D*IAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES GENERADAS POR UN INGENIO AZUCARERO, DEPARTAMENTO DEL CA*

EVER TULIO GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ
YULI EUGENIA MEZU PONTÓN

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TULUÁ – VALLE
2011

2011D*IAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES GENERADAS POR UN INGENIO AZUCARERO, DEPARTAMENTO DEL CAUCA*

EVER TULIO GUTIERREZ GUTIERREZ
YULI EUGENIA MEZU PONTÓN

Proyecto de trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Directora
Sandra Juanita Torres León
Ingeniera Ambiental y de Recursos Naturales

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TULUÁ, VALLE
2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Presidente del jurado

_____

Jurado

_____

Jurado

Tuluá, Febrero de 2011

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO, por su infinito amor, por todo lo que me ha dado y por ayudarme y acompañarme a llegar hasta aquí. Por no dejarme en los momentos en que más lo necesite a pesar de todo.

A MI ABUELA, Nohora Cilia Lucumi, por acompañarme desde el cielo

A MI MADRE, Zuleima pontón Lucumi, por su infinito amor y apoyo, y siempre ser esa voz de aliento, lo más difícil es empezar

A MI PADRE, Ónix Alberto Mezu, por el sacrificio que sé, que significo darme la posibilidad de estudiar, por su amor y paciencia gracias papito te amo

A MIS HERMANAS, Adela, Zaira y Laura, por el amor que siempre me han brindado y ser una parte muy importante de mi vida.

A MAURICIO CARABALI, por su paciente amor y ante todo un amigo, un compañero, Gracias por hacerme sonreír en los momentos de adversidad.

GRACIAS

Yuli Eugenia Mezu Pontón

AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial, quisiera agradecerle de todo corazón a la Ingeniera Ambiental Sandra Juanita Torres León, Analista de Planta PTAR Tuluá Directora de este proyecto.

Al Doctor Omar Velásquez, Ph.D por toda su colaboración, paciencia y ser un verdadero guía.

Al Ingenio Azucarero por permitirme realizar mi práctica ambiental y darme la oportunidad de realizar este proyecto.

A la profesora Sandra Santacoloma Londoño por ser esa voz de aliento y ánimo para culminar esta etapa de mi vida.

Al profesor Rubén Darío Álzate por su total apoyo para la realización de este documento.

A Luis Alberto González, José Cosme, que hacen parte del Ingenio Azucarero por su profunda colaboración en el levantamiento de la información.

A la Unidad Central del Valle del Cauca por todos los conocimientos que me transmitieron y ser un excelente apoyo en mi proceso de aprendizaje.

Yuli Eugenia Mezu Pontón

DEDICATORIA

En primera instancia quiero darle la honra y gloria a DIOS, enaltecer su santo nombre, porque gracias a Él hoy me encuentro culminando una nueva etapa de mi vida.

Como no dedicar este logro a la persona que con su trabajo, esfuerzo, paciencia, AMOR y apoyo incondicional ayudo enormemente a la consecución de esta meta. Esa persona es mi MADRE, **María Hercilia Gutiérrez.**

También quiero reconocer el inmenso apoyo que me brindo mi PADRE, **Hebert Tulio Gutiérrez.** Gracias por los concejos y por enseñarme esos valores que han hecho de mí una mejor persona.

De igual manera quiero dedicar este logro a mis hermanos, Martha Liliana (Q.E.P.D), Pablo Emilio, María Judith, Luis Alfredo, Leandro Gutiérrez, Diego Armando y Rodolfo González. A ellos mil Gracias por ser parte de mi vida.

Quiero hacer partícipe de este logro a Jorge Orlando Parada, por siempre estar al lado de mi MADRE, cuidando y velando por su bienestar.

Igualmente a Angélica Rendón González, por estar en los momentos que mas la he necesitado, gracias por esos momentos tan maravillosos que he vivido a tu lado.

A mi Abuela que ya no está con nosotros, María Elisa Bañol, por haberme regalado la mejor Madre del mundo.

Y por ultimo quiero dedicarles este logro a todos mis compañeros y amigos, que hicieron parte de esta gran etapa.

Ever Tulio Gutiérrez Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera muy especial el apoyo, motivación y conocimiento que recibimos constantemente por parte de la Ingeniera Ambiental y directora de nuestro trabajo de grado, Juanita Torres León.

A la Unidad Central del Valle y todos sus profesores, en especial a los Ingenieros Rubén Darío Álzate, Víctor Hugo Gordillo y Sandra Santacoloma, los cuales por medio de esta gran institución nos brindaron sus conocimientos en las asignaturas relacionadas con el tema.

A Mi Hermano e Ingeniero Industrial Leandro Gutiérrez, el cual con su conocimiento aporto gran beneficio en el desarrollo de este trabajo.

A la familia MEZU PONTON, por su hospitalidad en el tiempo que estuve realizando mi practica en el Ingenio Azucarero.

También quiero agradecer a Luis Alberto González, operario del Departamento de Gestión Ambiental, por su amistad y compañerismo.

Por último gracias al Ingenio Azucarero por haberme permitido desarrollar la práctica y trabajo de grado en dicha compañía.

Ever Tulio Gutiérrez Gutiérrez

RESUMEN

La monografía presenta un diagnóstico del sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales generadas por un ingenio azucarero ubicado en el departamento del cauca; además plantea alternativas con viabilidad técnica para que en un futuro se puedan implementar y contribuyan a mejorar la operación, funcionamiento y eficiencia. El sistema de tratamiento evaluado comprende una serie de lagunas de oxidación que trabajan secuencialmente, son tres anaerobias y una facultativa.

Como herramienta para diagnosticar el sistema de tratamiento de las aguas resiaduales industriales (STARI) se efectuaron descripciones y evaluaciones de las estructuras que comprende el sistema y se realizaron caracterizaciones del afluente y efluente en el periodo de estudio que comprende de junio a diciembre de 2010, los parámetros evaluados son Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Ácidos Carboxílicos, Sacarosa, Fructosa, Glucosa, además de los registrados in situ: caudal, temperatura y un seguimiento especial de pH. Todos los análisis se realizaron y se fundamentan de acuerdo al Standard Methods for the Examination of Wáter and WasteWater de APHA-AWWA Edición 21 de 2005 y los resultados se compararon con los exigidos por el Decreto 1594 de 1984.

Se realizó levantamiento del fondo, a las dos primeras lagunas anaerobias, con la finalidad de determinar el nivel de lodos y evaluar los efectos causados por la colmatación de estos en la pérdida de eficiencia.

Por último, en las dos primeras lagunas anaerobias, se calculan las variables de funcionamiento más importantes como carga orgánica superficial y volumétrica, tiempo de retención, eficiencia esperada, entre otros, del sistema actual; se construye una tabla que presenta y evalúa la comparación entre los criterios de diseño con los calculados, y se concluye que el sistema está sobrecargado.

Entre los resultados obtenidos se obtuvo que el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales esta presentado bajas eficiencia de remoción de carga orgánica.

ABSTRACT

The monograph presents a diagnosis of the system treatment of the industrial waste water generated by a sugar ingenuity located in the department of the Cauca, in addition it raises alternatives with technical viability in order that in a future they could be implemented and help to improve the operation, functioning and efficiency. The system of evaluated treatment understands a series of lagoons of oxidation that work in sequentially, they are anaerobic two a physician and finally that of ripeness

As a tool to diagnose descriptions and evaluations were made of the structures comprising the system of treatment and characterizations were performed influent and effluent in the study period from June to December 2010, the evaluated parameters are Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD5), total suspended solids (TSS), carboxylic acids, sucrose, fructose, glucose, in addition to those recorded in situ, flow, temperature and special monitoring of pH. All tests were performed and are based according to Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA Issue 21, 2005 and the results compared to those required by Decree 1594 of 1984.

Background survey was conducted at two anaerobic ponds in order to determine the level of sludge and to evaluate the effects caused by the clogging of these in the loss of efficiency.

Finally, in the first two anaerobic ponds are calculated most important operating variables such as surface and volumetric organic load, retention time, expected efficiency, among others, the current system, it builds a table that presents and evaluates the comparison between design criteria with those calculated, and conclude that the system is overloaded.

