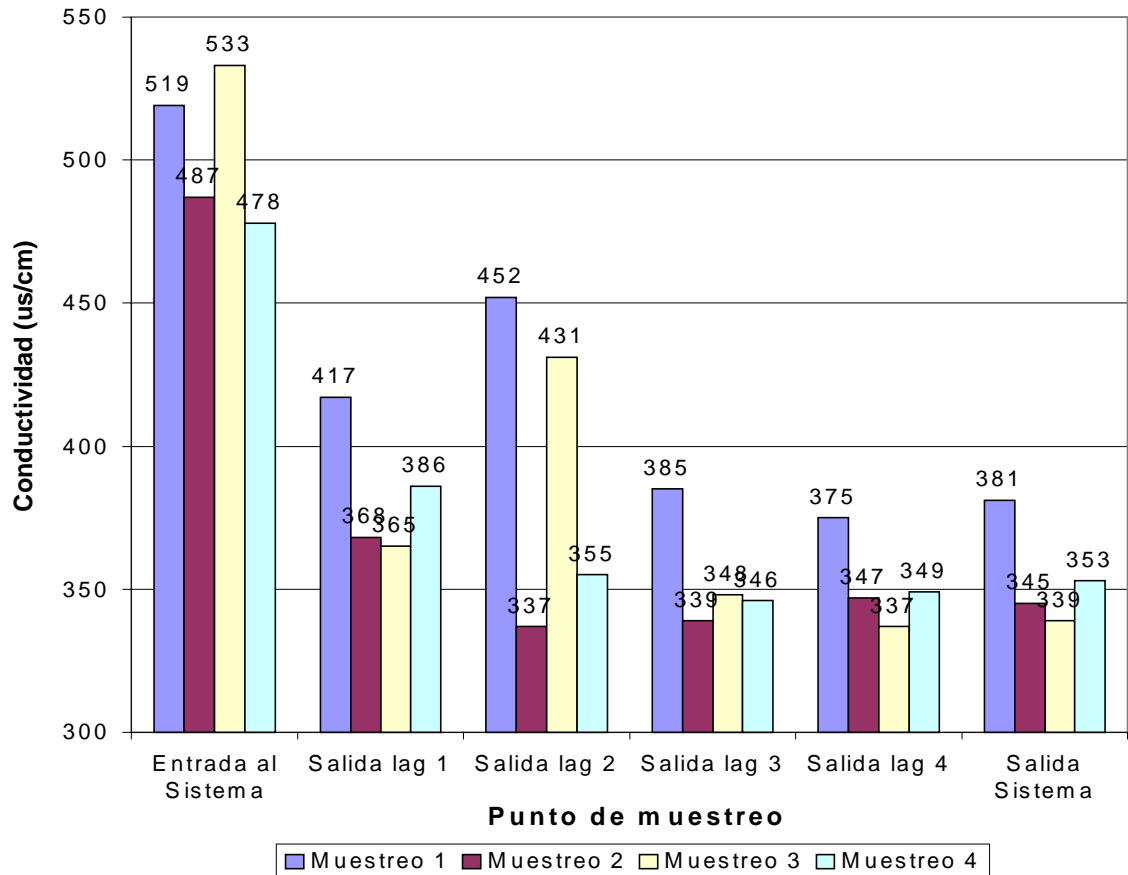


Figura 6.9 Conductividad eléctrica (us/cm) en las 4 campañas de muestreo en los diferentes puntos del sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

El sistema de lagunas mostró tendencia clara a disminuir los niveles de conductividad con forme avanza el proceso de depuración de las aguas, lo cual se comprueba en las 4 campañas de muestreo, sin embargo, su eficiencia neta fue del 29.8 %. Entre las lagunas primarias, la número 2 mostró menor capacidad que la laguna 1, mientras que entre las lagunas secundarias, junto con el efluente, se mostraron valores muy semejantes entre sí.

6.3.3.3 Oxígeno disuelto

Los valores reportados por el laboratorio al respecto se muestran a continuación

Cuadro 6.30 Oxígeno disuelto durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

FECHA	CLASIFICACIÓN	Oxígeno disuelto (mg/L)					
		E S	S 1	S 2	S 3	S 4	S S
13/06/00	Reporte Op.	-	0.3	0.4	2.6	2.8	5.6
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	2.9	6.7	6.9	7.8	7.9	7.8
02/08/00	Reporte Op.	-	7.1	-	0	0	1.5
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	0.4	6.7	7.7	8.3	7.7	7.9
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	0.5	6.5	7.9	6.3	6.6	6.5
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	1.3	5.8	5.3	6.2	6.5	6.6
MEDIA		1.3	6.4	7.0	7.2	7.2	7.2
MÁXIMO		2.9	6.7	7.9	8.3	7.9	7.9
MÍNIMO		0.4	5.8	5.3	6.2	6.5	6.5

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas del AyA.

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

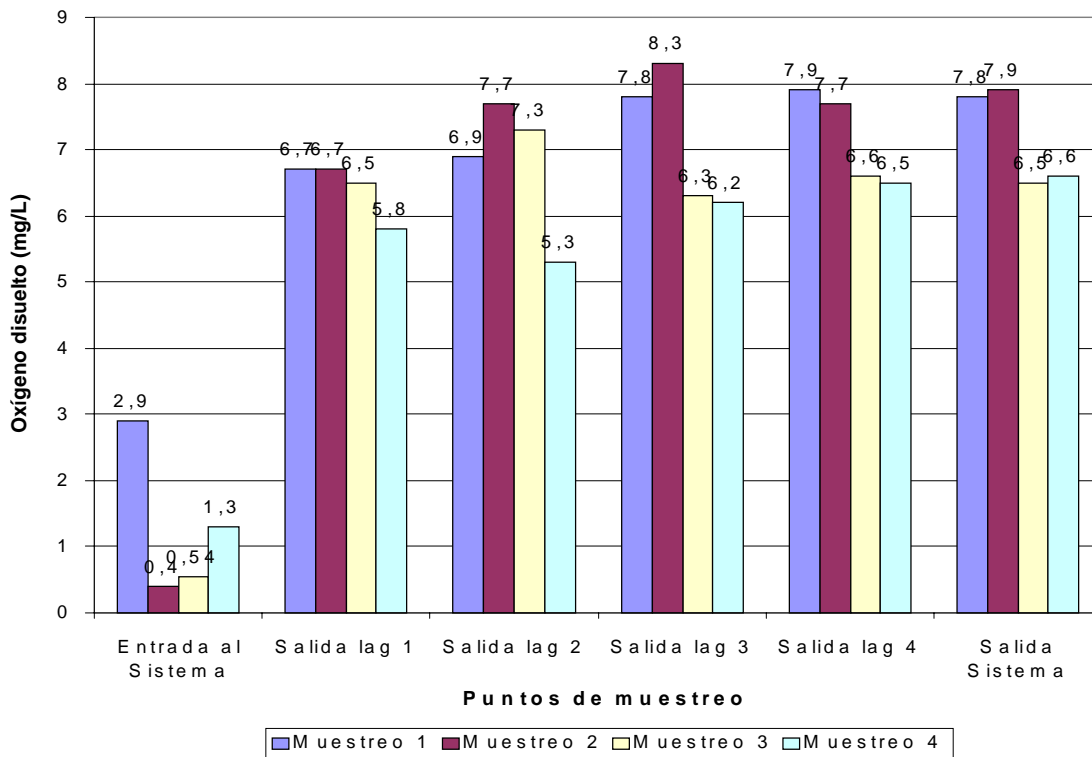


Figura 6.10 Oxígeno disuelto (mg/L) en los diversos puntos analizados en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Los resultados para el afluente indicaron presencia de oxígeno disuelto en él. Las medias de la salida en las lagunas 2, 3, 4, y de sistema poseían el mismo grado de saturación de oxígeno disuelto. Los reportes operacionales indicaron valores muy inferiores a los obtenidos en las 4 campañas de muestreo, tal como muestra en el cuadro anterior.

6.3.3.4 Sólidos sedimentables

Los datos registrados por el laboratorio se presentan a continuación

Tabla 6.31 Sólidos sedimentables (ml/L) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

FECHA	CLASIFICACIÓN	Sólidos sedimentables (ml/L)					
		E S	S 1	S 2	S 3	S 4	S S
13/06/00	Reporte Op.	3.0	5.0	5.0	0.0	0.0	0.0
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	3.5	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0
02/08/00	Reporte Op.	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	6.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MEDIA		3.4	0.9	0.4	0.0	0.0	0.0
MÁXIMO		6.0	2.0	1.5	0.0	0.0	0.0
MÍNIMO		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas del AyA.

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

Con excepción de la campaña de muestreo 4, los valores indicados para el agua cruda fueron los característicos a encontrar en aguas residuales domésticas. De las lagunas primarias la que se comportó como mejor sedimentador fue la laguna 2. En las lagunas secundarias no se encontraron presencia de sólidos sedimentables en sus efluentes en ninguna de las campañas de muestreo.

Los datos anteriores se grafica a continuación:

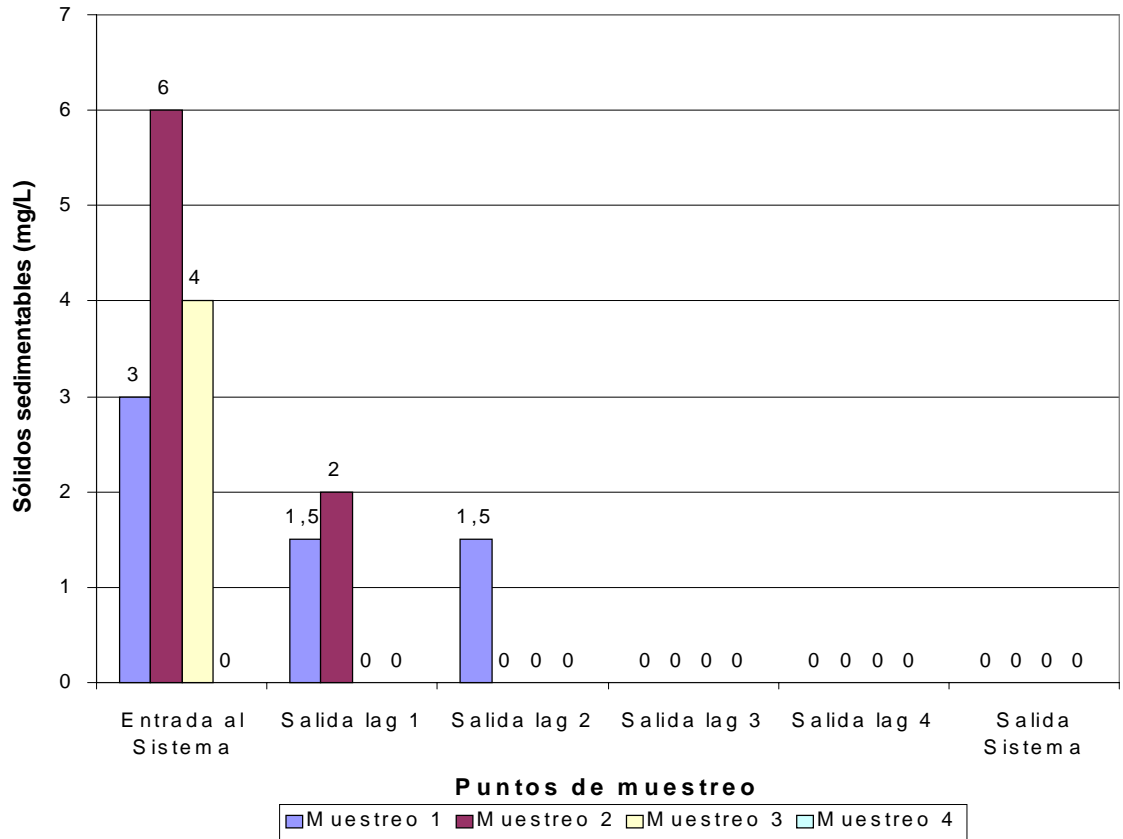


Figura 6.11 Sólidos sedimentables (mg/L) en las 4 campañas de muestreo en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

6.3.3.5 Sólidos totales y eficiencias en la remoción de sólidos totales

Los valores reportados para este parámetro se resumen a continuación:

Tabla 6.32 Sólidos totales (mg/L) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

FECHA	CLASIFICACIÓN	Sólidos totales (mg/L)					
		E S	S 1	S 2	S 3	S 4	S S
13/06/00	Reporte Op.	616	422	642	416	376	372
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	490	436	462	410	432	422
02/08/00	Reporte Op.	584	-	-	-	-	372
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	564	514	466	394	370	418
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	568	390	250	250	240	320
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	614	226	202	108	156	412
MEDIA		559	392	345	291	300	393
MÁXIMO		614	514	466	410	432	422
MÍNIMO		490	226	202	108	156	320

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas del AyA.