Among the results obtained that the system of industrial wastewater treatment is presented low removal efficiency of organic load.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. DEFINICION DEL PROBLEMA 17

2. JUSTIFICACION 21

3. OBJETIVOS 23

3.1. GENERAL 23

3.2. ESPECIFICOS 23

4. MARCO REFERENCIAL 24

4.1. MARCO GEOGRAFICO 24

4.1.1.ubicacion del departamento del cauca 24

4.1.2. localización del ingenio azucarero 25

4.1.3. características generales de la subcuenca del rio palo 26

4.2. MARCO TEORICO

4.2.1. Consumo de Agua por Parte de los Ingenios Azucarero 27

4.2.2. Agua Residual Industrial 27

4.2.2.1. Composición de las Aguas Residuales Industriales 27

4.2.3. Contaminación de Interés en Tratamiento de aguas Residuales 28

4.2.4. Proceso de Fabricación de Azúcar en el Ingenio 28

4.2.4.1. Preparación y Molienda 29

4.2.4.2. Alcalización y Clarificación de jugo 30

4.2.4.3.Filtración y Cachaza 31

4.2.4.4.Evaporación 31

4.2.4.5.Clarificación de Meladura 32
4.2.4.6.Cristalización de Sacarosa 32
4.2.4.7 Centrifugación 34
4.2.4.8 Secado 34
4.2.4.9 Empaque 35
4.2.5. Composición de las aguas residuales industriales ingenios 37
4.2.6. Origen de las aguas residuales del proceso industrial 37
4.2.7.Tratamiento de aguas residuales 37
4.2.7.1.Tratamiento primario 37
4.2.7.2.Tratamiento secundario 38
4.2.7.3.Tratamiento terciario 38

4.2.8.Sistema de lagunas 38
4.2.8.1.Laguna aerobia 38
4.2.8.2.Laguna anaerobia 39
4.2.8.3.Laguna facultativa 39
4.2.8.4.Laguna de maduración 40

4.3.MARCO HISTORICO 41
4.3.1.Mision 41
4.3.2.Vision 41
4.3.3.Certificaciones 42
4.4.MARCO CONCEPTUAL 44
4.5. MARCO LEGAL 47
4.5.1. Parámetros de Cumplimiento 51
5. METODOLOGIA 52

5.1. Revisión de Literatura 52

5.1.1. Información Primaria 52

5.1.2. Información Secundaria 52

5.2. DESCRIPCION Y ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCURAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES 52

5.3. CARACTERIZACIONES Y ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES GENERADAS EN EL INGENIO AZUCARERO 53

5.4.COMPROVACION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO CON LOS PARAMETROS ACTUALES DE OPERACION 54

6. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS 55

6.1. DESCRIPCION Y ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES 58

6.1.1. Aportantes 60

6.1.1.1. Separador de Grasas y Aceite 60

6.1.1.2. Piscina de Enfriamiento 62

6.1.1.3. Fabrica 64

6.1.2. Retratamiento 66

6.1.2.1.Caja Recolectora 66

6.1.2.2.Rejilla 67

6.1.2.3.Desarenador 68

6.1.2.4.Foso de Bombeo 69

6.1.3.Sistema de Lagunas 71

6.2.CARACTERIZACIONES DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES INGENIO AZUCARERO 72

6.2.1. Monitoreo pH y Caudal en las Lagunas 72

6.2.1.1. Tabulación de la Información 72

6.2.1.3. Interpretación de las Gráficas 2, 3, 4, 5, 6,7. 78

6.2.2.CARACTERIZACIONES DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SISTEMA DE LAGUNAS EN EL PERIODO DE ESTUDIO 79

6.2.2.1. Tabulación de la Información 80

6.2.2.3.Interpretacion de las Gráficas 8 a la 17 86

6.2.3.Barrido de pH en el Interior de la Laguna 1 88

6.2.3.1.Justificacion 88

6.2.3.2.Interpretacion de Resultados 89

6.2.4.CARACTERIZACION DE ANALISIS QUIMICOS ESPECIALES 89

6.2.4.1.Justificacion para la Realización de los Análisis 89

6.2.4.2.Tabulacion de Información 89

6.2.4.3. Correlación de Concentración en mg/L de DBO_5 Sacarosa, Fructosa y Glucosa en el Efluente. 92

6.3.1.Interpretacion Grafica 7 y 8 y Grafica 23 95

6.4. COMPROBACION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO CON LOS PARAMETROS ACTUALES DE OPERACIÓN. 96

7.CONCLUSIONES 101

8.RECOMENDACIONES 105

9.BIBLIOGRAFIA 108

TABLA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Aportes de cargas DBO5 (Ton/día) 2009, cuenca Rio Cauca	21
Gráfica 2. Comportamiento del pH en el Afluente	75
Gráfica 3. Comportamiento de pH en el Afluente de la Laguna 1, Afluente Laguna 2, Efluente Laguna 3 y 4.	75
Grafica 4. Comportamiento de pH en el Afluente del STARI	76
Grafica 5. Comportamiento de Caudal en el Afluente del STARI	76
Grafica 6. Comportamiento del Caudal en el Efluente	77
Grafica 7. Comportamiento de la Temperatura en el Afluente	77
Grafica 8. Comportamiento del Caudal en el Afluente y Efluente	81
Grafica 9.Comportamiento de la Temperatura en el Afluente y Efluente del STARI.	81
Grafica 10 Concentración de DBO_5 mg/L en Afluente y Efluente del STARI.	82
Grafica 11. Carga de DBO_5 kg/día del STARI	82
Grafica 12. Remoción de Carga de DBO_5 kg/día del STARI.	83
Grafica 13.Concentracion de DQO mg/L en Afluente y Efluente del STARI.	83
Grafica 14. Carga de DBO_5 kg/dia en Afluente y Efluente del STARI	84
Grafica 15. Concentración de SST mg/L en Afluente y Efluente del STARI	84
Grafica 16. Carga SST kg/día Afluente y Efluente del STARI	85
Grafica 17. Remoción de Carga de SST kg/día del STARI	85
Grafica 18. Correlación de Concentración en mg/L de DBO_5	92
Grafica 23.Altura de Lodos Laguna 1 y 2	94

CONTENIDO DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Normatividad para Vertimientos de Aguas Residuales Industriales 48

Tabla 2. Condiciones permisibles para un vertimiento a un cuerpo de agua. 51

Tabla 3. Parámetros de Diseño de la laguna 1 y 2 70

Tabla 4. Área y volumen de las lagunas 3 y 4. 71

Tabla 5. Resultados de Monitoreo de pH y Caudal del Afluente del STARI 72

Tabla 6. Resultados de Monitoreo de pH en el Afluente de la Laguna 1 Afluente Laguna 2,Efluente Laguna 3 y 4 73

Tabla 7. Resultados del Monitoreo de pH caudal y Temperatura en el Afluente del STARI 74

Tabla 8. Resumen de Caracterizaciones de Parámetros Físico Químicos en el STARI. 80

Tabla 9. Parámetros de Diseño Comparados con Parámetros Actuales de Operación. 96

TABLA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1. Río Palo	26
Fotografía 2. Vista panorámica Ingenio Azucarero, Departamento del Cauca.	42
Fotografía 3.Planta de Producción Ingenio Azucarero	58
Fotografía 4. Separador de grasas y Aceites	61
Fotografía 5.Descarga del Efluente de Separador de grasas	62
Fotografía 6.Piscina de Enfriamiento	63
Fotografía 7.Equipos obstruidos	64
Fotografía 8.Filtraciones de agua	64
Fotografía 9.Falta de aseo	65
Fotografía 10.Derrames en Fabrica	65
Fotografías 11 y 12. Colmatación de Canales	66
Fotografía 13.Caja recolectora	66
Fotografía 14 y 15. Estado de la rejilla	68
Fotografía 16.Vista del Sedimentador	69
Fotografía 17 y 18.foso de bombeo	69
18,19. Foso de Bombeo	69

TABLA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Mapa del Departamento del Cauca, Ingenio Azucarero	25
Imagen 2. Molienda de caña	29
Imagen 3. Clarificación del jugo	30
Imagen 4. Sub-proceso de evaporación	31
Imagen 5. Sub-Proceso de Clarificación de meladura	31
Imagen 6. Sub-Proceso de tachos	32
Imagen 7. Control de tachos	33
Imagen 8. Cuarto de control	33
Imagen 9. Centrifugas	34
Imagen 10. Secadora de Azúcar	34
Imagen 11. Empacadero	35
Imagen 12. Certificado de Gestión de calidad	43
Imagen 13.Esquema y Dimensiones Caja Recolectora	67

TABLA DE DIAGRAMAS

Pág.

Diagrama 1. Esquema general de producción de Azúcar de caña 36

Diagrama 2. Identificación de aspectos ambientales generados en el proceso de producción. 55

Diagrama 3. Origen y características de las aguas residuales industriales del Ingenio Azucarero. 56

Diagrama 4. Caudal de agua residual generado en cada Sub-proceso productivo 57

Diagrama 5. Esquema General del STARI del ingenio Azucarero. 59

Diagrama 6. Medicion Altura de pH Laguna 1 88

Diagrama 7.Medicion Altura de Lodos Laguna 1 93

Diagrama 8. Medicion Altura de Lodos Laguna 2 94

NOTA ACLARATORIA

Por políticas internas del Ingenio Azucarero donde se desarrolla el trabajo de grado, no se permite colocar el nombre de la empresa; por lo tanto, para entendimiento se denominará “El Ingenio Azucarero”.

Es imprescindible aclarar que los problemas identificados y expuestos en esta monografía pertenecen específicamente a ésta compañía y no generaliza ni representa problemáticas de otros Ingenios Azucareros.

INTRODUCCION

El medio ambiente se puede definir como el equilibrio de las fuerzas que rigen la vida de un grupo biológico, por lo que tiene una estrecha relación con las ciencias de la naturaleza. Se considera como ataque a este equilibrio medio ambiental cualquier acción desde la chimenea de una fábrica al ruido de un coche, la acumulación de residuos en una playa, el vertido de aguas usadas a un río.

La contaminación del agua se define como el vertido de residuos sólidos o líquidos, el depósito de material o cualquier otra acción susceptible de causar deterioro o incrementar el grado del mismo, en la calidad de las aguas, modificando sus características físicas, químicas biológicas y bacteriológicas[1].