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

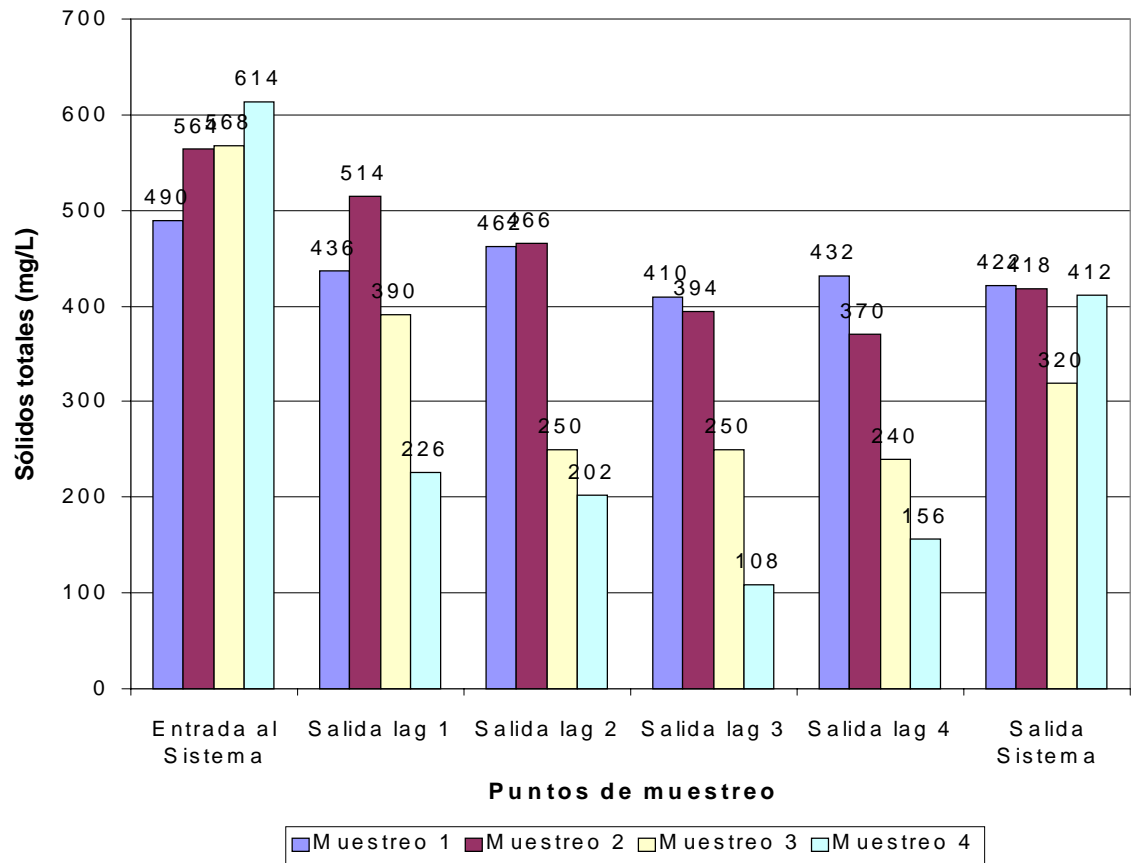


Figura 6.12 Sólidos totales (mg/L) para cada campaña de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Tabla 6.33 Eficiencias (%) en la remoción de sólidos totales en la evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

		EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES (%)				
FECHA	CLASIFICACIÓN	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Laguna 4	Sistema
13/06/00	Reporte Op.	31.5	-4.2	1.4	41.4	39.6
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	11.0	5.7	6.0	6.5	13.9
02/08/00	Reporte Op.	-	-	-	-	36.3
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	8.9	17.4	23.3	20.6	25.9
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	31.3	56.0	35.9	40	43.7
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	63.2	67.1	52.2	22.8	32.9
MEDIA		28.6	36.6	29.4	13.5	29.1
MÁXIMO		63.2	67.1	52.2	22.8	43.7
MÍNIMO		8.9	5.7	6.0	6.5	13.9

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

Hubo diferencias en los valores de sólidos totales entre los muestreos realizados durante verano y en invierno. La laguna primaria 1 reportó más sólidos totales que la laguna 2. Los efluentes de las lagunas facultativas 3 y 4 mantuvieron valores semejantes entre si, a pesar de ello el efluente final del sistema de lagunas indicó mayor cantidad de sólidos totales.

6.3.3.6 Sólidos suspendidos totales

La concentración de sólidos suspendidos totales en los diferente puntos de muestreo a lo largo del estudio se resumen en el cuadro siguiente:

Tabla 6.34 Sólidos suspendidos totales (mg/L) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

FECHA	CLASIFICACIÓN	Sólidos suspendidos totales (mg/L)					
		E S	S 1	S 2	S 3	S 4	S S
13/06/00	Reporte Op.	223	188	350	177	150	140
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	215	129	133	141	133	204
02/08/00	Reporte Op.	236	196	201	196	73	152
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	160	130	120	75	60	96
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	166	120	100	96	50	106
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	151	137	163	96	86	110
MEDIA		173	129	129	102	82	129
MÁXIMO		215	137	163	141	133	204
MÍNIMO		161	120	100	75	50	96

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

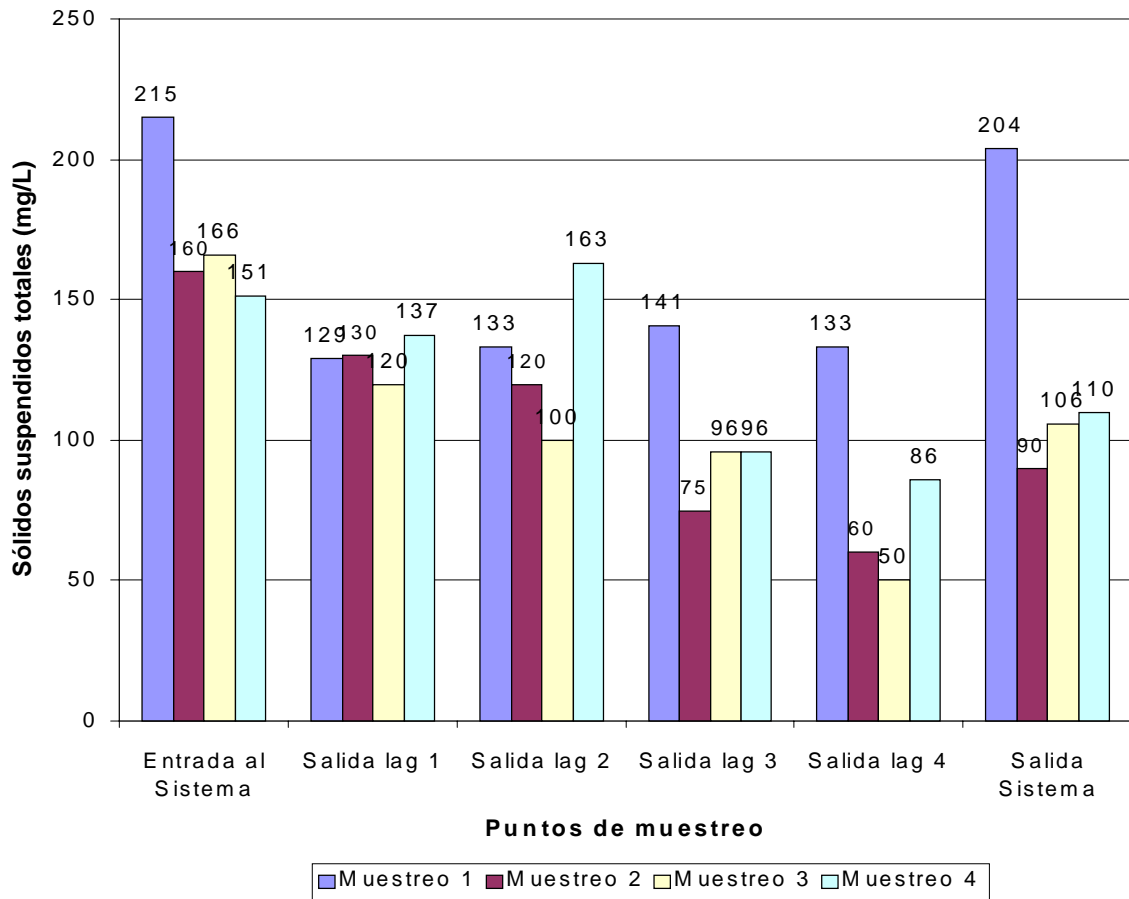


Figura 6.13 Sólidos suspendidos (mg/L) reportados en las 4 campañas de muestreo en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

El afluente tuvo menor cantidad de sólidos suspendidos bajo condiciones de lluvia. Las medias de las salidas de las lagunas facultativas 1 y 2 presentaron poca diferencia entre sí, sin embargo la laguna secundaria 4 reportó menor cantidad de sólidos suspendidos que la número 3. El sistema tendió a disminuir la cantidad de sólidos suspendidos conforme avanzaba el proceso de depuración del agua residual.

6.3.3.7 Grasas y aceites.

Los resultados para este parámetro indicaron bajos valores en la entrada del sistema y en la salida, por lo que se decidió repetir el muestreo en tales puntos en una campaña de 4 horas en el intervalo de caudal máximos. El siguiente cuadro indica los valores obtenidos en el laboratorio para las 4 campañas de muestreo.

Tabla 6.35 Grasas y aceites (mg/L) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

FECHA	CLASIFICACIÓN	Grasas y aceites (mg/L)					
		ES	S 1	S 2	S 3	S 4	SS
13/06/00	Reporte Op.	14	3.5	3.0	1.6	1.5	1.0
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	17	3.0	3.0	6.0	6.0	7.0
02/08/00	Reporte Op.	30	-	-	-	-	6.0
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	17	7.0	6.0	9.0	6.0	7.0
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	18	6.7	5.0	6.0	5.0	9.0
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	16	9.0	6.0	12	7.0	10
MEDIA		17	6.4	5	8.2	6	8.2
MÁXIMO		18	9.0	6.0	12	7.0	7.0
MÍNIMO		17	3.0	3.0	6.0	5.0	10

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas del AyA.

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

Las lagunas facultativas primarias indicaron reducción en la cantidad de grasas con respecto al afluente, pero se observó un ligero incremento en las lagunas secundarias. La cantidad de grasas y aceites en cada punto de muestreo no varió entre condiciones de lluvia o de sequía.

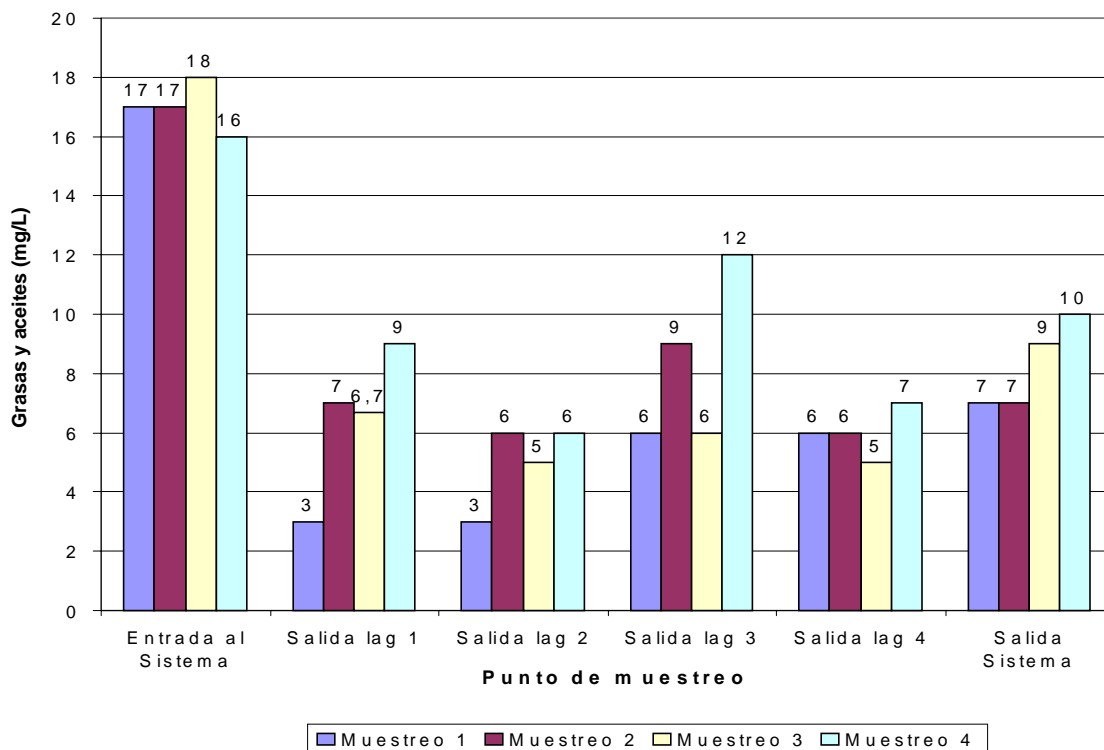


Figura 6.14 Grasas y aceites (mg/L) en la evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Tabla 6.36 Grasas y aceites (mg/L) durante una campaña de muestreo de 4 horas en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Fecha del muestreo	Grasas del afluente (mg/L)	Grasas del efluente (mg/L)
2 /11/2000	128.2	5.5

Fuente: Laboratorio CEQIATEC

Los datos otorgados por el Laboratorio de servicios químicos y microbiológicos del ITCR reportaron mayor miligramos por litro de grasa en el afluente que lo indicado por el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA, sin embargo la cantidad de grasas del efluente del sistema de lagunas fue mucho menor a lo obtenido en las 4 campañas de muestreo.

6.3.3.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Los valores de DBO y su eficiencia en remoción se muestran en los cuadros siguientes:

Tabla 6.37 Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) indicada por el laboratorio durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

FECHA	CLASIFICACIÓN	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)					
		E S	S 1	S 2	S 3	S 4	S S
13/06/00	Reporte Op.	260	129	158	50	42	42
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	198	41	45	10	17	18/4
02/08/00	Reporte Op.	238	24	80	31	20	29/18
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	128	48	30	28	20	20/4
	Q máximo	146					
	Q mínimo	21					
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	220	48	41	30	25	31/6
	Q máximo	126					
	Q mínimo	31					
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	177	60	40	20	18	22/6.5
	Q máximo	109					
	Q mínimo	138					
MEDIA		181	49	39	22	20	23/5
MÁXIMO		220	60	45	30	25	31
MÍNIMO		128	41	30	10	17	18

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

Para la salida del sistema también se reporta la DBO soluble.

Tabla 6.38 Eficiencias (%) en DBO durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

		Eficiencias en DBO (%)				
FECHA	CLASIFICACIÓN	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Laguna 4	Sistema
13/06/00	Reporte Op.	50.4	39.2	61.2	73.4	83.9
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	79.3	77.3	75.6	62.2	90.9
02/08/00	Reporte Op.	89.9	66.4	-29.2	75.0	87.8
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	62.5	76.6	41.7	33.3	84.4
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	78.1	81.4	37.5	39.0	85.9
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	66.1	77.4	66.7	55.0	87.6
MEDIA		71.5	78.2	55.4	47.4	87.3
MÁXIMO		79.3	81.4	66.7	62.2	90.9
MÍNIMO		62.5	77.3	37.5	33.3	84.4

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

Se reportó una disminución de la DQO con forme avanzaba la depuración de las aguas residuales, lo cual se muestra en el siguiente gráfico.