Estas actividades hacen que se generen productos residuales, muchos de los cuales pasan al agua, que actúa como vehículo de transporte y en consecuencia de ser tratada antes de ser eliminada. La protección de los recursos de agua contra la contaminación es un requisito básico para el desarrollo de una sana economía, el mantenimiento de la salud pública y la conservación de los recursos[2].

El cultivo e industrialización de la caña de azúcar en el valle geográfico del rio cauca, ha tenido una importante fuente de ingreso de divisas. Sin embargo, en el proceso

Productivo se generan gran cantidad de desechos contaminantes, lo cual permite aumentar las investigaciones dirigidas a disminuir y controlar el impacto negativo en el ambiente siendo el estudio de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales importante para su vital control.

---

[1]. Ulloa, J.1993 los distintos sistemas de tratamiento de aguas residuales y su ámbito de aplicación. Parámetros físicos, químicos y biológicos en tratamiento de aguas, basuras y escombros en el ámbito rural. Editorial agrícola española S.A. Madrid, España. 406 p.

[2]. Gloyna, E. 1973. Estanques de estabilización de aguas residuales organización mundial de la salud. Ginegra.192 p.).

Es por esta razón se contempla en este trabajo, el tratamiento de aguas residuales en lagunas la cual presenta una tolerancia bastante baja a cambios medioambientales, tanto en carga orgánica aplicada como en temperatura y pH.

Permitiendo una flexibilidad en estas variables, que en muchas ocasiones pueden presentar circunstancias en las que el proceso no pueda desarrollarse correctamente. Dando lugar a la aparición de mal funcionamiento

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El inadecuado tratamiento de las aguas Residuales Industriales, se ha convertido en uno de los mayores problemas que afrontan las industrias en la actualidad, el uso irracional del agua, así como los ineficientes programas de producción más limpia entre otros, hace que se dificulte aún más el tratamiento de estas aguas. Ocasionando esto diferentes problemas al ambiente y de igual manera a las empresas por todos los gastos que esto demanda.

En los próximos 25 años, según las Naciones Unidas, de los 6000 millones de habitantes actuales se pasará a 8300 millones en el año 2.026. El problema es aún más grave si se considera la contaminación de ríos y lagos mundiales, pues aunque la escasez se debe a ciclos climatológicos extremos, la actividad humana está jugando un papel muy importante en el aumento de la escasez y lo que se considera "stress del agua" o indicación de que no hay suficiente agua en calidad y cantidad para satisfacer las necesidades humanas y ambientales.

El consumo doméstico de agua se ha multiplicado por nueve y el consumo de agua para usos industriales se ha multiplicado por cuarenta. La disminución de las reservas de agua se verá agravada con el aumento de la población mundial, estimada hacia el 2.026 en alrededor de un 40% sobre la población actual[3].

De acuerdo al banco mundial, menos del 5% de las aguas residuales en el mundo reciben tratamiento. Estas son por lo general vertidas en aguas superficiales creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología, y los animales. En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales.

La diarrea y la gastroenteritis se encuentran entre las dos principales causas de muerte en el mundo y en especial la región de Latinoamérica. El agua no segura para beber y la contaminación a través de desechos de aguas residuales son los

[3]MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Guía de ahorro y uso eficiente del agua, 2008.

responsables por la gran mayoría de estas muertes[4].

La diarrea, que causa aproximadamente el 7,3% de la mortalidad infantil, es la enfermedad hídrica más común, y hay aproximadamente 2,9 casos de enfermedad diarreica por niño/año[5].

Un informe de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, muestra una gran problemática en cuanto al manejo de los vertimientos líquidos industriales, ya que afirma que la ausencia de eficientes sistemas de tratamiento de aguas residuales, no solo genera enfermedades y muertes de personas sino que también se está presentando graves daños sobre los recursos naturales. Uno de los daños es la contaminación de las aguas subterráneas, que según este estudio puede afectar situaciones ambientales vinculadas como cambios en el uso de la tierra, cambios climáticos, sequías, salinización del suelo y subsidencia de los terrenos entre otros[6].

Como se puede ver esta problemática es de gran importancia, a la cual se le debe prestar la importancia necesaria para evitar o mitigar los impactos negativos que las aguas residuales puedan generar.

El lugar de estudio es un Ingenio Azucarero, ubicado en el Departamento del Cauca, dedicado a la producción y comercialización de azúcares y mieles. Posee alrededor de 20.000 hectáreas de terrenos destinados al cultivo de la caña de azúcar y alrededor de 200.000 metros cuadrados asignados a la planta física de la fábrica y áreas administrativas. Su personal se compone por alrededor de 1.700 personas afiliadas y 1.500 contratistas.

En cuanto a producción se tiene que el Ingenio muele aproximadamente 1.800.000 t de Caña y produce 200.000 t de Azúcar por año.

El Ingenio Azucarero tiene implementada la tecnología de lagunas para tratar sus vertimientos líquidos industriales, con el fin de disminuir los agentes contaminantes, reducir el riesgo sobre la salud de los habitantes de este sector y mitigar los impactos negativos que se puedan ocasionar a los ecosistemas receptores de dichas aguas.

Actualmente el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales del Ingenio

[4]REYNOLDS Kelly A. MSPH, PH, Tratamiento de aguas residuales en América Latina, Septiembre/Octubre

[5]FONDO DE NACIONES UNIDASPARA LA INFANCIA, Informe Mortalidad Infantil, año 2009.

[6]PÁEZ Gustavo, Indicadores Ambientales Del Agua Subterránea Valle del Cauca, CVC.

Azucarero, está confirmado por tres lagunas fuanaeróbicas y una facultativa. Dichas lagunas tratan las aguas residuales generadas en el proceso de producción de azúcar, los excedentes de una piscina de enfriamiento y las descargas del separador de grasas (la cual trata los efluentes que vienen del subproceso de molienda). La descarga del efluente final se realiza al Rio Palo.

En la actualidad el sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales (STARI) no está presentando el funcionamiento esperado para el cual fue diseñado. Los resultados de los análisis de calidad del sistema de tratamiento de los años 2009 y 2010 indican una alta carga orgánica vertida, lo cual ha generado algunas observaciones por parte de la Corporación Regional del Cauca (CRC), en cuanto al cumplimiento de requerimientos de remoción de carga contaminante de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Lo anterior ha hecho que la empresa no alcance las metas internas referentes a la remoción de carga contaminante, que para el 2010 se establecieron por encima del 60%.

El problema que presenta el STARI (poca remoción de carga contaminante) ha generado un aumento en los pagos por tasas retributivas a la CRC,que alcanzan la suma de $ 10.000.000 mensuales, lo que evidentemente es un valor muy alto, más aun sabiendo que se podrían disminuir con un tratamiento más efectivo.

Aparte del problema financiero generado por el vertimiento aguas residuales con tan alta carga contaminante, se tiene la problemática ambiental relacionada con la genera contaminación del cuerpo de agua receptor, que recibe la mayor cantidad de contaminantes, lo que trae como consecuencia la disminución del oxígeno disuelto indispensable para la vida de los animales y de la conservación del plancton, que son la fuente de alimento de gran número de ellos.

Además el punto de descarga y sus alrededores se ven afectados por olores desagradables, presencia de aves de rapiña, insectos (zancudos, moscas, mosquitos) y roedores, los cuales pueden afectar las salud de las personas que se encuentran cerca de estos lugares.

Entre las principales enfermedades asociadas a este tipo de vectores se encuentran: el cólera, la disentería, el tracoma, lombrices parasitarias, fiebre

amarilla, dengue, leptospirosis, entre otras[7].

Es importante tener en cuenta que actualmente el Ingenio Azucarero ha recibido varias quejas informales por parte de vecinos del sector, personas que afirman que las aguas que salen de la industria están ocasionando molestias en los habitantes, debido a que incomoda la realización de sus actividades cotidianas. Este tipo de quejas pueden traer consigo inconvenientes para el Ingenio Azucarero, tales como el desprestigio del nombre y sanciones por parte de la autoridad competente.

[7]CATIC. 2002 Guía para el Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades. Informe Técnico No. 139. Pg 39-42.

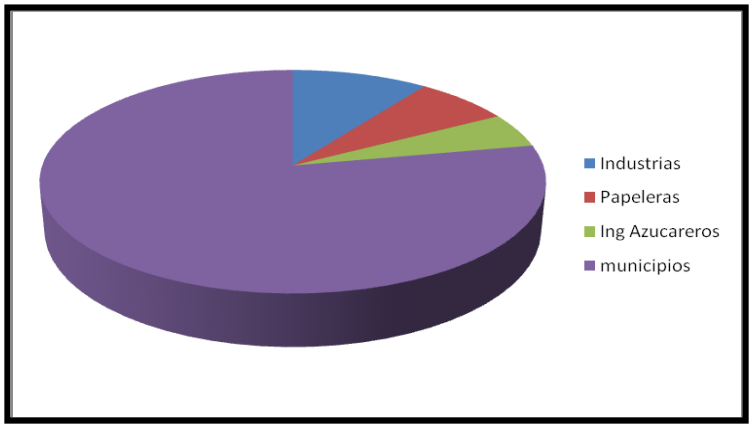
2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, los Ingenios Azucareros han implementado estrategias para el uso sostenible del agua, a través de acciones para el inmediato y largo plazo que buscan la conservación y prevención del recurso hídrico.