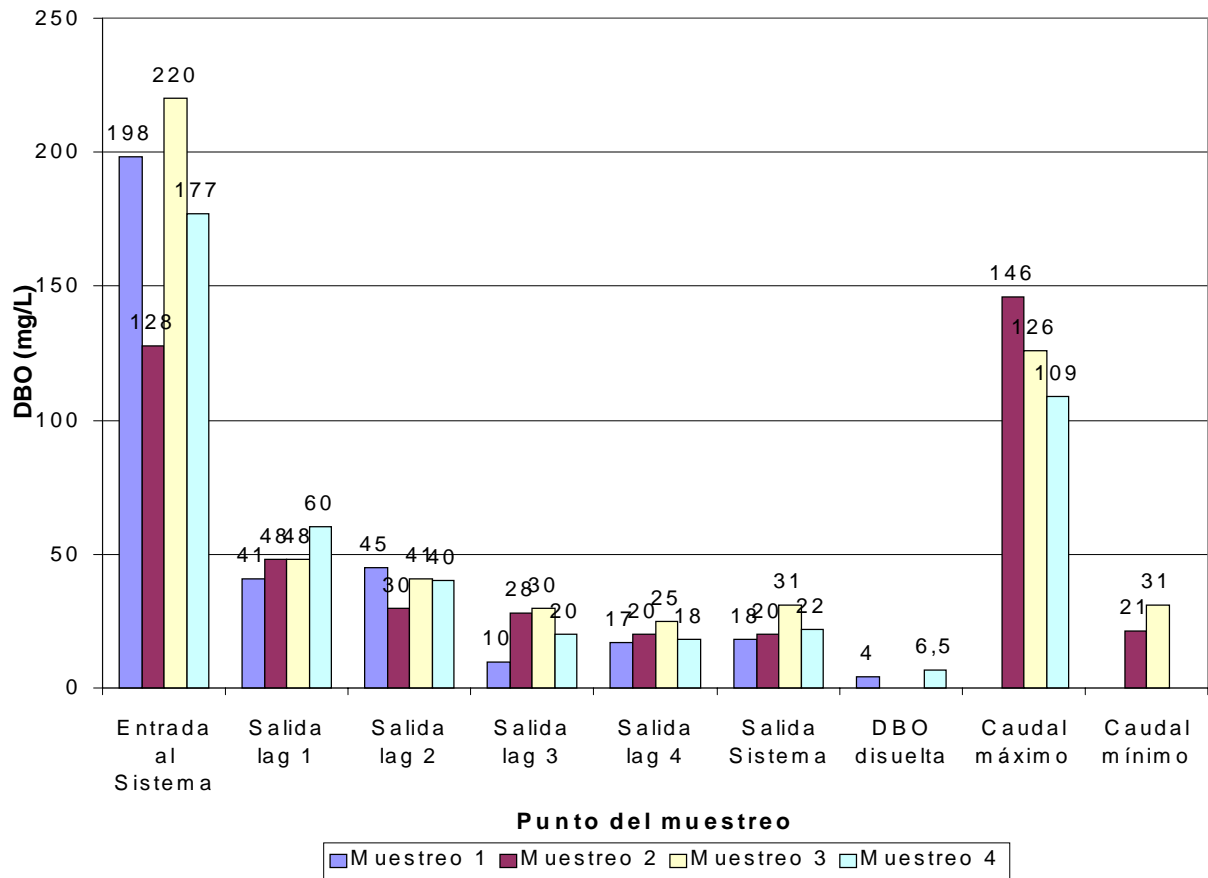


Figura 6.15 Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en las 4 campañas de muestreo en del Sistema de lagunas de Liberia.

En la entrada del sistema se diferenciaron los valores obtenidos en las 4 campañas de muestreo con lo indicado en los reportes operacionales emitidos por el Laboratorio Nacional de Aguas. Cabe recordar la diferencia en horas de muestreo entre ambos datos, dado que para los reportes operacionales se realizan en 4 horas, mientras que en el estudio realizado fue de 20 horas.

En las campañas 2, 3 y 4 se tomaron muestras puntuales para la realización de una DBO en el momento de máximo caudal y mínimo. Tal como se apreció en las campañas 2 y 3 la muestra para el caudal máximo tuvo una DBO más elevada que la media y en el caudal mínimo valores inferiores. Lo anterior no ocurrió en la campaña 4, sin embargo, en la campaña 4 no se presentaron valores inferiores a la media de la DBO del afluente..

Tanto en los análisis para llevar a cabo la evaluación como en los reportes operacionales se evidenció la estabilización del sistema de lagunas conforme transcurrían los meses y por lo tanto el aumento en las eficiencias para este parámetro.

6.3.3.9 Demanda química de oxígeno (DQO)

Las principales variaciones de DQO se localizaron en el agua residual de entrada al sistema. Estos y otros valores se presentan a continuación.

Tabla 6.39 Demanda química de oxígeno (mg/L) durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

		Demanda química de oxígeno (mg/L)					
FECHA	CLASIFICACIÓN	E S	S 1	S 2	S 3	S 4	S S
13/06/00	Reporte Op.	497	497	584	230	210	258
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	535	327	421	290	291	284
02/08/00	Reporte Op.	928	-	-	-	-	388
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	701	452	324	204	209	217
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	428	330	281	262	101	233
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	475	325	278	256	70	227
MEDIA		435	359	326	253	168	240
MÁXIMO		701	452	421	290	291	284
MÍNIMO		428	325	278	204	70	217

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

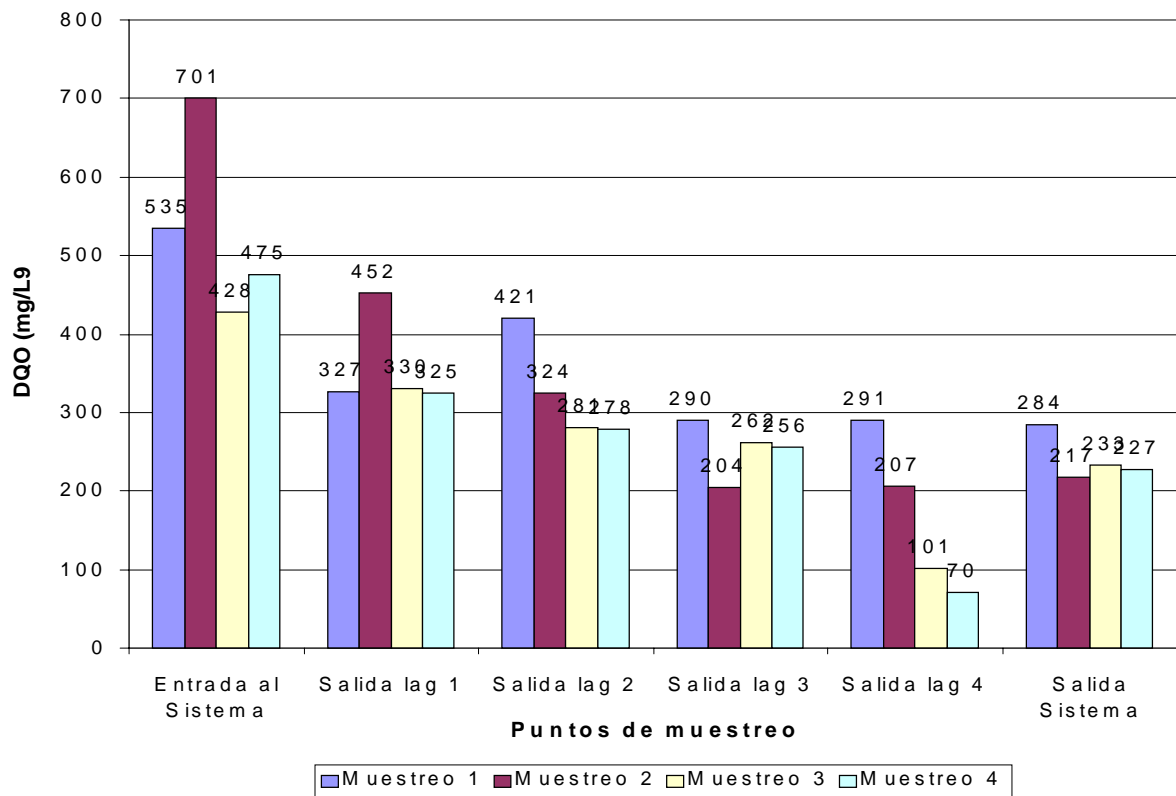


Figura 6.16 Demanda química de oxígeno (mg/L) en las 4 campañas de muestreo en los diversos puntos de análisis del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

El sistema de lagunas mostró clara tendencia a disminuir la DQO conforme avanzaba el proceso, tal como se observó con las medias. No hay relación entre las DQO medidas en condiciones de sequía o bajo muestreos con precipitaciones previas. La campaña de muestreo 2 mostró el máximo valor reportado.

Con respecto a las eficiencias se reportan los siguientes valores.

Tabla 6.40 Eficiencias (%) en DQO durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

FECHA	CLASIFICACIÓN	Eficiencias en DQO (%)				
		Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Laguna 4	Sistema
13/06/00	Reporte Op.	0	-17.5	53.7	64.0	48.1
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	38.9	21.3	11.3	30.9	46.9
02/08/00	Reporte Op.	-	-	-	-	58.2
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	35.5	53.8	54.9	36.1	69.0
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	22.9	34.3	20.6	64.0	45.6
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	21.6	41.5	21.2	74.8	52.2
MEDIA		29.7	37.7	27.0	54.45	53.4
MÁXIMO		38.9	53.8	54.9	74.8	69.0
MÍNIMO		21.6	21.3	11.3	30.9	45.6

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

De las lagunas facultativas primarias la número 2 mostró mayor porcentaje de eficiencia en DQO, la laguna 4 indicó el mayor porcentaje de las secundarias.

6.3.3.10 Relación DQO/DBO

Con base en los miligramos por litro de la DBO y de la DQO se establecieron los siguientes datos

Tabla 6.41 Relación DQO/DBO durante el período de evaluación del Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

FECHA	CLASIFICACIÓN	Relación DQO/DBO					
		E S	S 1	S 2	S 3	S 4	S S
13/06/00	Reporte Op.	1.9	3.9	3.7	4.6	5.0	6.14
12/13-7-00	Muestreo 1 (M)	2.7	8.0	9.4	29	17.1	15.8
02/08/00	Reporte Op.	3.9	-	10.8	-	-	13.4
17/18-8-00	Muestreo 2 (J)	5.5	9.4	10.8	7.3	10.4	10.9
21/22-8-00	Muestreo 3 (L)	1.9	6.9	9.4	8.7	4.0	7.5
29/30-8-00	Muestreo 4 (K)	2.7	5.4	7.0	12.8	3.9	10.3
MEDIA		3.2	7.4	9.2	14.4	8.9	11.1
MÁXIMO		5.5	9.4	10.8	29.0	17.1	15.8
MÍNIMO		1.9	5.4	7.0	7.3	3.9	7.5

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas

Nota: ES: entrada al sistema, S1: salida de la laguna 1, S2: salida de la laguna 2, S3: salida de la laguna 3, S4: salida de la laguna 4 y SS: salida del sistema de lagunas. L: lunes, K: martes, M: miércoles, J: jueves.

En países desarrollados se han establecido valores medios de los afluentes para algunos de los parámetros analizados en la evaluación. A continuación se reportan los ámbitos típicos.

Tabla 6.42 Resultados de análisis químicos sanitarios típicos de aguas residuales en los Estados Unidos.

Determinación	Alta (mg/L)	Media (mg/L)	Débil (mg/L)
Sólidos totales	1200	700	350
Sólidos suspendidos totales	350	200	100
Sólidos sedimentables	20	10	5
DBO	300	200	100
DQO	1000	500	250
Grasas	150	100	50
Coliformes	10E+7 - 9	10E+6 - 7	-

Fuente. Cubillos, 1995 y Tchobanoglou, 1996

Con base en ellos se puede comparar las características reportadas en las 4 campañas de muestreo y determinar si el afluyente es de naturaleza débil, media o fuerte. Se debe recordar que los datos anotados anteriormente corresponden a los de un país desarrollado y por lo tanto con características muy diferentes a las que tenemos en Costa Rica, más aún en una ciudad como Liberia.

6.3.4 Resultados de los análisis bacteriológicos realizados durante las campañas de muestreo

Los resultados de coliformes fecales para las 4 campañas de muestreo se resumen en los cuadros siguientes:

Tabla 6.43 Coliformes fecales para el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Punto del muestreo	Coliformes fecales (NMP)				Media
	M 1	M 2	M 3	M 4	
Entrada al Sistema *	1.1E+17	2.0E+15	3.6E+14	9.3E+16	5.1E+16
Salida laguna 1 *	2.1E+8	4.3E+7	4.3E+7	4.6E+8	8.5E+7
Salida laguna 2 *	2.1E+8	4.3E+7	1.5E+7	2.4E+8	1.3E+8
Salida laguna 3 *	3.6E+6	2.3E+4	4.3E+5	2.4E+5	1.1E+6
Salida laguna 4 *	9.1E+6	2.3E+4	1.2E+5	2.4E+5	2.4E+6
Efluente del Sistema *	1.5E+9	2.3E+5	2.4E+6	4.3E+5	3.8E+8

Fuente: datos de laboratorio.

Nota: La muestra para análisis bacteriológicos fue tomada de una muestra compuesta de 20 horas. La determinación se realizó por medio del método del número más probable (NMP).

Los altos valores reportados por el Laboratorio Nacional de Aguas para el afluente para las 4 campañas de muestreo son muy similares y no hubo variaciones entre condiciones de lluvia o de verano. Se reportaron similitud entre las descargas de las lagunas facultativas primarias al igual que entre las secundarias.

Las eficiencias calculadas se muestran a continuación

Tabla 6.44 Eficiencia (%) en la remoción de coliformes fecales por cada laguna en 4 campañas de muestreo compuesto en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

LAGUNAS	Eficiencia (%)				
	M 1	M 2	M 3	M 4	Media
Laguna 1	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
Laguna 2	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
Laguna 3	98.3	99.9	99.0	99.9	99.3
Laguna 4	95.6	99.9	99.2	99.9	98.7
Sistema	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9

Nota: La muestra para análisis bacteriológicos fue tomada de una muestra compuesta de 20 horas.

La determinación se realizó por medio del método del número más probable (NMP).

Los resultados de las determinaciones de coliformes fecales realizadas por el laboratorio CEQIATEC se muestran a continuación

Tabla 6.45 Coliformes de una muestra puntual en la entrada y salida del sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Punto del muestreo	C.T /100 ml	C.F /100 ml
Entrada al sistema	1.5 E+8	1.5E+7
Salida del sistema	1.1 E+7	1.1E+7
MEDIA	8.0E+7	1.3E+7

Fuente: Laboratorio CEQIATEC

La cuantificación de coliformes fecales del afluente por parte del laboratorio CEQIATEC difirió de lo indicado para las 4 campañas de muestreo, a pesar de ello el efluente final contó con cantidades parecidas.

En dos de las campañas de muestreo se cuantificaron la cantidad de *Escherichia coli* (*E. coli*) a 44.5 °C con el fin de estimar cuanto del total de CF corresponden a esta bacteria, caracterizada para la evaluación sanitaria del agua. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6.46 Cantidad de *Escherichia coli* determinada en 4 campañas de muestreo en el sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

Punto de muestreo	<i>Escherichia coli</i> a 44.5 °C (NMP)		
	Muestreo 2 (J)	Muestreo 4 (K)	0 Media
Entrada al Sistema	2.0E+15	9.3E+16	4.8E+16
Salida laguna 1	4.3E+7	4.0+E+8	2.2E+8
Salida laguna 2	4.3E+7	3.3E+3	2.2E+7
Salida laguna 3	2.3E+4	2.4E+5	1.3E+5
Salida laguna 4	2.3E+4	3.3E+3	1.3E+4
Efluente al río	2.3E+5	4.3E+5	3.3E+5

Nota: La muestra para análisis bacteriológicos fue tomada de una muestra compuesta de 20 horas.

La determinación se realizó por medio del método del número más probable (NMP).

Los análisis se llevaron a cabo por el Laboratorio Nacional de Aguas

6.4 Identificación de las microalgas predominante en cada de una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas de Liberia.

6.4.1 Parámetros físicos determinados en el lugar de muestreo

El ámbito de pH para las lagunas primarias fue de 7.3 a 8.9 unidades de pH con una tendencia en la primera campaña muestreo de 7.9 y de 7.7 unidades de pH en la segunda campaña. No hubo diferencias entre las determinaciones durante la primera y segunda campaña de muestreo. Se obtuvieron valores altos en los puntos más cercanos al centro de cada laguna. Para las lagunas secundarias el pH osciló entre 8.3 a 9.6 con una media de 8.4 en la primera campaña y de 8.5 en la segunda campaña.

La temperatura del agua en la primera campaña de muestreo para las lagunas primarias fue de 30 °C y de 31 °C en las lagunas secundarias. Para la segunda campaña las medias fueron de 29 °C y 30 °C, respectivamente.

Se tuvieron precipitaciones el día anterior a la realización del muestreo 1 y condiciones nubladas horas antes de realizar el muestreo 2. (Estos muestreos se llevaron a cabo en fechas diferentes a toma de muestras para la realización de los análisis fisicoquímicos)

6.4.2 Microalgas de las lagunas primarias

El siguiente cuadro indica las microalgas encontradas. La predominancia de cada género va del estrato superior del cuadro hacia la parte inferior de los mismos.

Tabla 6.47 Microalgas identificadas en las lagunas primarias en la campaña de muestreo 1 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

LAGUNA 1			LAGUNA 2		
Entrada	Salida	Muestra compuesta	Entrada	Salida	Muestra compuesta
<i>Leposinclis sp.</i>	<i>Leposinclis sp.</i>	<i>Leposinclis sp.</i>	<i>Closterium sp.</i>	<i>Closterium sp.</i>	<i>Closterium sp.</i>
<i>Phacus sp.</i>	<i>Closterium sp.</i>	<i>Phacus sp.</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>
<i>Euglena sp.</i>	<i>Phacus sp.</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Ankistrodesmus sp.</i>		
<i>Closterium sp.</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Closterium sp.</i>			
<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Clamidomonas sp.</i>				

Fuente: datos de laboratorio.

En la laguna primaria 1 y en los diversos puntos analizados predominaron géneros de las Divisiones Euglenophyta, Chlorophyta y Cyanophyta. La diferencia de géneros encontrados entre la salida y la entrada a la laguna 1 no se localizó en el género dominante, pero sí en otros identificados en las aguas. Un aspecto importante a indicar consistió en la presencia de euglenófitas, principalmente *Euglena sp.* en la entrada del sistema.

Tabla 6.48 Microalgas identificadas en las lagunas primarias en la campaña de muestreo 2 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

LAGUNA 1			LAGUNA 2		
Entrada	Salida	Mezcla	Entrada	Salida	Mezcla
<i>Phacus sp.</i>	<i>Euglena sp</i>	<i>Phacus sp.</i>	<i>Phacus sp.</i>	<i>Phacus sp.</i>	<i>Lepocinclis sp.</i>
<i>Euglena sp.</i>	<i>Phacus sp.</i>	<i>Clamydonoma sp</i>	<i>Clamydomona sp.</i>	<i>Clamidomonas sp.</i>	<i>Phacus sp.</i>
<i>Clamydonoma sp</i>	<i>Clamydonoma sp</i>	<i>Closteriopsis sp.</i>	<i>Oscillatoria sp</i>	<i>Oscillatoria sp</i>	<i>Clamydomona sp.</i>
		<i>Euglena sp.</i>	<i>Ankistrodesmus sp.</i>		<i>Ankistrodesmus sp.</i>
		<i>Schizothrix sp.</i>		<i>Oscillatoria sp</i>	<i>Closteriopsis sp.</i>

Fuente: datos de laboratorio.

Tanto en la laguna primaria 1 como en la 2 predominaron las euglenófitas, del género *Phacus sp* y euglenas para la laguna 1 La presencia de *Clamydomona sp.* fue constante en los puntos analizados pero no en su tasa de dominancia.

Al comparar ambas campañas de muestreo se observó como común denominador la presencia de Euglenófitas tanto en la laguna 1 como en la 2 y el género *Ankistrodesmus sp* entre la laguna número 2. A diferencia del muestreo 1 en el 2 prevalecieron las *Clamydomona sp* sobre otros géneros como lo son *Closteriopsis sp* en la laguna 1 y *Ankistrodesmus sp.* para la laguna 2.

Según los géneros identificados el siguiente cuadro indica la División a la cual pertenecen las microalgas identificadas.

Tabla 6.49 Division de los géneros encontrados en las lagunas primarias del Sistema de lagunas de Liberia.

Género	Division
<i>Leposinclis sp.</i>	Euglenophyta
<i>Phacus sp.</i>	Euglenophyta
<i>Euglena sp.</i>	Euglenophyta
<i>Closterium sp.</i>	Chlorophyta
<i>Oscillatoria sp.</i>	Cyanophyta
<i>Clamydmona sp.</i>	Chlorophyta
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	Chlorophyta
<i>Scchizothrix sp.</i>	Chlorophyta

Fuente: datos de laboratorio

6.4.3 Microalgas de las lagunas secundarias

Las identificaciones en la laguna secundaria 4 se resumen a continuación.

Tabla 6.50 Microalgas identificadas en las lagunas secundarias en la campaña de muestreo 1 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

LAGUNA 3			LAGUNA 4		
Entrada	Salida	Muestra compuesta	Entrada	Salida	Muestra compuesta
<i>Oscillatoria sp</i>	<i>Oscillatoria sp</i>	<i>Closterium sp.</i>	<i>Oscillatoria sp</i>	<i>Oscillatoria sp</i>	<i>Oscillatoria sp</i>
<i>Closterium sp.</i>	<i>Phacus sp.</i>	<i>Ankistrodesus sp</i>			
		<i>Oscillatoria sp</i>			

Fuente: datos de laboratorio.

Un aspecto en común observado fue la dominancia de la cianobacteria *Oscillatoria sp.* en el muestreo compuesto, puntos de entrada de aguas de las lagunas primarias y en la salida de las lagunas secundarias tanto en la campaña de muestreo 1 como en la campaña de muestreo 2. La muestra compuesta de la laguna 3 presentó otros géneros a parte de *Oscillatoria sp.*, al igual en su entrada y salida, aspecto contrario a la laguna 4

Tabla 6.51 Microalgas identificadas en las lagunas secundarias en la campaña de muestreo 2 en el Sistema de lagunas de Liberia, Guanacaste.

LAGUNA 3			LAGUNA 4		
Entrada	Salida	Muestra compuesta	Entrada	Salida	Muestra compuesta
<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>
<i>Phacus sp.</i>	<i>Clamydmona sp.</i>	<i>Phacus sp.</i>	<i>Clamydmona sp.</i>		<i>Clamydmona sp.</i>
	<i>Phacus sp.</i>	<i>Clamydmona sp.</i>			
		<i>Uroglenopsis sp.</i>			

Fuente: datos de laboratorio.

El género *Oscillatoria sp.* predominó en esta campaña de muestro. En la laguna 3 se reportaron otros géneros no encontrados en la campaña 1 los cuales fueron: *Clamydmona sp.*, y *Uroglenopsis sp.* Una diferencia con respecto a la laguna 4 fue la presencia de *Clamydmona sp.* en la entrada y efluente de la última. Es importante indicar la reducción de géneros totales encontrados en ambos muestreos para las lagunas secundarias con respecto a las primarias.

6.4.4 Microalgas del efluente del sistema laguna y en el río Liberia.

En las muestras de agua del río tomadas 15 m previos a la descarga del sistema de lagunas presentaron poca cantidad de microalgas. Dentro de lo identificado estaba la cianobacteria *Oscillatoria sp.* y la clorófito *Chlorella sp.*

En el punto de descarga del sistema de lagunas predominó la cianobacteria *Oscillatoria sp.* las cuales, como ya se comentó, son las abundantes en la salida de ambas lagunas secundarias. No se identificó otra alga en dicho punto.

7 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7.1 Identificación de las principales descargas que vierten sus aguas al sistema de alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia.

Debido a que el sistema de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales de La ciudad de Liberia es para aguas domésticas fue necesario conocer la cantidad y características de otros aportes, principalmente los que sean de carácter industrial ante la presencia de tóxicos que alterarían la dinámica biológica durante su tratamiento.

Durante el rastreo se observó la existencia de sifones en todos los comercios, muchos de ellos saturados o quebrados por los mismos dueños para facilitar el flujo de agua ante la presencia de tacos de grasa. En la mayoría de los casos estos no reciben mantenimiento alguno. Un aspecto importante a destacar es la falta de información, dado que la totalidad de los encargados de los entes sí saben que están conectados al sistema de alcantarillado sanitario pero obvian el hecho de qué cosas sólidas y sustancias pueden tirar y cuales no.

7.1.1 Discusión de los resultados de la localización de los principales entes no domésticos

Los siguientes entes generadores de agua residual indicaron la mayor probabilidad de poseer de tóxicos en sus descargas.

7.1.1.1 Sodas y restaurantes

Varias de las sodas y restaurantes no presentan sifones o están destruidos a parte de lo anterior no existe un solo comercio en el área de estudio que cuente con un sistema para la retención de grasas o aceites. Las sodas y restaurantes presentaron basuras en los sifones y otros objetos como tenedores, cucharas, bolsas plásticas, pajillas, pieles de pollo y restos de carnes. Es importante indicar que varios comercios optan por vender los restos de comidas para el engorde de animales y los aceites usados para la preparación de jabones, la cual es una medida que favorece el uso de desechos en lugar de disponerlos en el alcantarillado sanitario.

Las grasas de los restaurantes y sodas ocasionan los mayores problemas de obstrucciones tanto en los sifones como en las redes de alcantarillado sanitario. Según indican los encargados de estos establecimientos se procura no tirar desechos por las tuberías y para ello la mayoría de ellos cuentan con pascones en las mismas. Varios de ellos mismos quiebran los sifones para facilitar el paso de agua ante las obstrucciones. Desde el punto de vista de ellos lo anterior no es malo, dado que de esta forma el agua fluye con menores obstáculos. Lo anterior refleja la falta de conciencia e importancia por el vertido de las aguas residuales. La sobrecarga de grasas en el afluente del sistema de lagunas hace que se afecte la dinámica celular en ella.

El Decreto N° 26042 – S – MINAE, 1997 (Reglamento para el vertido y reuso de las aguas residuales) establece en el artículo 40 que se prohíbe el vertido de materiales que obstaculicen en forma significativa el flujo libre de agua, que formen vapores, gases tóxicos o de mal olor, los cuales pueden producirse por la descomposición de los desechos ya mencionados.

7.1.1.2 Talleres, estaciones de gasolina y lubricentros

El principal problema observado con ellos se debió a la alta presencia de aceites de motor quemados en las tuberías del alcantarillado, a pesar de que todos ellos cuentan con una fosa para la recolección del aceite. En general, los aceites se infiltraban por los desagües de lavado y al estar conectadas las aguas pluviales con las aguas residuales todo daba al alcantarillado sanitario cuando llueve, a parte de ello ninguno de los talleres o lubricentros identificados contaba con trampas de aceites. Se localizaron 2 estaciones de gasolina las cuales sí poseían trampas de aceites pero de pequeñas dimensiones e incapaces de operar cuando llovía, lo cual se observó durante las visitas realizadas.

Al verter aceites a los sistemas de alcantarillado sanitario, la mayor parte de ellos flotan sobre el agua residual y otra fracción se incorporan con el fango de las lagunas facultativas debido a los sólidos sedimentables. Los aceites minerales tienden a cubrir las superficies en mayor medida que las grasas, aceites y jabones. Las partículas de estos compuestos interfieren en el normal desarrollo biológico de los sistemas lagunares. Es importante recordar que los aceites lubricantes son derivados del petróleo y del alquitrán y muchos de ellos contienen metales pesados. (Tchobanoglou, 1996)

7.1.1.3 Hoteles

El total de hoteles rastreados fue de 4. Según los dueños y administradores de los mismos en cada habitación se tenían carteles en los baños que indicaban a los huéspedes cómo ahorrar agua y que cosas no se debían de arrojar por el inodoro. De todos ellos, solamente 1 contaba con tanques sépticos como tratamiento previo al vertido de las aguas residuales al alcantarillado sanitario. En sus descargas es importante considerar el caudal a verter, las grasas y los jabones.

7.1.1.4 Mercados

La ciudad de Liberia cuenta con 3 mercados. Uno de ellos se conoce como el mercado viejo, el otro el mercado Municipal el cual era el más grande, finalmente uno pequeño llamado mercado de la parada. Estos 3 presentaron los mayores problemas en cuanto a obstrucciones por grasas, formando gruesas capas que sellaban las tuberías, sifones y las cajas de registro.

Mercado Viejo

En él se localizan 3 sodas que ofrecen comidas variadas entre otros establecimientos. Las pilas de estos no contaban con pascones y por lo tanto eran muchos los restos de comidas, bolsas plásticas, pajillas, entre otros, que se escapaban por las tuberías. La conexión del mismo con el alcantarillado sanitario se encontraba en pésimas situaciones ante las obstrucciones por grasas, varios de los sifones internos estaban quebrados para facilitar el paso del agua. Otro aspecto a destacar era que las aguas pluviales de todo el mercado estaban conectadas con las aguas residuales.

Mercado municipal

El mercado municipal cuenta con 6 sodas y 4 carnicerías a parte de otros comercios no considerados como importantes para este estudio. En él los principales problemas son:

- a. bstrucciones de las tuberías y cajas registro por grasas.
- b. Aparente conexión de las aguas pluviales con las aguas residuales
- c. Vertido de mucha grasa producto de la cocción de chicarrones.

Mercado de la parada.

En él hay 4 sodas y una panadería. Presentaba las mismas características que el mercado municipal pero en menor intensidad.

7.1.1.5 Hospital Dr. Enrique Baltodano

El hospital de Liberia no presentó sistema alguno para el tratamiento de sus aguas residuales. Las aguas de la lavandería, hospitalización, comedor, oficinas y laboratorios eran vertidas al alcantarillado sanitario, al igual que los reactivos empleados para la fijación y revelado de las placas de rayos X. Se localizó una única conexión al mismo y en ella no había trampas de grasas, sifones o algún otro tratamiento físico.

Como fue posible a preciar, es de esperar que el afluente del sistema de lagunas no posea características típicas de aguas residuales domésticas.

7.2 Análisis físico – químicos y bacteriológicos de las descargas al alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia por parte de entes generados de aguas residuales no domésticas.

7.2.1 Justificación de la selección

El ente generador de aguas residuales no domésticas a muestrear correspondió al Hospital de La ciudad de Liberia, Dr. Enrique Baltodano. El hospital de La ciudad de Liberia ha presentado mucha controversia en lo que respecta al vertido de las aguas residuales al alcantarillado sanitario por aspectos de cantidad y calidad. La Secretaría Técnica Nacional aprobó un estudio de impacto ambiental tal que se le permite el vertido de todas sus aguas, menos las de revelado de placas de rayos X, al alcantarillado pero en el documento no se mencionó el hecho de que era necesario que las descargas cumplieran con la Ley para el vertido de aguas residuales. Tampoco se realizaron los respectivos análisis fisicoquímicos ni bacteriológicos. En cuanto al caudal a verter, hay documentos que indican que en su hora pico el hospital vertería alrededor de 75 L/s lo cual es importante a considerar dado que el subcolector al que se conectó solo puede aceptar 7.2 L/s como caudal máximo.