Gracias al trabajo realizado durante los últimos años y a las cuantiosas sumas invertidas en ello, el sector azucarero es hoy en día el que menos carga orgánica arroja al Rio Cauca, como se observa en el gráfico[8].

Grafica 1. Aportes de cargas DBO5 (t/d) 2009, cuenca Rio Cauca

Fuente: CVC



Página wed: ***http://www.asocana.org/documentos/862010-02E4783D-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D,B9B9B9.pdf***

Fecha: 21 de febrero de 2011 a las 12:00 p.m.

Con el fin de contrarrestar la problemática del inadecuado tratamiento de las aguas residuales industriales, los Ingenios productores de azúcar implementan la tecnología de lagunas para el tratamiento de sus efluentes residuales. Este tratamiento es uno de los procesos naturales más importantes y pueden considerarse, en términos generales, como una solución muy conveniente para el

[8]ASOCAÑA, Informe de gestión de los Ingenio Azucareros. Pg 5. 2009.

tratamiento de efluentes cuando las condiciones locales lo permiten (tipo de suelo, área requerida, temperatura etc.). Mediante una acción física y por una conjunción de procesos desarrollados por bacterias y algas, se puede lograr una eficiente depuración de los vertimientos industriales, con un costo mínimo de mantenimiento[9].

Teniendo en cuenta el problema que se está generando por el vertimiento de las aguas residuales del Ingenio Azucarero al Río Palo, surge la necesidad de realizar un proyecto en el cual se determinen las causas de por qué el sistema de lagunas, que tiene implementado el Ingenio para el tratamiento de las aguas industriales, no está funcionando de la manera esperada y así, más adelante, poder plantear una alternativa para el mejoramiento del sistema.

Aquí es donde se hace importante la elaboración del presente proyecto, puesto que ayudará a tener una visión más clara de cómo es el estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales (STARI). Con un diagnóstico acertado, el Ingenio Azucarero tendrá las herramientas suficientes para optimizar su STARI y así invertir los recursos financieros, humanos y tecnológicos en acciones u obras que conlleven a la solución real y efectiva del problema, estabilizando y garantizando el buen funcionamiento del sistema que conlleve al cumplimiento de la normatividad en vertimientos, mejore las condiciones ambientales del Río Palo y vaya en pro del desarrollo social, ambiental y económico de la región.

[9]AGUA VIVA LTDA, Documento Técnico Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Diagnosticar el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales generadas por un Ingenio Azucarero, en el departamento del Cauca, como herramienta indispensable para la optimización del sistema.

3.2. ESPECIFICOS

- ✓ Realizar una descripción y evaluación unitaria de los componentes que conforman el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales del Ingenio Azucarero.

- ✓ Caracterizar las aguas residuales en afluentes y efluentes del sistema de lagunas como tratamiento de las aguas residuales industriales del Ingenio Azucarero.

- ✓ Realizar recomendaciones técnicas para algunos problemas específicos identificados en el diagnóstico del STARI.

4. MARCO REFERENCIAL

"De acuerdo a la organización mundial de la salud, en Brasil 20 niños mueren cada día debido a la falta de sistemas de tratamientos, ya que éste es un problema que está directamente relacionado con el inadecuado manejo de los vertimientos en los cuerpos de agua receptores".

Kelly A. Reynolds

4.1. MARCO GEOGRAFICO

4.1.1. Ubicación del Departamento del Cauca

El **Departamento del Cauca** está situado en el suroeste del país entre las regiones andina y pacífica; localizado entre los **00º58'54''** y **03º19'04''** de latitud norte y los **75º47'36''** y **77º57'05''** de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 29.308 km^2 lo que representa el 2.56 % del territorio nacional. Limita por el Norte con el departamento del Valle del Cauca, por el Este con los departamentos de Tolima, Huila y Caquetá, por el Sur con Nariño y Putumayo y por el Oeste con el océano Pacífico.

Se encuentran los pisos térmicos cálido, templado y frío y los pisos bioclimáticos subandino, alto andino y páramo. Hacen parte del departamento los parques nacionales naturales de Munchique y Gorgona, comparte con los departamentos de Tolima y Huila el parque nacional natural del Nevado del Huila, y con el departamento del Huila el parque nacional natural de Puracé[10].

[10]CORPOTACIÓN REGIONAL DEL CAUCA, Diagnostico del estado de la subcuenca del Rio Palo, 2007.

4.1.2. Localización del Ingenio Azucarero

El Ingenio Azucarero se encuentra localizado en el municipio de caloto ubicado al Norte del Departamento del Cauca. Tiene una extensión territorial de 26.931,62 Hectáreas, a una altura de 1.100 m.s.n.m. APRENDER EXPOSICION.

Límites del municipio:

Norte: Con los Municipio de Villa Rica, Puerto Tejada y Guachené.

Sur: Con los Municipios de Santander de Quilichao y Jámbalo**.**

Oriente: Con los Municipios de Corinto y Toribio.

Occidente: Con los Municipios de Santander de Quilichao y Villa Rica**.**

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 1050 m.

Temperatura media: 25°C.

Imagen 1. Ubicación del Ingenio Azucarero, Departamento del Cauca

Fuente: www.calotocauca.gov.co.Marzo 2010.

4.1.3. Características generales de la Subcuenca del Rio Palo

Con una extensión supercificial de 1.500 km^2, ésta subcuenca se encuentra ubicada en el sector noreste del Departamento del Cauca, constituyéndose en la red hidrográfica más importante del Río Cauca en este Departamento, la cual abarca los Municipios de Jambaló, Toribío, Caloto, Corinto, Miranda, Padilla, Puerto Tejada y Villa Rica.

El Río Palo nace en el Páramo de Santo Domingo en límites con el Departamento del Tolima a 4000 m.s.n.m. Tiene un recorrido de 92 km en sentido noroeste, hasta la población de Santo Domingo en donde cambia su flujo a una dirección Este – Oeste finalmente llega al abanico aluvial del valle geográfico para desembocar en el Río Cauca, en el sector conocido como Bocas del Palo a 950 m.s.n.m.

Fotografía 1. Rio Palo

Fuente: http://www.google.com.co/caloto-cauca Marzo 2010.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Consumo de agua por parte de los Ingenio Azucareros

La industria azucarera colombiana depende en alto grado de un abastecimiento adecuado de agua que se utiliza como componente de productos, o de manera indirecta en el control del proceso de producción, como en el enfriamiento de máquinas que generan calor o en la higienización de determinadas operaciones y partes del proceso productivo.

Según el criterio de algunos investigadores actualmente se consume mucha agua en la industria azucarera, lo que constituye un serio problema para algunos países debido a lo limitado de su recurso agua.

La disponibilidad de agua potable para consumo doméstico se va tomando en un problema muy serio para las generaciones actuales y futuras y en esta competencia entra a formar parte también el agua que se consume en los procesos industriales[11].

4.2.2. Agua Residual Industrial

En concreto las aguas residuales industriales son las que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utiliza el agua, incluyendo los líquidos residuales y aguas del proceso[12].

4.2.2.1. Composición de las Aguas Residuales industriales de los Ingenio Azucareros

Las aguas residuales industriales de los ingenios azucareros están constituidas por todos los desechos líquidos originados en las operaciones y en procesos de fabricación. Los volúmenes aportados, las propiedades y composición de las aguas dependen, no solo del origen y procedencia, sino del grado de eficiencia que se logre en los procesos de fabricación y de la metodología en las operaciones[13].

[11]INDUSTRIA AZUCARERA, Folleto Características Industriales, 2008. Pg 21.

[12]Ibid.,p.23

[13]Ibid.,p.15

4.2.3. Contaminantes de interés en tratamiento de Aguas Residuales

Los contaminantes que generalmente son de interés para el tratamiento de las aguas residuales son:

- ✓ Sólidos suspendidos
- ✓ Materia orgánica biodegradable y no biodegradable
- ✓ Nutrientes (N y P)
- ✓ Grasas y Aceites
- ✓ Patógenos
- ✓ Metales pesados
- ✓ Inorgánicos disueltos[14]

4.2.4. Proceso de fabricación de azúcar en el Ingenio Azucarero[15]

Tiene como objetivo extraer la sacarosa de la caña y transformarla en cristales de azúcar seco.

La planta de producción está conformada principalmente por los equipos de molinos, turbinas, calderas, clarificadores, calentadores, filtros, evaporadores, tachos, cristalizadores, centrífugas, secadoras, transportadores y además elementos técnicos y humanos necesarios para el cumplimiento de la función fabril. Los productos elaborados por el Ingenio pertenecen a la línea de azúcar crudo, azúcar blanco especial, azúcar blanco, miel virgen y miel final.

Las operaciones comprenden desde la descarga de la caña sobre la mesa de alimentación hasta la producción de azucares y mieles en diferentes presentaciones.

4.2.4.1. Preparación y molienda de caña

Inicialmente la caña es sometida a un proceso de preparación que consiste en romper los tallos, para esto se utilizan las picadoras, las cuales son ejes con

[14]ASOCAÑA, Conceptos Basicos de Aguas Residuales, Julio 2007.