Debido a ello se consideró como el principal ente generador de agua residual no doméstica para la realización de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. Dentro de las actividades que generaban agua residual con características importantes para el estudio están: la lavandería, el comedor, la sección de hospitalización y los laboratorios, según las visitas realizadas.

La lavandería se encarga de la limpieza de la ropa tanto del hospital como la del hogar de ancianos. El servicio se presta todos días de la semana menos los domingos. Se tiene dos turnos, de 6:00 am a 2:00 pm y de 2:00 a 10:00 pm. Los productos empleados son detergentes y blanqueadores fuertemente abrasivos. El ingrediente activo del blanqueador es Tripolifosfato de sodio al 10 %.

La sección de cocina prepara las 3 comidas diarias y garantizan que no vierten los desechos en forma triturada, tal como sí les permite el estudio de impacto ambiental.

Las aguas de la sección de hospitalización son de alta peligrosidad sanitaria ante la elevada carga microbiana patógena, principalmente por la presencia de bacterias, virus y hongos. Estas son llevadas a un tanque en el que se debería hacer el contacto con cloro tal como lo indicó el estudio de impacto ambiental para su vertido a la red de alcantarillado sanitario. En las visitas realizadas el clorador no estaba operando y por lo tanto el tratamiento previo a la descarga de las aguas de esta sección era nulo.

En los laboratorios el de mayor importancia en la generación de aguas residuales peligrosas fue el de revelado de placas de rayos X. El estudio de impacto ambiental prohíbe el vertido de los ácidos de revelado al sistema de alcantarillado e indica que se les debe realizar un tratamiento ante su alta toxicidad. Tal trabajo no se lleva a cabo y todos ellos son vertidos a las pilas como aguas comunes. Lo anterior es de vital importancia a corregir debido que el sistema de tratamiento de las aguas residuales por parte del AyA es Biológico (Sistema de lagunas facultativo) y se ve afectado por la presencia de tóxicos.

Con base en la cantidad de empleados y camas fue posible estimar el caudal que produce el hospital. Para los países desarrollados se reporta que cada cama de un hospital produce entre 470 a 910 L/d, con una media de 630 L/d y cada empleado genera entre 19 a 57 L/d con una media de 38 L/d de agua residual (Crites, 1998) El número de camas es de 204 y el de empleados es 550, por lo tanto el **efluente teórico** del hospital fue de 1.73 l/s. A pesar de ello, durante las campañas de muestreo se observó caudales muy variables y elevados.

El hospital no presenta sifones ni trampas de grasas en la conexión al alcantarillado.

7.2.2. Discusión de los resultados de laboratorio

En los desechos no domésticos es necesario conocer el tipo de actividad que llevan a cabo los entes generadores, cuales son sus procesos, qué reactivos químicos emplean y de dónde provienen las aguas que se vierten a los alcantarillados con el fin de establecer cuales son los poblantes de mayor interés que se pudieran encontrar en las aguas residuales. (Cubillos, 1994)

Tal como se indicó en la sección de resultados, la descarga del Hospital de La ciudad de Liberia cumplió con unos parámetros pero no en otros.

La DBO cumplió con la normativa. El valor fue similar al del afluente que reporta el sistema de lagunas tal como se revelará más adelante.

La DQO indicada fue muy baja a la que se esperaba, considerando el vertido de reactivos de los laboratorios al alcantarillado sanitario. La relación entre la DBO/DQO fue de 2.0, el cual es un valor bueno para ser tratado mediante un tratamiento biológico. Es importante recordar que la prueba no detecta la presencia de reactivos tóxicos por sí solos. Se podría indicar que el bajo valor en la DBO pudo deberse por el efecto de toxicidad causado por los agentes químicos que eran vertidos por parte de los laboratorios al alcantarillado sanitario, pero lo anterior contrastó con lo indicado por la relación DBO/DQO. Pudiera ser que en el momento del muestreo no se habían vertido los reactivos tóxicos o fueron diluidos ante el elevado caudal que aporta el hospital de La ciudad de Liberia.

La cantidad de sólidos fue aceptable para un efluente de aguas crudas vertidas a un alcantarillado sanitario. Se cumplió con la normativa en lo referente a los sólidos sedimentables y los sólidos suspendidos, a pesar que se tuvo el máximo valor aceptado en el primero.

Con respecto a las grasas y los aceites también se cumplió con la norma, el límite permitido por la ley es de 100 mg/l. Sus aportes provienen de las cocinas y son fiel reflejo de la alta actividad de las mismas.

El pH se encontró dentro del ámbito aceptado por la norma y fue el típico reportado para aguas con características domésticas. No se considera perjudicial para un vertido al alcantarillado sanitario.

La temperatura de la descarga varió en las diversas horas de la campaña de muestreo y no en todas ellas cumplió con la normativa dado se superó los 40 °C. Es muy probable que las fluctuaciones provengan de las aguas empleadas para la cocción de alimentos.

Los Coliformes totales y fecales fueron los esperados para aguas residuales, pero la normativa indica como valor máximo para la descarga de hospitales y clínicas de 1000 por cada 100 ml. Lo anterior debido a que la probabilidad de la presencia de bacterias patógenas es muy elevada. Es por ello que se exige la presencia de un tanque de contacto de cloro para su eliminación, aspecto indicado en el estudio de impacto ambiental pero no usado por el hospital.

7.3. Análisis físico – químicos y microbiológicos de cada una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas durante varias campañas de muestreo.

7.3.1 Análisis de los datos de campos generados durante las 4 campañas de muestreo

7.3.1.1 Caudal del afluente al sistema de lagunas

Los caudales pico pueden ser absorbidos en parte por la capacidad de almacenamiento de la red de alcantarillado sanitario (Tchobanoglou, 1996). lo cual puede explicar el porqué solamente en una campaña de aforos fue posible observar un segundo pico de caudal máximo alrededor de las 10:00 pm. A pesar de ello es importante recordar que La ciudad de Liberia corresponde a un pueblo en el cual la mayoría de su población es de clase media baja y baja, a parte de que el número de conexiones no es alto, por lo que se esperan variaciones a lo reportado como tradicional por parte de la literatura.

El menor caudal correspondió al de la campaña de aforos 1, período en el cual no se registraron lluvias en los días previos, mientras que el máximo durante la campaña de muestreo 4 debido a la precipitación del día anterior. Es común que existan muchas conexiones ilegales como lo es verter las aguas pluviales al alcantarillado sanitario y un porcentaje importante de infiltraciones por lo tanto se justificaría el porqué de las grandes variaciones entre los periodos de sequía y en los que abundan las lluvias. (Araya *et al*, 1998)

Los valores máximos de caudales se localizaron entre las 8:00 am a 2:00 pm y por ello es en este intervalo de tiempo el recomendado para la toma de muestras en la realización de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. En cuanto a caudales mínimos hay mucha similitud entre los valores y las horas en que se reportan. La media de los aforos se encontró muy cercana a los valores reportados durante la campaña 3. Los datos anteriores concuerdan con lo indicado en la literatura en cuanto a las variaciones diarias en los caudales de entrada y es de esperar diferencias en la calidad del agua residual a lo largo del día, tal como indica Tchobanoglou, 1996.

Céspedes, 1983 realizó estudios de caudales mensuales para el sistema de lagunas de Liberia y para ese mismo año la media estuvo en 16.0 L/s por día para el afluente. Con base en ello, es evidente el grado de desarrollo e incremento poblacional que ha tenido el centro de La ciudad de Liberia hasta el año 2000 al punto de alcanzar una media de 31 L/s en el afluente. La media empleada para los datos de diseño fue de 34 L/s.

7.3.1.2 Caudales del afluente a las lagunas secundarias.

El día previo a la realización de la campaña de muestreo 4 imperaron fuertes condiciones de lluvia, lo cual explica el porqué de tan elevados caudales en la entrada a las lagunas secundarias.

No era de esperarse grandes diferencias en caudales a lo largo de cada una de las campañas de aforos ante el cuerpo tan grande de agua que representan las lagunas primarias y variaciones en los tiempos de retención, algo menor a 30 000 m³ como se explicará más adelante, pero sí se sufren efectos ante las descargas de aguas de lluvia, tal como se observó durante la campaña de aforos 4.

Los elevados caudales traen consigo gran cantidad de sedimentos y basuras en su cause y debido a ello las condiciones de turbiedad en los estanques de estabilización aumentan. (Hardenbergh y Robie, 1987). Este aspecto se observó en las lagunas primarias principalmente las cuales permanecían de color café grisáceo hasta llegado el medio día en el cual prevalecía el color verde. El efecto en las lagunas secundarias de los elevados caudales era una reducción de su tonalidad verde en el efluente, seguramente producto del efecto de dilución.

7.3.1.3 Caudales del efluente de las lagunas secundarias.

Las lagunas secundarias cuentan con un rebalse ante los excesos de agua del afluente, lo cual altera los resultados de los aforos para estas lagunas; este sistema corresponde a la antigua salida de las lagunas. Es importante indicar que por su cercanía de la entrada de aguas del efluente de las lagunas 1 y 2 la mayor parte de agua que salía por él correspondía a las que provienen de un tratamiento primario, por lo que su descarga al río ejerce mayor impacto que la salida de todo el sistema de lagunas. Lo anterior puede observarse con la alta cantidad de espumas en el vertedero.

Nuevamente se recalca que el ingreso de altos caudales de agua pluvial afecta no solamente a las lagunas primarias, sino también a las secundarias ante los cambios tan drásticos en sus afluentes. Esto provoca alteraciones en la dinámica biológica tal como se analizará en los próximos puntos.

7.3.1.4 Tiempos de retención hidráulicos (TRH)

Debido a que los cálculos de caudal se realizaron para la laguna primaria número 1 y 3 sobre ellos se referirán los cálculos del TRH.

Como valor mínimo para la sedimentación de huevecillos de parásitos y de gusanos intestinales se requiere de un tiempo de retención hidráulico de 10 días. (Jánez, 1993) La laguna primaria 1 indica un valor superior a este. Las lluvias alteraron grandemente el TRH de la laguna, por lo que durante el período seco se estimó un TRH de 28 días, mientras que con altas precipitaciones el TRH fue de 19.2 días. Esto evidencia el alto número de conexiones de agua pluvial en La ciudad de Liberia y la infiltración al alcantarillado sanitario como ya se comentó. La media se localizó en 24.3 días y este es un período de tiempo ideal para la degradación de la materia orgánica en sistemas facultativos, tal como se analizará posteriormente ante las altas eficiencias en la remoción de la materia orgánica a cargo de los microorganismos. Es de esperar sedimentación de los lombrices intestinales junto con sus huevecillos.

Con respecto a las lagunas secundarias, en ellas se estimó un TRH superior a los determinados para las lagunas primarias. Las lluvias también las afecta, tal como se observa con los valores de TRH en un período seco (campaña 1) con respecto a cuando se tienen altas precipitaciones (campaña 4). La media fue de 31.5 días por lo tanto se favorecería la remoción de la materia orgánica y de coliformes fecales. El incremento en el TRH se debe en parte a la disminución del caudal de ingreso ante las pérdidas de agua por evaporación en las lagunas primarias.

7.3.1.5 Carga orgánica y Carga orgánica superficial

La carga superficial se define como la masa de materia orgánica por unidad de área por unidad de tiempo. Según estudios realizados por Gloyna, el ámbito de valores recomendables para la operación de lagunas facultativas oscila entre los 150 y 300 Kg DBO/ha x d., dependiendo de la temperatura. Valores menores de 150 garantizan una buena operación pero encarecen el proyecto y valores mayores a 300 sobrecargan el sistema, disminuyendo la eficiencia de tratamiento, hay malos olores y apariencia estética desagradable (Céspedes, 1983) Otros autores recomiendan para lagunas facultativas una carga orgánica superficial de 278 KgBDO/d.ha, para otros la CS debe de ser de 250 a 450 Kg DBO/ha*d. (Cubillos, 1994), sin embargo tal como se observó en los cuadros 18 y 19 de la sección de resultados tanto las lagunas primarias como las secundarias mostraron valores inferiores de carga orgánica superficial debido a la baja carga orgánica que entra al sistema con respecto a los datos empleados para su diseño (una DBO media de 300 mg/L).

La distribución del caudal en la entrada del sistema de lagunas a un 50 % para la laguna 1 y el otro 50 % (valores teóricos) para la laguna 2 para continuar con 2 lagunas en serie lograron, bajar las cargas orgánicas en las lagunas secundarias, por lo tanto al momento del estudio se cuenta con un mejor funcionamiento como se indicará más adelante. Sin embargo, la disminución de la carga orgánica hace que la ecología microbiana que se lleva a cabo no muestren condiciones facultativas típicas y es de pensar que prevalezcan más condiciones aerobias que anaerobias. Un indicador de lo anterior es el cambio en las coloraciones en el sentido del flujo del agua y la presencia de algas fotosintéticas en dicho extremo a profundidades de 40 cm.

El antiguo sistema de lagunas presentaba puntos muertos en las lagunas primarias, producto de la mala distribución del afluente. Al contrario de ello las nuevas lagunas primarias cuentan con 3 tubos de distribución del afluente lo que facilita el flujo laminar del agua y una mejor distribución de la carga orgánica en ellas.

En observaciones del agua durante el mes de octubre se encontró en la laguna primaria 2 gran cantidad de *Daphnia sp.*, conocidas vulgarmente como pulgas de agua. La existencia de organismos superiores es un indicativo de operación con baja carga orgánica y a la vez saturación de oxígeno disuelto.

En vista de lo anterior el sistema de tratamiento tiene capacidad de recibir mayor carga orgánica y por lo tanto es factible incrementar el número de conexiones al alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia.

7.3.1.6 Temperatura ambiental

En la entrada al sistema de lagunas las temperaturas ambientales registradas favorecen la actividad bioquímica y biológica que se lleva a cabo en el sistema de lagunas a parte que hay una relación directa entre las altas temperaturas y las horas de radiación solar reportadas en la ciudad de Liberia, incrementándose la actividad fotosintética a cargo de las microalgas en la producción de oxígeno disuelto.

7.3.1.7 Temperatura del agua

La temperatura es uno de los factores de mayor importancia en el funcionamiento de las lagunas facultativas. La constante cinética de primer orden de degradación del sustrato es una función de la temperatura en su rango de 5 a 35 °C de acuerdo con la ley modificada de Van't Hoff – Arrhenius. (Jánez, 1993), ámbito de temperatura dentro del cual se encontró las 4 lagunas facultativas.

Con respecto a la temperatura del agua es deseable un enfriamiento del agua residual en las últimas horas del día, aspecto que sí ocurrió tal como se observa en los cuadros de notas de campo en el anexo C, con el fin de favorecer una mezcla en el agua. A parte de ello a mayor temperatura mejora la sedimentación del material suspendido. La mezcla en las lagunas facultativas ayudan a mantener las condiciones aerobias y un mejor contacto de la biomasa con la materia orgánica (Crites, 1998).

En las lagunas de estabilización ocurre una estratificación térmica con forme avance las horas del día, dado que el sol calienta las capas superficiales del agua tal que en momentos de máxima solarización en los primeros 30 cm hay una diferencia marcada de temperatura hasta de 5 °C con respecto a las capas más profundas. (Cubillos, 1994). Lo anterior es importante a retomar debido al hecho de que el agua del punto en el que se toman las muestras proviene de una profundidad de 30 cm (aproximadamente) de la superficie y por lo tanto es de esperar que los valores reportados fluctúan en pequeña medida con la temperatura real del agua en todas las lagunas. La determinación de la temperatura del agua superficial en comparación con las reportadas a 30 cm, en otras campañas de muestreo, se comprobó lo indicado anteriormente (los datos no se muestran dado que no fueron anotados.)

Las temperaturas registradas en las 4 lagunas facultativas son idóneas para la proliferación de microalgas así mismo para que se lleven a cabo las diversas reacciones bioquímicas en la estabilización de la materia orgánica, favorecen el tipo y profundidad a la cual se pueden encontrar los microorganismos, la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y un aumento en la temperatura mejora la sedimentación del material suspendido.

Varios autores mencionan el hecho de que dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura ambiental durante la mayor parte del año. (Tchobanoglou, 1996), sin embargo como la mayoría de la literatura al respecto ha sido escrita en países de clima templado en los sistemas lagunares del trópico este hecho no se cumplió en forma arbitraria. Con base en lo indicado en la sección del clima de Liberia se comprueba lo expuesto.

Dado los valores registrados a lo largo de cada una de las campañas de muestreo el efluente final del sistema de lagunas no sobrepasó el rango máximo aceptado en Costa Rica para el vertido de aguas residuales tratadas a cuerpos de agua.

7.3.1.8 Sólido sedimentables

En la entrada al sistema de lagunas el incremento de caudal por agua de lluvia actúa con agente diluyente y por lo tanto la cantidad de sólidos sedimentables disminuye. Observaciones realizadas tanto en la caja de distribución de caudales como en la caída del agua cruda a las lagunas 1 y 2 el agua en esos momentos era más turbia y con alta presencia de sólidos que flotaban.

En general los sólidos sedimentables del efluente de la laguna 2 fueron menores que los determinados en el de la laguna 1. Se podría pensar que la laguna primaria 2 actuó como mejor sedimentador y por lo tanto se reducía la turbiedad en las lagunas secundarias y permitió que la luz del sol penetrara a mayores profundidades.

A pesar que el efluente de las lagunas primarias está a 30 cm de profundidad fue evidente la presencia de lodos ventónicos. Estos contribuyeron grandemente en la cantidad de sólidos que sedimentan a la hora de hacer los análisis en el campo.

Fue evidente la sedimentación de sólidos en las lagunas primarias considerando lo reportado en las aguas crudas.

7.3.1.9 Conductividad.

La disminución de la conductividad en la entrada del sistema de lagunas durante las madrugadas pudo deberse a la baja en el caudal que se reporta y por lo tanto se incrementó la concentración de iones provenientes de sales.

Con respecto a la conductividad del agua cruda y la de los efluentes de las lagunas primarias 1 como la 2 se observa una significativa reducción en todas las campañas.

7.3.1.10 Potencial de hidrógeno (pH)

Para este estudio, los ámbitos de pH de las aguas crudas no alteran la dinámica biológica del sistema de lagunas y están en el ámbito general para aguas crudas domésticas.

En la literatura se reporta que en ausencia de la energía solar no hay síntesis de algas y estas inician un proceso de respiración tal que se consume el OD del agua produciendo anhídrido carbónico y por lo tanto los pH descienden. (Jánez, 1993), razón por la cual se justifica el descenso del pH en horas de la noche en todo el sistema.

En las 4 lagunas facultativas el pH varió a lo largo del día. La alta demanda de dióxido de carbono (CO_2) por parte de las algas, con el fin de realizar la fotosíntesis, aumenta conforme se alcance y sobrepase el medio día bajo condiciones de radiación solar. Ello provoca la disminución en el agua y por lo tanto la toma del mismo de los bicarbonatos (HCO_3^-), tal que se libera el ion OH^- elevando los valores de pH. (Cubillos, 1994), (Jánez, 1996) y (Tchobanoglou, 1996, 1996). Por las condiciones climáticas de Liberia este fenómeno se vio muy favorecido.

El efluente mantiene un pH elevado y por poco no cumple con lo establecido por el reglamento para el vertido de aguas residuales, principalmente en las muestras tomadas durante la tarde.

7.3.1.11 Profundidad real de las lagunas

Es importante señalar que previo a este estudio no llovió, dado que como ya se comentó, bajo precipitaciones en el sistema de lagunas varían los tiempos de retención hidráulicos por el exceso de agua en el afluente, elevando el nivel en las mismas. Para las lagunas primarias la similitud entre los valores era de esperar, dado que el fondo fue compactado durante su construcción y estas, a la fecha de la determinación, contaban con poco tiempo de operar.

En las lagunas secundarias, las variaciones pueden deberse al estado de compactación en la que se encontraba el fondo después de tantos años de operación.

7.3.1.12 Perfil de lodos

En las lagunas primarias los lodos se tienden a acumular en puntos cercanos a la entrada de las lagunas (puntos 1, 2, 3 y 6 y 7), aspecto lógico a pensar dado que provienen del afluente, mientras que el otro punto en que se acumulan se encuentra a favor de la dirección del viento. En las zonas centrales se reduce su cantidad. Otro posible punto en el cual se acumulen es cerca de la caja de registro del efluente, lugar en donde se toman las muestras. Debido a que tan solo cuentan con 7 meses en operación la cantidad de lodo es muy baja. Los lodos son de color café y no presentan olor alguno.

En las lagunas primarias, entre los 2 184 m³ reportados teóricamente y los 1 833 m³ para los análisis en campo hay 351 m³ de diferencia. Es de esperar una disminución en la cantidad de lodo en los análisis de campo dado a que este se va degradando y sedimentando en el fondo de la laguna, a parte que cierta cantidad sale a la superficie por acción de los gases liberados en la zona anaerobia conformando las natas. (Tchobanoglou, 1996)

Con el tiempo se justificará una mayor cantidad de lodo en las lagunas primarias que en las secundarias debido a la diferencia en cargas orgánicas entre ambas, al ser mayor en las lagunas primarias será mayor la materia orgánica a localizar en el fondo de las mismas.

Según lo determinado en los cálculos del proceso será necesario la limpieza de los lodos de las lagunas después de cada cierta cantidad de años de operación. La única forma de saber el momento idóneo será efectuando la altura de lodos en las unidades primarias (Jánez, 1993) Considerando la profundidad de cada laguna y la cantidad de lodo acumulado el proceso será necesario hasta dentro de varios años.

7.3.2 Evaluación fisicoquímica del Sistema de lagunas de Liberia.

Con el fin de que los análisis fueran representativos se llevaron a cabo muestreos compuestos de 20 horas para así conocer las características predominantes de las lagunas, dado que las aguas residuales varían en su contenido, composición y cantidad durante las horas del día, los días del año y durante los períodos secos o húmedos. (Tchobanoglou, 1996)

7.3.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

Fue notable en todas las campañas de muestreo un incremento del pH en el efluente de las lagunas primarias y secundarias. Lo anterior es común de encontrar en los sistemas lagunares facultativos en zonas de alta radiación solar, como lo es Liberia. Ante la disminución de dióxido de carbono en el agua, necesario para la respiración de las microalgas, se inicia un proceso de liberación del mismo de los bicarbonatos. El resultado de las reacciones es el desprendimiento del dióxido de carbono y de iones hidroxilo, por lo tanto se eleva el pH (Jánez, 1993). Los valores obtenidos tanto para las lagunas primarias como para las secundarias fueron los esperados y necesarios para las reacciones bioquímicas de las bacterias y microalgas

Los pH determinados en el campo a cada dos horas indican que los mayores incrementos ocurren después de las 2:00 pm y debido a que los muestreos fueron de 20 horas la muestra compuesta contiene agua dentro del rango máximo de pH. Los muestreos compuestos para la confección de los reportes operacionales se han practicado desde las 8:00 a 12:00 pm por lo era de esperar valores algo inferiores.

El efluente de la laguna primaria 2 presentó pH superiores al de la laguna 1. Lo anterior se puede correlacionar con las diferentes coloraciones en el agua, siendo mucho más verde la de la laguna 2. La campaña con mayores horas luz fue la número 3 lo cual se reflejó en los elevados valores del pH y reafirma lo comentado anteriormente. Se observó estabilidad en los pH de la laguna 3 con respecto a los determinados en la laguna 4 y es factible considerar que ambas poseían el mismo pH en cada campaña de muestreo.

Los valores altos de pH y temperatura facilitan el paso de amonio a la atmósfera. (Crites, 1998). Es de esperar bajos porcentajes de reducción de nitrógeno a causa del pH. Las bacterias que llevan a cabo la reducción de nitrógeno crecen a pH menores a 8.3 y las medias reportadas para el sistema de lagunas sobrepasan este valor. Esta puede ser una de las causas por las cuales los sistemas lagunares son poco eficientes en la remoción de nitrógeno del agua residual, tal como lo comenta Cubillos, 1994 y Tchobanoglou, 1996. El pH óptimo para tratamientos de tipo biológico se encuentra entre el rango de 6 a 8. (Peinador, 1995). Sin embargo, como se observa con la presencia de ciertas microalgas identificadas, el efluente final tiene cierta cantidad de nitritos y nitratos.

El agua de la descarga era alcalina y con pH que oscilaba entre los 7.67 a 7.95. La Legislación nacional establece como norma para el vertido de efluentes tratados un rango de pH de 5 a 9, por lo tanto al momento de la evaluación y con base en el análisis de la muestra compuesta el sistema de lagunas cumplió con la normativa.

7.3.2.2 Conductividad

Es claro el efecto de dilución que ejercen las aguas de lluvia. En las campañas de muestreo 1 y 3 (bajo condiciones de sequía) prevalecieron los valores más altos en comparación con los valores de la campaña 2 y 4 (con fuerte precipitaciones previas) tal que la concentración neta de iones en el agua disminuyó.

La conductividad es un parámetro fisicoquímico no normado en Costa Rica.

7.3.2.3 Oxígeno disuelto

Para el oxígeno disuelto la información se da en términos de concentración. El nivel mínimo de OD para sustentar la vida acuática es de 4.0 mg/L (Ramírez y Salazar, 1999). Como era de esperar, el agua cruda presentó cantidades mínimas de OD y no fueron necesariamente de 0 mg/L tal como siempre se considera en la literatura. Fue sorprendente observar los resultados en la salida en las lagunas primarias, dado que la cantidad de OD en sus efluentes era elevada, la necesaria para mantener la vida acuática de organismos superiores.

Las muestras de agua en el punto de salida correspondieron a aguas a una profundidad de 30 cm, a ese punto la cantidad de microalgas fue abundante facilitando la saturación con OD. Entre las lagunas primarias la salida de la laguna 2 contó con mayores niveles de saturación a excepción de la campaña de muestreo 4.

El OD presente en el agua de las lagunas se debe principalmente a la actividad fotosintética de las algas y un porcentaje menor a la influencia del viento. (Peinador, 1995). La producción de oxígeno por fotosíntesis ocurre a valores de pH entre 6.5 y 10.5 y disminuye si el pH asciende hasta valores de 10. Las temperaturas extremas para la producción de oxígeno es de 4 ° C a 35 °C y la temperatura óptima es de 20 °C (Cubillos, 1994). Entre las lagunas facultativas era de esperar mayor concentración de oxígeno en las lagunas secundarias que en las primarias, dado que este presenta más demanda en las últimas para que se lleve a cabo la oxidación de la materia orgánica.

En las lagunas secundarias el nivel de oxígeno disuelto aumentó un poco más para las campañas 1 y 2 mientras que para las campañas 3 y 4 permaneció prácticamente constante con respecto al efluente de las primarias. El leve aumento en las primeras pudo deberse a la profundidad en la cual se localizaron microalgas, generando mayor cantidad de OD.

Se observó variadas formas de vida superior en las 4 lagunas, principalmente en las 3 y 4 predominan: Coleópteros, géneros del orden Díptera y *Daphnia sp* (pulgas de agua) lo cual es un indicador biológico de saturación de OD en las lagunas.

El oxígeno disuelto también está sujeto a variaciones durante el día, aumenta con la fotosíntesis y disminuye con la respiración. Las concentraciones máximas de oxígeno disuelto se presentan durante el día en la capa superficial donde sobrepasa, en ocasiones, los 45 mg/L y disminuye en las noches hasta concentraciones de 0 mg/L (Cubillos, 1994). Estas variaciones en las concentraciones de oxígeno disuelto afectan los procesos aerobios y por consiguiente modifica la velocidad de estabilización y es necesario que las bacterias facultativas modifiquen sus sistemas metabólicos.

El efluente corresponde a una agua residual tratada saturada de OD, lo necesario para mantener condiciones de vida acuática superior en el río Liberia, afluente del río Tempisque.

7.3.2.4 Sólidos sedimentables

Las lagunas primarias ejercieron como excelentes sedimentadores dato que en la salida de las mismas (tanto en los análisis de la evaluación como en los reportes operacionales) los valores oscilaron entre 0 ml/L*h y 6 ml/L*h. La mayoría de esos sólidos sedimentables provinieron de lodos ventónicos que subían a la superficie y se acumularon en la parte oeste de las lagunas primarias por acción del viento. Parte de estos pasaron por el tubo con la TEE localizado a 30 cm de profundidad.

En todo momento las lagunas secundarias mostraron 0 ml/L*h de sólidos sedimentables en los efluentes, al igual que la descarga al río Liberia. Según los valores indicados para aguas residuales crudas el afluente del sistema de lagunas de Liberia es catalogado como bajo en sólidos sedimentables.

La cantidad de sólidos sedimentables a verter en cuerpos de agua está normada. El valor máximo de la descarga debe ser de 1 ml/L, por lo que el sistema de lagunas de Liberia cumplió con la normativa para este parámetro.

7.3.2.5 Sólidos totales.

La mayor reducción de sólidos totales ocurrió durante las campañas de muestreo 3 y 4 tanto para las lagunas primarias como para las secundarias. En este último se recuerda la presencia de lluvias en el día anterior y el alto caudal de salida en la misma. A pesar de ello la media de la eficiencia en su remoción fue muy baja ante la conversión del material orgánico biodegradable en material celular.

El afluente reportó como media 559 mg/L de sólidos totales, por lo que las aguas residuales que ingresaban en el momento del estudio se catalogaban como medias en este parámetro, según el cuadro 55 de la sección de resultados.