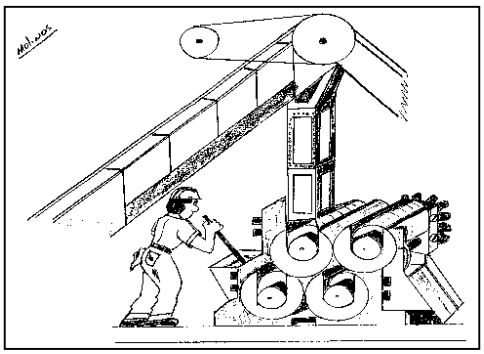
[15]QUESADA Gustavo, Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero s.a. Caloto Cauca. Noviembre 2008. Pg 16-25.

cuchillas que giran a gran velocidad, cortando la caña en pequeños trozos y las desfibradoras que son martillos basculantes a alta velocidad.

La caña preparada se conduce a los molinos, donde se realiza el proceso de extracción de la sacarosa, que consiste en pasar la caña a través de un tándem de 6 molinos en serie. Cada molino está compuesto por cuatro masas; cabe resaltar que en cada molino del tándem, en forma gradual, se reduce la abertura o settting entre las masas, para mejorar la extracción de la sacarosa en la caña.

La extracción de sacarosa se aumenta con un proceso conocido como imbibición o maceración que consiste en aplicar agua condensada caliente a la caña que entra al último molino y el jugo de dicho molino se aplica a la caña que entra al molino anterior y así sucesivamente, hasta obtener como producto de la operación de molienda el jugo del primer y segundo molino.

Imagen 1. Molienda de caña



Fuente: Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. 2008.

El bagazo que sale del último molino se envía a la caldera, para usarlo como combustible, o al depósito de bagazo, de donde se despacha para usarlo como materia prima en la elaboración de papel, o combustible en otras plantas productivas.

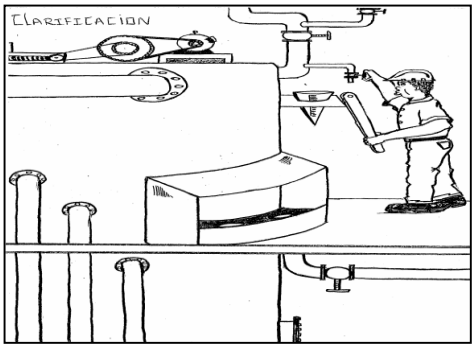
4.2.4.2. Alcalización y clarificación de jugo

El jugo proveniente de los molinos después de pasar por el filtro o tamiz tromel se pesa por basculadas; posteriormente se sulfita en una torre de intercambio de dióxido de carbono CO_2, se le adiciona el sacarato de calcio, y pasa a un tanque

de reacción, donde se neutraliza, evitando la inversión de la sacarosa y se forman sustancias insolubles con impurezas solubles presentes en el jugo.

El jugo alcalizado se calienta, en intercambiadores de tubo y coraza, hasta elevar su temperatura al punto de ebullición. Después de pasar por el tanque flash donde se desairea se adiciona al jugo un floculante (polímero) y se pasa a los clarificadores continuos, donde se sedimentan los sólidos insolubles; estos sólidos forman un lodo, en tanto que el jugo clarificado que sobrenada es extraído por la parte superior.

Imagen2. Clarificación del jugo



Fuente: Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. 2008.

4.2.4.3. Filtración de cachaza

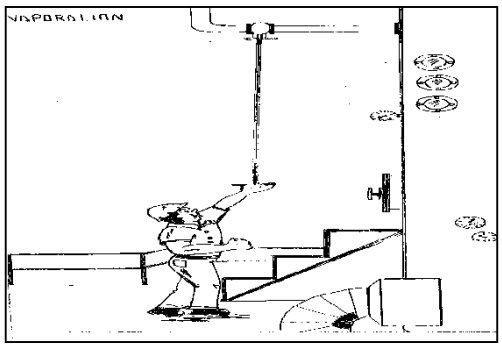
Los lodos (llamados cachaza) contienen sacarosa y para recuperarla se someten a un proceso de filtración al vacío. Inicialmente a los lodos se les agrega bagacillo para aumentar su filtrabilidad, posteriormente se envían por gravedad hacia los filtros rotatorios, recubiertos con malla metálica perforada que deja pasar el jugo; pero retienen los sólidos.

Los sólidos se usan como abono en las plantaciones, mientras el jugo turbio resultante, se retorna al proceso de alcalización.

4.2.4.4. Evaporación

El jugo clarificado pasa a los evaporadores de múltiple efecto, donde se les retira el agua. Los evaporadores funcionan al vacío para permitir la ebullición a baja temperatura y evitar la formación de color por caramelización. El jugo concentrado se denomina jarabe o meladur

Imagen3. Sub-proceso de evaporación



***Fuente: Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A*. 2008.**

La estación de evaporación en el Ingenio Azucarero consta de doce evaporadores tipo Roberts en arreglo de Quíntuple efecto.

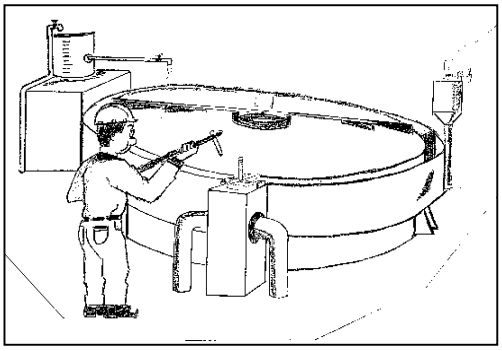
4.2.4.5. Clarificación de meladura

Con la evaporación, no sólo se logra concentrar la sacarosa en el jugo de caña sino también las impurezas solubles. Este hecho se aprovecha para insolubilizar y retirar parte de esas impurezas.

Para ello se utiliza un proceso denominado fosflotación, en el cual se sulfita y calienta la meladura, luego se adiciona ácido fosfórico, cal, aire y floculante

Finalmente se deposita en un tanque donde las impurezas conglomeradas en forma de flóculos flotan; debido al aire incluido en ellos y a la alta densidad de la meladura. El producto de este proceso es la meladura clarificada.

Imagen4. Sub-Proceso de Clarificación de meladura

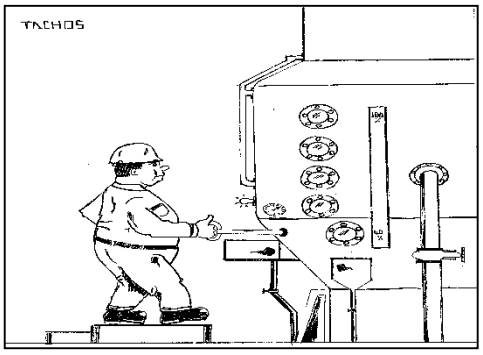


Fuente: Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. 2008.

4.2.4.6. Cristalización de sacarosa

La cristalización de la sacarosa contenida en la meladura o jarabe se realiza por concentración en evaporadores de simple efecto al vacío, conocidos como tachos.

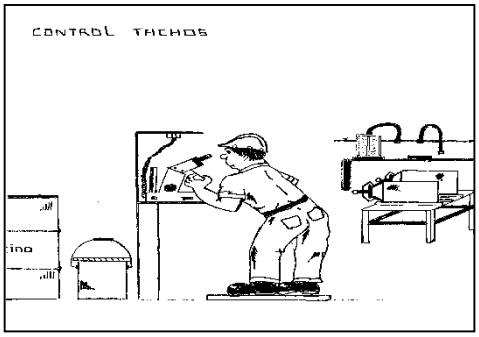
Imagen5. Sub-Proceso de tachos



Fuente: Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. 2008.

Este proceso se realiza mediante un esquema de tres templas conocido como “doble magma”, que consiste en recuperar la sacarosa de la meladura como cristales en tres etapas. En cada una de estas etapas se alimenta un material con sacarosa solubilizada y unos cristales núcleos, que por la concentración se alimentan de la sacarosa en el líquido y “crecen”. La habilidad y la experiencia de los operarios, es indispensable para la obtención de un buen producto. El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida.

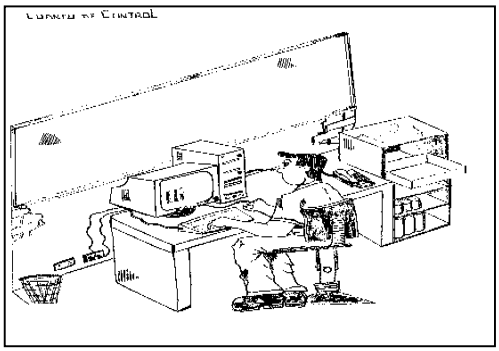
Imagen6. Control de tachos



Fuente: Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. 2008.

En la primera etapa se alimenta jarabe y se obtiene azúcar comercial y miel primera. Esta miel se alimenta a la segunda etapa para obtener los cristales núcleos de la primera etapa y miel segunda, que se alimenta a la tercera etapa para obtener los cristales núcleos de la segunda etapa y miel final o de purga. Los cristales núcleo de la tercera etapa son una suspensión en aceite de castor (u otro compuesto donde no se disuelva la sacarosa) de azúcar finalmente molida.

Imagen 7. Cuarto de control



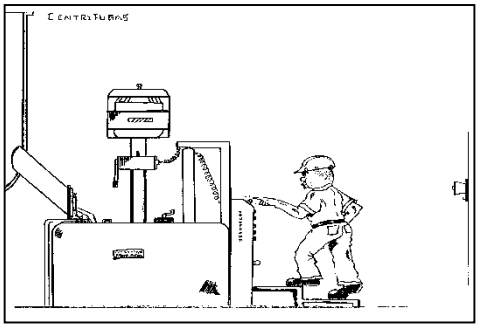
Fuente: Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. 2008.

4.2.4.7. Centrifugación

Los cristales de los tres tipos de masas cocidas se separan del licor madre mediante fuerza centrífuga en tambores rotatorios que contienen mallas interiores con agujeros muy pequeños, que retienen los cristales; pero permiten el paso de la miel.

Durante el proceso de centrifugado, el azúcar se lava con agua caliente para eliminar la película de miel que recubre los cristales y se descarga para conducirla a las secadoras y continuar con el proceso.

Imagen8. Centrifugas



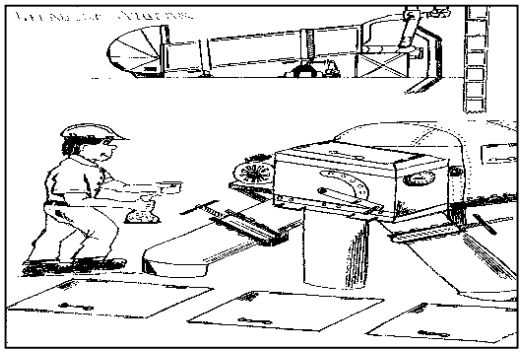
Fuente: Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. 2008.

4.2.4.8. Secado

El azúcar húmeda que sale de centrífugas, (1.0 % de humedad) se transporta por elevadores y tornillos sinfín para alimentar a la secadora, que es un tambor rotatorio inclinado en el cual el azúcar se pone en contacto con aire caliente que entra en contracorriente y se introduce a la secadora con un ventilador.

El azúcar seco sale por el extremo opuesto de la secadora, donde se instala una malla clasificadora para remover los terrones de azúcar.

Imagen9. Secadora de Azúcar

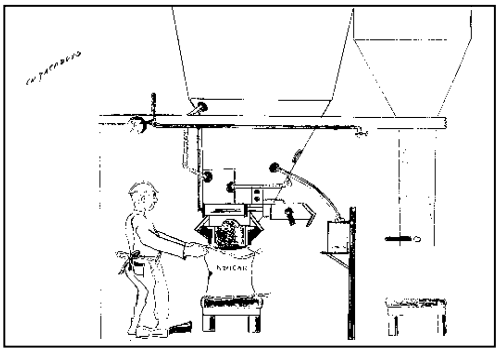


Fuente: Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. 2008.

4.2.4.9. Empaque

Finalmente, el azúcar seca se transporta hasta unos silos de donde se empaca en sacos de 50 kg, que se cosen y se almacenan en el almacén de producto terminado, a las tolvas de empaque familiar donde se empacan en denominaciones de 1 lb, 1 kg, y 1.5 kg o directamente a los camiones (por volcos).

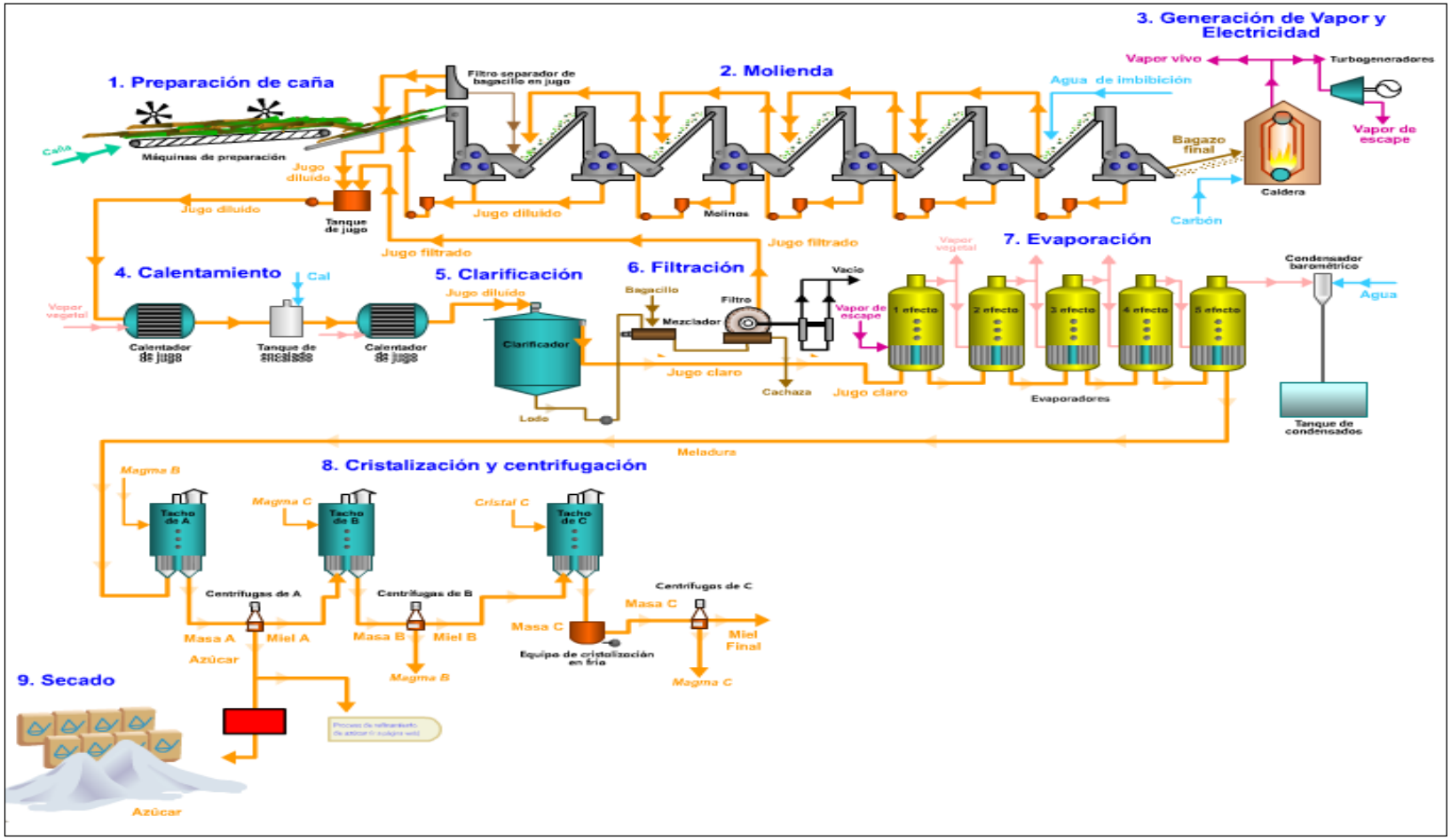
Imagen 10. Empacadero



Fuente: Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. 2008.

Finalmente, desde el almacén se despacha según programación de distribución por parte de departamento comercial, entre sus clientes nacionales que son reconocidos supermercados o clientes internacionales.

Diagrama 1. Esquema general de producción de Azúcar de caña



Fuente: http://www.cenicaña.org/flash/diagrama_obtencion.swf**.** Abril 2010

4.2.5. Composición de las Aguas Residuales industriales de los Ingenio Azucareros

Las aguas residuales industriales de los ingenios azucareros están constituidas por todos los desechos líquidos originados en las operaciones y en procesos de fabricación. Los volúmenes aportados, las propiedades y composición de las aguas dependen, no solo del origen y procedencia, sino del grado de eficiencia que se logre en los procesos de fabricación y de la metodología en las operaciones[16].

4.2.6. Origen de las Aguas Residuales del Proceso Industrial Azucarero

- Limpieza de equipos tecnológicos, tándem de molinos, tanques, calentadores, evaporadores, tachos, condensadores, clarificadores entre otro.
- Lavado de caña.
- Extracción de cenizas en las calderas por vía húmeda.
- Producción de agua por la condensación del vapor generado.

4.2.7. Tratamiento de Aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar o disminuir los contaminantes presentes en el agua.

El objetivo del tratamiento es producir un efluente tratado o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso[17].

Para dicho tratamiento se pueden utilizar los siguientes procedimientos:

4.2.7.1. Tratamiento primario

El tratamiento primario es para reducir sedimentos, arenas y sólidos gruesos, para ellos se puede emplear operaciones físicas tales como: Rejas, sedimentadores o desarenadores etc.

[16]Ibid.,p.15

[17]TEORIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CAP IV. Pg 87.

4.2.7.2. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es también llamado tratamiento biológico, en donde se utilizan bacterias presentes en el agua residual con el fin de que eliminen la materia orgánica presente.

La mayoría de las plantas municipales e industriales tratan las aguas residuales usando procesos biológicos aeróbicos. Para que sea efectivo el proceso biótico, requiere oxígeno y un substrato en el cual vivir.

4.2.7.3. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor. Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento.

En dicho proceso se practica la desinfección, buscando reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc).