Los sólidos totales corresponden a un parámetro no normado en Costa Rica para el vertido de aguas tratadas a cuerpos de agua.

7.3.2.6 Sólidos suspendidos

En la entrada al sistema, la campaña de muestreo 1 presentó mayor cantidad de sólidos suspendidos que en las demás, lo cual es debido a la no presencia de precipitaciones en los días previos a la toma de las muestras. Caso contrario ocurrió en las campañas 2 y 4 en las que se observó el efecto de dilución por lluvias, principalmente en esta última. La media de los sólidos suspendidos fue de un valor de 173 mg/L en las 4 campañas de muestreo, por lo que el afluente se considera como débil para este parámetro, según el cuadro 55, pero se acerca mucho a los 200 mg/L, cantidad para considerarlo como medio (Tchobanoglou, 1996).

Para las lagunas primarias la disminución fue poca con respecto a la entrada. Las muestras para el análisis fueron de color verdusco, indicando la presencia de microalgas en los filtros las cuales aportan su peso dentro del parámetro. Según la literatura el crecimiento máximo de algas ocurre en a temperas entre los 25 a 30 °C (Crites, 1998) por lo que se justifica la leve eficiencia en este parámetro. Las lagunas secundarias nuevamente presentaron una leve disminución del valor y alta presencia de microalgas.

Son varios los autores que recuerdan lo elevado de este parámetro para las descargas de lagunas aerobias o facultativas dado que las algas desarrolladas durante la depuración del agua conforman la mayoría de los sólidos suspendidos de los efluentes. El peso específico de las algas determina si las células flotan, permanecen en suspensión o sedimentan. Las algas unicelulares sedimentan con dificultad. (Cubillos, 1994)

En sistemas aerobios y facultativos los valores pueden alcanzar los 140 mg/L (Crites, 1998). Para el estudio, la media del efluente se localizó en los 173 mg/L, por lo tanto lo sobrepasó. Nuevamente se reitera la necesidad de obtener datos reales según las características del trópico considerando el clima, como el de Liberia.

En Costa Rica este parámetro no es normado para el vertido de aguas tratadas a ríos, lagos u océanos. Con base en la media, la eficiencia reportada en la evaluación fue del 25.4 % para todo el sistema de lagunas.

7.3.2.7 Grasas y aceites

Tanto los reportes operacionales como los análisis realizados para la evaluación exhibieron valores muy bajos, lo cual es irónico y contrastante con respecto al diagnóstico del alcantarillado sanitario realizado en la ciudad, cuyos resultados establecen graves problemas por la presencia de grasas. Sin embargo, podría ser que la mayoría de las grasas se adhieran en los tubos del alcantarillado sanitario y por lo tanto se justificaría la poca cantidad de ellas en el afluente.

En la entrada al sistema de lagunas los valores oscilaron entre 16 mg/L y 18 mg/L en los análisis llevados a cabo en el Laboratorio Nacional de Aguas y 128 mg/L para el muestreo en el momento de máximo caudal y realizado por el Laboratorio CEQIATEC. Es importante indicar que ambos laboratorios difieren en el disolvente a emplear para la extracción, el Laboratorio Nacional de Aguas emplea cloroformo mientras que CEQIATEC utiliza ciclohexano.

Las grasas y aceites son de fácil degradación por parte de los microorganismos en la obtención de energía. Las grasas no biodegradables son perjudiciales debido a que forman capas en la superficie del agua que impiden el intercambio gaseoso, aumentando las características anaerobias (Sánchez, 1995), por lo tanto se debe de controlar su ingreso al sistema de lagunas, máxime cuando se tienen indicios de descarga de aceite lubricantes en el alcantarillado sanitario.

Las lagunas primarias presentaron alta capacidad de degradación de las mismas, principalmente la laguna 2. Lo anterior se evidenció en las 4 campañas de muestreo. El ligero aumento en las lagunas secundarias pudo deberse a la clorofila y a otras sustancias que se solubilizan en tejidos de naturaleza orgánicos encontradas en las microlagas y por su alta presencia en las lagunas facultativas de Liberia sus grasas también se disuelven en el cloroformo empleado para su extracción del agua residual. Lo anterior justificaría el leve aumento de estas en el efluente del sistema de lagunas con respecto a los valores reportados en los efluentes de las lagunas primarias.

Las grasas y aceites corresponden a un valor normado en Costa Rica. La cantidad máximo a verter en cuerpos de agua es de 30 mg/L, por lo que a la fecha estudio el sistema de lagunas cumplió con la normativa.

7.3.2.8 DBO

La literatura reporta que en los sistemas biológicos el propósito principal es el crecimiento continuo de biomasa en el interior de las células (bacterias heterótrofas) a partir de la materia orgánica y la expulsión de ellas materia inorgánica estabilizada. (Crites, 1998), reduciendo de esta forma la cantidad de materia orgánica con forme avance el proceso.

Las lagunas primarias no actuaron solamente como sedimentadores dado que en ellas ocurría la hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis para la estabilización de la materia orgánica, lo cual se observaba gran cantidad de burbujas con gases que provienen del fondo y por los porcentajes de eficiencia para las lagunas primarias. El efluente de la laguna primaria 1 presenta mayor DBO con respecto al de la laguna 2 a pesar de que tienen las mismas dimensiones. Es de suponer que el caudal de ingreso a esta laguna sea mayor que el de su compañera. El porcentaje de remoción de DBO para ambas es superior al 50 %, presentándose una media de 71.5 % para la laguna 1 y 78.2 % para la laguna 2. Varios autores como reportan que las lagunas primarias presentan un efluente con una DBO alta (Tchobanoglou, 1996) pero en el sistema de lagunas de Liberia las lagunas primarias tienen un importante efecto en la reducción de la materia orgánica. La remoción de DBO en los sistemas lagunares se encuentra muy vinculado con el tiempo de retención hidráulico y de la temperatura del agua en ellas. (Aldona *et al*, 1997)

Con respecto a las lagunas secundarias, las DBO reportadas fueron bajas, producto de la poca cantidad de materia orgánica que salía de las lagunas primarias. En general, la laguna 4 reportó menor DBO que la laguna 3. Esta última recibía un afluente ligeramente más cargado de materia orgánica a estabilizar que el de la laguna 4. Los porcentajes de eficiencia fueron menores que los reportados en las lagunas primarias, aspecto lógico de pensar ante la disminución de la carga orgánica por parte de las lagunas 1 y 2, con excepción de la campaña 1 en la que predominó un clima caluroso y brillo solar por varios días, facilitando las labores de los microorganismos.

No por ello, en condiciones de días con lluvias era de esperar bajos porcentajes de eficiencia. La campaña 4 indicó un buen funcionamiento del sistema de lagunas y fue evidente la capacidad de amortiguamiento de altos caudales en las mismas.

Según lo anotado en el cuadro 48 de los resultados, la media del afluente es media y tiende a acercarse al valor de 200 mg/L para catalogarla como media pero con tendencia a ser fuerte.

La DBO total del efluente del sistema de lagunas fue baja y no sobrepasó los 50 mg/L aceptado como máximo para el vertido de agua residual a los ríos, aspecto que se cumplió. En ninguna de las lagunas se obtuvieron eficiencias inferiores al 54 %, valor poco alcanzado en los análisis realizados entre 1991 a 1999 por parte del Laboratorio Nacional de aguas (Laboratorio Nacional de Aguas, 2000) previo a la ampliación del sistema de lagunas. Un porcentaje tan alto estima un efluente de buena calidad, de aguas mineralizadas y de baja demanda de oxígeno al cuerpo de agua que se vierta. (Cubillos, 1994), (Jáñez, 1993)

La DBO filtrada, sin la presencia de microalgas, contó con una media de 5 mg/L e indicó una mejor calidad del efluente. Para la ampliación del sistema de lagunas se estimaba una DBO filtrada inferior a 50 mg/L y cercana a los 30 mg/L. Es importante indicar que para alcanzar un tratamiento completo del agua residual se debe extraer del efluente el material celular (microalgas) generadas. Lo anterior debido al hecho de que el tejido celular es de naturaleza orgánica y aparecerá como medida de la DBO del efluente. (Tchobanoglou, 1996). Muchas de las microalgas de los sistemas lagunas mueren cuando se vierten a un río producto del cambio en su entorno, lo cual provoca que se depositen en el fondo del río y si lo anterior ocurre en zonas de remansos se favorece la formación de condiciones anaerobias. (Peinador, 1995)

En vista de la alta presencia de microalgas en las muestras tomadas para los análisis de la DBO es posible que su presencia altere la DBO calculada. Las algas tienen la capacidad de sintetizar oxígeno cuando están expuestas a la luz y utilizan el oxígeno en la oscuridad para la respiración y otras funciones del metabolismo. Lo anterior hace pensar que la presencia de algas en muestras tomadas para hacer las determinaciones de la DBO puede conducir a resultados errados en la medición del consumo de oxígeno durante el período de incubación. Varios autores afirman que las influencias de algas en los resultados de la DBO y encontró que estas fueron inferiores cuando las alícuotas contenían algas. (Cubillos, 1994)

7.3.2.9 DQO

Este parámetro es de utilidad para la caracterización de aguas residuales con presencia de descargas industriales debido a que en su determinación no solamente se oxida la materia orgánica, sino también la inorgánica. (Crites, 1998)

En la entrada al sistema para la campaña de muestreo 2 se presentó un valor de 701 mg/L, mientras que en las otras campañas de muestreo fueron mucho más bajos. Según el cuadro 49 de la sección de resultados, el afluente del sistema de lagunas expuso una concentración media de DQO entre los 500 y 1000 mg/L, por lo tanto se encuentra en un rango entre medio y elevado. Este aspecto estaría revelando la presencia de descargas químicas no similares a las que debería tener el agua residual doméstica (Tchobanoglou, 1996).

Desde la primera campaña hasta la cuarta y en los diversos puntos de muestreo se evidenció la disminución de los valores de DQO, lo cual indica que el sistema de lagunas tiende con el tiempo a incrementar su capacidad reductora para este parámetro, a pesar de la oscilación en la DQO de la entrada. Sin embargo, su tasa de remoción fue mucho menor con comparación con la de la DBO.

La laguna primaria 2 mostró mayor capacidad en reducir la DQO que la laguna 1, pero la laguna secundaria 4 superó la capacidad de remoción con respecto a la laguna 3, principalmente en los muestreos 3 y 4. En la campaña 4 se debe recordar el efecto de dilución causado por las precipitaciones.

El efluente del sistema registró valores similares durante las campañas 2, 3 y 4, siendo superior la de la campaña 1. La media de la eficiencia en la remoción de la DQO por el sistema fue del 53.4 %, la cual es baja y similar a la indicada en los reportes operacionales durante 1991 a 1999 por el Laboratorio Nacional de Aguas. (Laboratorio Nacional de Aguas, 2000)

7.3.2.10 Relación DQO/DBO

La literatura reporta que en desechos crudos domésticos ordinarios la relación DQO/DBO está en el ámbito de 1.7 a 2. Durante la evaluación se observó que varias campañas de muestreo la relación fue superior a 2, y por lo tanto el afluente no comparte características típicas de las aguas residuales domésticas. Según la literatura es de esperarse que la relación se incremente con forme avance el proceso de tratamiento de las aguas residuales, lo cual se muestra en el cuadro 51. Las relaciones altas de DBO/DQO indican que se tiene un desecho de elevado tratamiento.

7.3.2.11 Análisis de las natas.

En las diversas visitas al sistema de lagunas se evidenció gran cantidad de natas tanto en la laguna 1 como en la 2. En el campo y en el laboratorio se observó que estas están constituidas por lodos digeridos del fondo que suben debido a la emanación de gases desde la zona anaerobia. Con forme subían atrapaban microalgas y debido a ello adquirían el color verdusco. Su presencia se asoció con la producción de malos olores. Debido a ello es de vital importancia extraerlas diariamente, deshidratarlas y enterrarlas en fosas.

7.3.3 Análisis bacteriológicos realizados durante las campañas de muestreo

Fueron sorprendentes los valores tan altos reportados por el laboratorio Nacional de Aguas del AyA en la entrada como en la salida de cada una de las lagunas y del sistema de lagunas. Las aguas que alimentan la planta no eran exclusivamente aguas residuales, con ellas venían aguas de lavatorios, cocinas, duchas, entre otros, por lo que era de suponer valores más bajos en las mismas por dilución, tal como se reporta en Cubillos 1994. Así mismo debido a que el TRH promedio del sistema de lagunas fue superior a los 50 días se esperaba un mayor porcentaje de muerte de coliformes, a parte de las ya mencionadas condiciones climáticas de la zona se favorecería aún más su eliminación. Según la literatura la supervivencia de los coliformes es menor a medida que aumenta la temperatura y hay más radiación solar debido a la acción de los rayos ultravioleta (CEQIATEC, 1999) y según varios autores los sistemas lagunares no requieren de cloración del efluente final debido a la disminución de bacterias por sedimentación, antagonismo unas con otras, cambios en las temperaturas, radiación solar y por los elevados pH. Los dos últimos son importantísimos para la reducción de coliformes específicamente (Crites, 1998) Sin embargo nada de ello se ha cumplido para el sistema de lagunas antes y después del rediseño.

La cantidad de CF media para plantas en países desarrollados reportan de 1.0×10^6 por cada 100 ml de agua residual cruda (Jánez, 1993), lo cual contrasta con lo reportado para el Sistema de lagunas de Liberia.

El funcionamiento del sistema de lagunas es muy bueno ante las eficiencias reportadas, pero por lo elevado de la carga bacteriológica del afluente no permite la reducción de CF a niveles inferiores de 1000 CF por cada 100 ml de agua. Dicho comportamiento fue el mismo que se obtuvo para el sistema de lagunas durante el período de 1991 a 1999. (Laboratorio Nacional de Aguas, 2000)

La normativa vigente establece como máximo CF para aguas residuales tratadas a verter en cuerpos de agua un valor de 1000 por cada 100 ml de agua, por lo que en ningún momento el sistema de lagunas cumplió con la normativa.

Los reportes operacionales realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas indican que el río Liberia presenta alta cantidad de coliformes fecales previo a la descarga de las lagunas facultativas (Laboratorio Nacional de Aguas, 2000). De acuerdo con Peinador 1995 el río Liberia es un cuerpo receptor de aguas residuales crudas de diversos barrios de la ciudad.

La correlación entre los resultados de un análisis de coliformes fecales y de una determinación de *E. coli* ayuda a determinar el porcentaje de esas bacterias dentro de los coliformes fecales, empleadas en caracterizaciones sanitarias del agua. Para el muestreo 2 se observa que no hubo diferencia entre la cantidad de CF con la cantidad de *E. coli* reportada de tal forma que los CF estuvieron representados por *E. coli* en forma predominante, tanto en la entrada como en la salida del sistema de lagunas. Con respecto a la campaña de muestreo 4 en el agua cruda no varió la cantidad entre ambas pero fue menor la cantidad de *E. coli* en las salidas de las lagunas 1, 2 y 4. Es importante recordar el efecto de dilución por agua de lluvia durante esta campaña de muestreo.