4.2.8. Sistema de lagunas

Las Lagunas de Tratamiento de Aguas Residuales, tienen como propósito explícito conseguir que las aguas acumuladas en ellas lleguen a cumplir un conjunto de parámetros cuantitativos, fijados por ley, que permitan su descarga al ambiente receptor sin ocasionar problemas ambientales, sociales, legales y económicos. Los parámetros suelen estar relacionados con el potencial de riesgo a la salud pública, la cantidad de orgánicos disueltos, los sólidos suspendidos, las materias grasas, el contenido de nitrógeno orgánico, el contenido de fosfatos, la ausencia de olor y la ausencia de color. Cada nación del mundo regula, soberanamente, los parámetros aplicables a las descargas al cuerpo receptor[18].

4.2.8.1. Laguna Aerobia

Laguna que contiene oxigeno donde el agua residual se estabiliza parcialmente por la actividad metabólica de bacterias y algas.

[18]LAGUANAS PARA REMOCION DE ORGANICOS, Herrera L. 2008.Pg 2.

Lagunas con profundidades de 0,9 m. se basan en el aporte de oxígeno a partir del crecimiento de fotosintetizadores y permiten obtener efluentes de baja DBO soluble pero de alto contenido de algas.

Los tiempos de retención hidráulicos teóricos suelen estar entre 10-40 días, lo que ocasiona que esta tecnología requiera un terreno intolerablemente grande[19].

4.2.8.2. Laguna anaerobia

La laguna anaerobia (primera laguna), se caracteriza por la presencia de bacterias que no requieren oxígeno disuelto para la descomposición de materia orgánica. Este proceso se llama digestión anaerobia, el que se presenta en tres etapas:

a. Hidrolisis y fermentación acida
b. Homoacetogénesis
c. Metanogénesis

Una laguna anaerobia puede tener una profundidad de 2 a 5 m y recibir cargas orgánicas altas (usualmente >100 g DBO/m^3d, equivalente a > 3000 kg/ha.d).

Los tiempos de retención son cortos: para aguas residuales con una DBO mayor a 300mg/l, un día es suficiente para temperaturas mayores a los 20 °C[20].

4.2.8.3. Laguna facultativa

El mecanismo característico de las lagunas facultativas ocurre en el estrato superior y corresponde a una simbiosis o comensalismo de bacterias aerobias y algas. Las bacterias heterotróficas descomponen la materia orgánica produciendo compuestos inorgánicos insolubles y CO_2. La cantidad de oxigeno requerido para esta degradación es suministrada fundamentalmente por el proceso de fotosíntesis. El sistema carbonatado está sujeto a cambios cíclicos durante el día y aunque los cambios de alcalinidad nos son grandes, ocurren transformaciones en los componentes de la misma tales como variaciones de bicarbonatos a carbonatos e hidróxidos.

Como resultado del proceso de fotosíntesis de las algas de la laguna, existe una variación diurna en la concentración de oxígeno disuelto. Después del amanecer,

[19]Ibid.,p.4

[20]MANUAL DE DISEÑO DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENO, Potabilización y tratamiento. Pg. 16-17.

el nivel de oxígeno disuelto se incrementa gradualmente hasta llegar a un máximo al atardecer, disminuyendo al mínimo durante la noche.

La laguna facultativa puede tener una profundidad entre 1 y 1.5 m, porque tiene menos carga, lo que permite una mayor penetración de la luz[21].

4.2.8.4. Laguna de maduración

Las lagunas de maduración reciben el efluente de la laguna facultativa y son tradicionalmente diseñadas con profundidades de 1 a 1.5 m. Su tamaño y numero depende de la calidad bacteriológica requerida del efluente final. En estas lagunas no hay una zona anaerobia, solamente existe una zona aerobia, la cual tiene la función de remover los microorganismos patógenos excretados, lo que ocurre por sedimentación de alguna bacterias o por su muerte ocasionada por lor rayos ultravioleta del sol. Esta función es extremadamente eficiente cuando se diseñan las lagunas en serie.

Las lagunas de maduración remueven solo una pequeña parte de DBO, por su contribución en la remoción de nutrientes puede ser significativa[22].

[21]Ibid.,pg.17

[22]Ibid.,pg.21

4.3. MARCO HISTORICO

El Ingenio Azucarero fue Fundado en 1944 por Moisés Seinjet un soñador y aventurero, de origen judío. En 1956 compra la maquinaria del Ingenio la Esperanza, donde empezó a producir 180.000 bultos de azúcar al año. En 1972 adquiere la maquinaria del Ingenio Monserrate y aumenta la producción a 2.500.000 de bultos de azúcar al año.

Hoy día es una de las empresas representativas de la agroindustria colombiana, con una producción de 180.000 toneladas de azúcar por año.

Posee una planta de producción con alta flexibilidad para todas las especificaciones de azúcar requeridas por los mercados nacionales e internacionales, además de adelantar proyectos de gran envergadura para diversificar aún más su producción y darle un mayor valor agregado a sus productos.

El mercado de sus productos se encuentra principalmente en los sectores de clientes de industrias de bebidas y alimentos, licoreras, almacenes de cadena, comerciantes y distribuidores, ubicados en la región Andina, centro América, el Caribe y otros países[23].

4.3.1 MISIÓN.

El Ingenio Azucarero es una empresa agroindustrial dedicada al cultivo de caña, fabricación y comercialización de azucares, alcohol, mieles y otros productos derivados del proceso.

Su objetivo es crear valor para los accionistas, dando a sus clientes en los mercados nacional e internacional productos que le agreguen valor, apoyados en el talento de la gente y en los avances tecnológicos.

4.3.2 VISIÓN.

Ser en el 2014 la empresa más rentable de la industria azucarera nacional, con ingresos totales de 70 millones de dólares y un costo de ventas competitivo a nivel

[23]González H, Características del Ingenio Azucarero, 2008.

internacional, con el 70% del campo adecuado para el corte mecánico, y posicionado como un importante apoyo empresarial a las iniciativas de desarrollo comunitario en la región. Ser el principal comercializador directo de azúcar en Colombia, con más del 30% de nuestros ingresos provenientes de productos con valor agregado para nuestros clientes.

Fotografía 1. Vista panorámica Ingenio Azucarero, Departamento del Cauca.

Fuente: Ingenio Azucarero S.A.2010.

4.3.3. Certificaciones del Ingenio Azucarero S.A.

Entes certificadores de la calidad otorgaron al Ingenio azucarero de caloto Cauca, las certificaciones de la gestión de la calidad y el derecho de uso de los sellos de conformidad con la norma técnica colombiana[24].

[24]QUESADA Gustavo, Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. Caloto Cauca. Noviembre del 2008. Pg 4.

Imagen 12. Certificado de Gestión de Calidad

Fuente: Ingenio Azucarero S.A. 2008, Pg 4.

- CERTIFICADO ISO 9001 ICONTEC
- CERTIFICADO ISO 9001 IQNET
- CERTIFICADO ISO 14001 IQNET
- SELLO DE CALIDAD MIEL VIRGEN
- SELLO DE CALIDAD AZUCAR BLANCO
- SELLO DE CALIDAD AZUCAR BLANCO ESPECIAL
- SELLO DE CALIDAD AZUCAR CRUDO

4.4. MARCO CONCEPTUAL

Acidez: Capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo. Se mide cuantitativamente por titulación con una solución alcalina normalizada y se expresa usualmente en términos de mg/l como carbonato de calcio.

Acuífero: Formación geológica de material poroso capaz de almacenar una apreciable cantidad de agua.

Afluente: Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

Agua residual: Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.

Agua residual doméstica: Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

Ambiente anaerobio: Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

Análisis: Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio.

Bacterias: Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma bacteriano único, división binaria y que intervienen en los procesos de estabilización de la materia orgánica.

Biodegradación: Transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos.

Carga del diseño: Relación entre caudal y concentración de un parámetro específico que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

Clarificación: Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual.

Coliformes: Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a 35 +/- 0.5°C (coliformes totales).

Aquellas que tienen las mismas propiedades a 44,5 +/- 0,2°C, en 24 horas, se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termotolerantes).

Criterios de diseño: Guías de ingeniería que especifican objetivos, resultados o límites que deben cumplirse en el diseño de un proceso, estructura o componente de un sistema.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

Demanda química de oxígeno (DQO): Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual.

Depuración de aguas residuales: Disminución o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

Desarenadores: Cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y permitir la remoción de sólidos minerales (arena y otros), por sedimentación.

Desecho industrial: Desecho originado en la manufactura de un producto específico.

Disposición final: Disposición del efluente o del lodo tratado de una planta de tratamiento.

Eficiencia del tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico.

Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Efluente final: Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Impacto ambiental: Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica.

Laguna aireada: Estanque para el tratamiento de aguas residuales en el cual se inyecta oxígeno por acción mecánica o difusión de aire comprimido.

Laguna aerobia: Laguna con alta producción de biomasa.

Laguna anaerobia: Estanque con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en la ausencia de oxígeno. Este tipo de laguna requiere tratamiento posterior complementario..

Laguna de maduración: Estanque para tratar el efluente secundario o aguas residuales previamente tratadas por un sistema de lagunas, en donde se produce una reducción adicional de bacterias. Los términos «lagunas de pulimento» o «lagunas de acabado» tienen el mismo significado.

Laguna facultativa: Estanque cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias en presencia de oxígeno, y en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia.