En las lagunas facultativas la remoción de *E. coli* es alta y generalmente superan el 99 %. Según investigaciones realizadas en varios sistemas lagunares la remoción de *E. coli* aumenta con el tiempo de retención de las lagunas y este parámetro más importante a considerar que aumentar la temperatura en lagunas con poca profundidad (Cubillos, 1994). A pesar de que el TRH de todo el sistema de lagunas es mayor a 50 días el efluente es catalogado como descarga peligrosa en términos sanitarios.

7.4 Identificación de las microalgas predominante en cada de una de las lagunas facultativas del sistema de lagunas de La ciudad de Liberia.

7.4.1 Microalgas en las lagunas primarias.

Conocer el número y clase de algas presentes en estanques de aguas residuales es de gran utilidad para ver el avance del proceso de oxidación (Aquatic organisms, 1977). El crecimiento máximo de microalgas ocurre a temperaturas del agua entre los 25 a 30 °C, ámbito en el cual se encontró la temperatura del agua en los dos muestreos.

Es común encontrar euglenófitas (algas móviles) y cianobacterias en aguas que presentan elevada carga orgánica. Las lagunas primarias son ricas en materia orgánica en proceso de estabilización. Según la literatura se puede observar los géneros *Pandorina sp.*, *Spirogyra sp.* y *Euglena sp.* en aguas con exceso de nutrientes.

La muestra compuesta representó efectivamente a los microorganismos encontrados tanto en la entrada de aguas crudas como en el otro extremo lagunar. El dominio de las euglenófitas es un indicativo de que las lagunas cuentan con materia orgánica no estabilizada. Las euglenas son organismos, usualmente verdes, elongados y móviles debido a la presencia un flagelo (Prescott, 1970). Estas se encontraron en la laguna primaria 1 y no en la laguna 2 por lo que sería otro parámetro de que la laguna facultativa 1 recibe mayor afluente, por lo tanto mayor materia orgánica, que la laguna facultativa 2. La presencia de tales microalgas se correlaciona con la elevada cantidad de oxígeno disueltos en las lagunas primarias indicadas en la sección de resultados. Las algas tienen la capacidad de modificar el pH, la alcalinidad, el color y la turbiedad. En el proceso de estabilización de la materia orgánica del agua, las algas producen oxígeno disuelto y utilizan los subproductos químicos de proceso. Las pequeñas algas verdes unicelulares son las más importantes para mantener el nivel adecuado de oxígeno disuelto en los estanques de estabilización. (Sánchez, 1995)

Es común encontrar diferentes cianobacterias y algas verdes en aguas eutrofizadas que en aquellas con poca cantidad de materia orgánica. En la literatura se reporta que las primeras algas en sistemas eutrofizados son las fijadoras de nitrógeno como *Anabaena sp.*, *Nostoc sp.* y *Gloeotrichia sp.* y que posteriormente se sustituyen por otras no fijadoras de nitrógeno como lo son *Microcystis sp.*, *Chroococcus sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Lyngbya sp.* y *Phormidium sp.* Su crecimiento está directamente ligado a la cantidad de nitrógeno (Peinador, 1995) sin embargo, aún son desconocidas las necesidades ambientales específicas de muchas especies de algas. (Sánchez, 1995)

Con respecto a la laguna primaria 2 predominó otra microalga *Closterium sp.* a parte de *Ankistrodesmus sp.* en la entrada de la laguna 2. Es importante destacar que la mayoría de algas flageladas no presentaban signos de vida, lo cual puede deberse a que las muestras tomadas corresponden a agua superficial. La cianobacteria *Oscillatoria sp.* no es fijadora de nitrógeno, por lo que en el proceso de su floración inicia cuando el fósforo deja de ser limitante y el nitrógeno aún no lo es (Peinador, 1995). Debido a ello se espera alta presencia de nitritos y nitratos en la laguna primaria 2

La laguna 1 prestó las mismas características encontradas en las muestras de la primera campaña de muestreo, pero en la laguna facultativa 2 predominaron las euglenofitas y luego *Oscillatoria sp.*, por lo que era de esperar mayor carga orgánica en la misma y estabilización de esta ante la presencia de compuestos nitrogenados mineralizados.

Investigaciones realizadas reportan predominancia de los siguientes géneros de microalgas en lagunas facultativas (Cubillos, 1994): *Ankistrodesmus sp.*, *Chlorella sp.*, *Micractinium sp.*, *Scenedesmus sp.* y *Euglena sp.* En él se llegó a la conclusión de que cada género tiene diferentes valores específicos de intensidad de luz en las cuales la actividad fotosintética es máxima, pero los estudios en este campo todavía son escasos. Cabe destacar que hay similitud entre lo encontrado en Liberia con otros sistemas lagunares localizados en el trópico. (Cubillos, 1994)

A parte de microalgas, en las muestras de la laguna 2 se observaron gran cantidad de *Daphnia sp.* principalmente durante las primeras horas del día. Dentro de sus hábitos alimenticios están las algas por lo que ayudan en parte, a la remoción de las mismas y en la disminución de sólidos suspendidos (Jánez, 1993).

7.4.2 Microalgas en las lagunas secundarias.

El color verdusco del agua tratada que se vierte al río Liberia se debió a la alta presencia de *Oscillatoria sp.* En una laguna facultativa el espesor relativo de cada capa aerobia, anaerobia y facultativa depende de la carga orgánica que recibe la laguna, las condiciones ambientales del lugar y las características de los desechos a tratar. Así también, la concentración de microalgas es inversamente proporcional a la profundidad y turbiedad del agua y directamente proporcional a la concentración de nutrientes limitantes como el nitrógeno y el fósforo (Cubillos, 1994). Conociendo lo anterior, tal como se reportó en la laguna primaria 2, el dominio de *Oscillatoria sp.* es indicativo de la presencia de fuentes nitrogenadas mineralizadas, aspecto deseado a encontrar en lagunas secundarias dado que significa estabilización de la materia orgánica. La presencia de *Phacus sp.* en la laguna 3 se correlaciona con la presencia de materia orgánica en proceso de estabilización.

7.4.3 Microalgas del efluente del sistema de lagunas.

En ríos es de esperar dominancia de cianobacterias en los puntos próximos al vertido de aguas residuales, posteriormente con forme avanza el proceso de depuración predominarán las euglenófitas, luego las clorófitas y finalmente las diatomeas con forme el agua se clarifique y disminuya la cantidad de compuestos complejos. (Peinador, 1995)

En estudios realizados en 1995 y con base a los reportes biológicos de 1996 se indica que las microalgas predominantes en el sistema de lagunas de Liberia correspondían cianobacterias del género *Phormidium sp.* Así mismo el estudio llegó a conclusiones de que el río Liberia sufría un alto impacto por las descargas del sistema de lagunas ante la elevada carga orgánica del efluente. Se observó cambios en los microorganismos encontrados aguas abajo a este punto.

El vertido de aguas mineralizadas al río Liberia provoca que cambien las condiciones físicas, químicas y biológicas del mismo y por lo tanto la ecología de organismos que interrelacionan y las consecuencias dependen de las características particulares de cada afluente, aparte de la calidad y cantidad del efluente. (Peinador, 1995)

Las condiciones de turbiedad observadas aguas arriba del río se debieron a la presencia de partículas arenosas y arcillas pero no por las microalgas.

En las muestras del río 25 m después de la descarga del sistema todavía fue posible observar *Oscillatoria sp.* pero la cantidad de las mismas era muy baja, producto del efecto de dilución. En la campaña de muestreo 2 se tomaron muestras 100 m río abajo y en ellas no localizó *Oscillatoria sp.* pero sí *Chlorella sp.* en cantidades muy bajas, lo que podría indicar estabilización del río con forme se diluye la descarga del sistema de lagunas, sin embargo el río Liberia se ve continuamente afectado por descargas de aguas residuales crudas de viviendas tanto antes como después del vertido del efluente del sistema de lagunas.

8. CONCLUSIONES

- Los entes generadores de aguas residuales no doméstica problemáticos en La ciudad de Liberia fueron: el Hospital de La ciudad de Liberia, los mercados, los talleres y los lubricentros.
- El hospital de La ciudad de Liberia cumple con varios de los parámetros físico químicos normados en el Reglamento para el vertido y reuso de aguas residuales, pero no en la cantidad de coliformes fecales encontrados.
- La media reportada para el afluente del sistema de lagunas es de 2 678 m³/d. Dicho caudal varía en grandes proporciones en los períodos de verano y en los de invierno, lo cual revela un alto grado de infiltración y conexión de aguas pluviales en la red de alcantarillado sanitario.
- A pesar de la diferencia en los afluentes de las lagunas primarias y secundarias del sistema de lagunas ante la presencia de lluvias, las eficiencias en la remoción de la materia orgánica no es afectada.
- El efluente del sistema de lagunas cumple con todos los parámetros físico – químicos normados por la legislación actual menos con la descarga de sólidos suspendidos.
- Los análisis bacteriológicos indican que el efluente del sistema de lagunas no cumple con la cantidad máxima de coliformes fecales a verter en cuerpos de agua.

- Debido a las altas descargas de CF es necesario realizar estudios para obtener eficiencias en la remoción de otras bacterias patógenas como *Salmonella sp.*
- El efluente final del sistema es saturado en oxígeno disuelto y bajo en materia orgánica lo cual disminuye el impacto del vertido de aguas residuales al río Liberia.
- Las cargas orgánicas recibidas por las lagunas son bajas por lo que es posible incrementar el número de conexiones domésticas al alcantarillado sanitario de La ciudad de Liberia.
- La DBO disuelta reporta muy baja demanda bioquímica de oxígeno en el efluente, por lo que es de esperar una menor degradación ambiental si este pasara por un filtro de arena tal que retuviera las microalgas antes de su vertido al río Liberia
- Los parámetros fisicoquímicos analizados y las algas identificadas en las lagunas primarias indican diferencias en el funcionamiento de la laguna 1 con respecto a la 2, dado que es de esperar mayor ingreso de carga orgánica en la primera que en la segunda.
- Las lagunas secundarias y el efluente final muestran predominancia de microalgas típicas de aguas con alta cantidad de nitrógeno mineralizado y fósforo.

9. RECOMENDACIONES

- Con respecto a la descarga del hospital y los otros entes generadores de aguas residuales no domésticas es necesario notificar a las autoridades respectivas sobre los problemas que están causando y la construcción de trampas de grasas y aceites con el fin de disminuir el impacto de su descarga sobre la dinámica biológica que se lleva a cabo en el Sistema de lagunas de Liberia.
- Para el caso específico del hospital se debe de obligar el uso del clorador y del tanque de contacto para las aguas de los laboratorios y de la sección de hospitalización.
- Debido al elevado caudal que aporta el hospital de La ciudad de Liberia Dr. Enrique Baltodano es necesario llevar el control de los metros cúbicos por día de agua residual que este ente aporta al alcantarillado sanitario.
- Se recomienda realizar un estudio más profundo de las características de la descarga del sistema de lagunas con el fin de conocer el verdadero impacto de esta sobre el río Liberia al igual que el estudio de la presencia de bacterias patógenas, como *Salmonella sp.* en la descarga final.
- Ante la alta peligrosidad sanitaria del agua en las lagunas que conforman en sistema de lagunas se debe de controlar el ingreso de personas ajenas al plantel, con el fin de evitar accidentes.

10 BIBLIOGRAFÍA

Aldana, Gerardo; Bracho, Nibis; García, César y Herrera, Lenin. 1997 Análisis de las variables operacionales en la remoción de tratamiento de un sistema experimental de Lagunas. *Interciencia*. 22 (3). Mayo – junio. 138 – 142.

APHA, 1995. *Estándar Methods for the examination of water and wastewater*. 20 ed. APHA-AWWA-WPCF.

Aquatic organisms, 1977. *Key for the identification of Freshwater Algae Common in Water Supplies and Polluted Waters*. Material entregado por la Dra. Virginia Montero del Laboratorio de Servicios Químicos y Microbiológicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica 147 p.

Araya, Dagoberto. 1999. Informe final del proyecto: Construcción de 2 lagunas facultativas en el sistema de lagunas de Liberia para el tratamiento de las aguas residuales. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, Costa Rica, 55p.

Araya, Dagoberto; Catarinella, Gabriella y Ramírez, José Miguel. 1998. Diagnóstico sanitario, optimización y rehabilitación de los Sistemas lagunares para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Región Chorotega. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Agosto – Setiembre de 1998.

Atan, Ileana. 2000. Informe final: Estudio de optimización de sistemas del acueducto de Liberia. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, Costa Rica Abril. 130 p.

CEQIATEC, 1999. Microbiología Industrial, Seguridad Microbiológica y calidad. Curso de Microbiología Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica Taller de Publicaciones del ITCR 130 p.

Céspedes, María. 1983. Evaluación preliminar de la operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización de Liberia, Guanacaste. Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 101 p.

Crites, Ros. Small and decentralized wastewater mangement systems. USA, McGraw – Hill. 550 p.

Cubillos, Armando. 1994. Lagunas de Estabilización. Centro Interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial. Mérida, Venezuela 213 p.

Hardenbergh, W y Robie, Edwar. 1987. Ingeniería Sanitaria Editado por International Textbook Company. México, D.F. México. 583 p.

Instituto Metereológico Nacional 1992. Descripción preliminar del clima de Liberia, Guanacaste. Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas, Departamento de Agrometereología. San José, Costa Rica. 22 p.

Jánez, Fabián 1993. Lagunas de estabilización: teoría, diseño, evaluación y mantenimiento. Imprenta Monsalve. Ecuador.

Laboratorio Nacional de Aguas, 2000. Reportes operacionales emitidos durante 1991 al 2000. Unidad de Aguas Residuales, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Cartago, Costa Rica.

Minae, 1997. Reglamento para verter y reusar aguas residuales. Decreto N° 26042 – S – MINAE. Diario Oficial La Gaceta, 19 de junio.

Peinador, Mariano. 1995. Potencial impacto del turismo masivo sobre el tratamiento de aguas residuales en las ciudades de Cañas y Liberia. Tesis para optar por el grado de Licenciatura. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 96 p.

Prescott, G.W. 1970. The Feshwater Algae. Washington, USA. Brown company Publishers 345 p.

Ramírez, José Miguel y Salazar, Eduardo. Informe anual 1999. Calidad de las aguas residuales en los sistemas operados y administrados por el AyA. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Área Fisicoquímica, sección de aguas residuales. Costa Rica. Enero – febrero del 2000.

Sánchez, Vladimir 1995. Características biológicas y microbiológicas de las aguas residuales. CIECCA. Documento prestado por la Dra. Virginia Montero del Laboratorio de Servicios Químicos y microbiológicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 82 p.

Tchobanoglous, George. 1996. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. México. D.F. México. McGraw – Hill 752 p.