Lecho de secado: Tanques de profundidad reducida con arena y grava sobre drenes, destinado a la deshidratación de lodos por filtración y evaporación.

Manejo de aguas residuales: Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación a las aguas residuales.

Metales pesados: Elementos metálicos de alta densidad (por ejemplo, mercurio, cromo, cadmio y plomo). Generalmente tóxicos, aun en bajas concentraciones al hombre, plantas y animales.

Muestra compuesta: Mezcla de varias muestras alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.

Muestra puntual: Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

Muestreo: Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.

Nutriente: Cualquier sustancia que al ser asimilada por organismos, promueve su crecimiento. En aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales.

pH: Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

Planta de tratamiento: Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.

Pretratamiento: Procesos que acondicionan las aguas residuales para su tratamiento posterior.

Proceso biológico: Asimilación por bacterias y otros microorganismos de la materia orgánica del desecho, para su degradación.

Reuso de aguas residuales: Utilización de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico.

Temperatura: La temperatura es una unidad de medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia.

Tiempo de retención hidráulica Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

Trampa de grasas: Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior.

Tratamiento anaerobio: Degradación de un desecho orgánico por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente[25].

[25]REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS –2000. TÍTULO E, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

4.5. MARCO LEGAL

Normatividad utilizada para controlar los vertimientos líquidos, que puedan llegar a afectar a las personas y al medio ambiente.

Nota: a la fecha de presentar esta monografía (Mayo de 2010) estaba en vigencia el Decreto 3930 de octubre 2010, sin embargo las resoluciones reglamentarias no están reguladas, por lo tanto se trabaja con el Decreto 1594 de 1984.

Tabla 1. Normatividad para Vertimientos de Aguas Residuales Industriales

NORMA	RELACION CON EL MANEJO DE VERTIMIENTOS	ARTICULOS DE INTERES	REGLAMENTA
Constitución Política Nacional	Señala responsabilidades al Estado en materia de prevención y control de los factores de deterioro ambiental, a través de imposición de sanciones legales y de la exigencia de la reparación de los daños causados al medio ambiente.	Art. 79	
Decreto Ley 2811/1974 (Codigo Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente)	Establece acciones de prevención y control de la contaminación del recurso hídrico, para garantizar la calidad del agua para su uso posterior, e inserta el concepto de Tasa Retributiva como tributo por la afectación de los recursos hídricos.	Art. 134, 135, 136, 137, 138.	
Decreto 1541/1978	Incluye una clasificación de los cuerpos de agua en función de su capacidad de recibir vertimientos y establece la obligatoriedad de solicitar permiso de vertimiento a todo aquel que de igual manera,	Art. 211, 212, 226, 228, 230, 231.	MINISITERIO DE AGRICULTURA

	posea o solicite una concesión de aguas.		
Decreto 1594/1984	Establece criterios de calidad de los cuerpos de agua en función de sus usos potenciales y determina límites máximos permisibles de sustancias de interés sanitario y ambiental, contenidas en los vertimientos. Amplifica el término de tasa retributiva y reglamenta los permisos para vertimientos.	Art. 37, 38, 40, 42, 43, 62, 63, 67, 70, 86, 97, 142.	MINISTERIO DE AGRICULTURA
Decreto 3930 De 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.	Cap I art 1-38 Cap IV art 16 Cap VI art 24,34 Cap VII art 41,42 45-50	MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL
Decreto 4728 del 23 de diciembre de 2010	establece que los generadores de vertimientos que a la entrada en vigencia de las normas de vertimientos a que hace referencia el art 28 del presente decreto, tengan permiso de vertimiento vigente expedido con base en el decreto 1594/84 y no estuviera cumpliendo con los términos condiciones y obligaciones establecidas en el mismo, deberán dar cumplimiento a las nuevas normas de vertimiento dentro de los dieciocho meses, contado a partir de la fecha de publicación de la respectiva resolución en caso de optar por un plan de reconversión a tecnología limpia en gestión de vertimientos, el plazo de que trata el presente numeral se ampliara en	Art 1,2 y 7 numeral 2	MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA DESARROLLO TERRITORIAL

	dos años.		
Ley 99/1993	Establece en cabeza de las autoridades ambientales regionales, la responsabilidad de evaluar, controlar y hacer seguimiento ambiental del uso del agua y de los vertimientos que puedan realizarse tanto al agua, como al air y al suelo. Reitera la obligación de pagar tasa retributiva por afectación de los recursos hídricos.	Art. 42	MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE
Ley 1333 de 2009	Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.		CONGRESO DE LA REPUBLICA
Ley 142/1994 (Régimen de los servicios públicos domiciliarios)	Establece la competencia de los municipios para asegurar la prestación eficiente del servicio domiciliario de alcantarillado, el cual consiste en un sistema que incluye el tratamiento y disposición final de las aguas residuales	Art. 164	
Decreto 3100/2003	Las Autoridades Ambientales Competentes cobrarán la tasa retributiva por los vertimientos puntuales realizados a los cuerpos de agua en el área de su jurisdicción, de acuerdo a los Planes de Ordenamiento del Recurso establecidos en el Decreto 1594 de 1984 o en aquellas normas que lo modifiquen o sustituyan.	Art 3	MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

4.5.1 Parámetros de cumplimiento

Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir con las siguientes especificaciones dadas en el decreto 1594/1984.

El Ingenio Azucarero cuenta como usuario existente.

T***abla 2. Condiciones permisibles para un vertimiento a un cuerpo de agua.***

REFERENCIA	USUARIO EXISTENTE	USUARIO NUEVO
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	<40°c	<40°c
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción > 80% en carga	Remoción > 80% en carga
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción > 50% en carga	Remoción > 80% en carga
DBO para desechos domésticos	Remoción > 30% en carga	Remoción > 80% en carga
DBO para desechos industriales	Remoción > 20% en carga	Remoción > 80% en carga

Fuente: Decreto 1594/1984

5. METODOLOGÍA

A continuación se explicara la metodología que se utilizó para el logro del objetivo general propuesto.

5.1. FASE 1: REVISIÓN DE LITERATURA

En esta fase se realizó toda la revisión bibliográfica, trabajos de grado, libros relacionados, búsqueda en internet etc.

5.1.1. Información primaria

- Documentos que hacen parte del Ingenio azucarero.
- Planos del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Propuestas realizadas al Ingenio Azucarero por parte de otras entidades.
- Estudios realizados por el Ingenio al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.
- Entrevistas y reuniones con directivos, técnicos y empleados del Ingenio Azucarero.

5.1.2. Información secundaria

- Trabajos de grado.
- Libros relacionados con el tema.
- Búsquedas en internet en páginas correspondientes al tema tratado.
- Entrevistas y reuniones con expertos en el tema.

5.2. FASE 2: DESCRIPCIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES GENERADAS EN EL INGENIO AZUCARERO S.A.

En esta fase se realizaron todos los recorridos necesarios por las instalaciones del Ingenio Azucarero S.A., con el fin de conocer funcionamiento, equipos involucrados, estado actual de estructuras y posibles problemas de operación y mantenimiento del STARI (lagunas).

5.3. FASE 3: CARACTERIZACIONES Y ENSAYOS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES GENERADAS EN EL INGENIO AZUCARERO S.A.

Para ello se realizaron:

- Monitoreos de pH, Caudal y temperatura en el Afluente del STARI
- Medición de altura de lodos en las laguna 1 y 2
- Determinación del pH en la laguna 1
- Se tomaron las caracterizaciones hechas por la empresa Fumindustrial en el periodo de Junio – Noviembre del 2010, con el fin de determinar las características que estaban presentando las aguas residuales industriales que llegaban al STARI.
- Se realizó una caracterización de parámetros químicos especiales con el laboratorio Ecoquimica ltda, con el fin de validar la información de las caracterizaciones de la empresa Fumindustrial. Para dicha caracterización se llevó a cabo lo siguiente:

Se eligió una jornada de 24 horas, la cual se dividió en 4 turnos de 6 horas cada uno (8:00 am – 2:00 pm, 2:00 pm – 8:00 pm, 8:00 pm – 2:00 am, 2:00 am – 8:00 am), buscando así tener una mayor representatividad en los datos y poder identificar el horario en el que más se presentaban aumentos de valores como pH, Caudal, Temperatura, DBO_5, DQO, Sacarosa, Fructosa, Glucosa, Acido Láctico, Oxálico, Málico y Butírico.

Se tomaron muestras compuestas cada 6 horas y se dividieron en alícuotas de cada 15 minutos. La determinación de los valores puntuales fueron para los parámetros de pH, Caudal y Temperatura.

MATERIALES

* Recipientes de plástico para la disposición de las 4 muestras compuestas. 5 L c/u.
* Cinta de enmascarar
* Nevera para la preservación de las muestras
* Hielo
* Marcador
* Termómetro
* pHmetro

* Tomador de muestras

5.4. FASE 4: COMPROBACIÓN DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO CON LOS PARAMETROS ACTUALES DE OPERACIÓN

- Para lo cual se utilizaron fórmulas que permitieran tener una visión más clara del como estaba funcionando el sistema con los valores actuales de operación.

  Además de ello se proponen algunas alternativas para el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, teniendo como referencia los cálculos hechos en dicho numeral.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Diagrama 2. Identificación de aspectos ambientales generados en el proceso de producción de azúcar

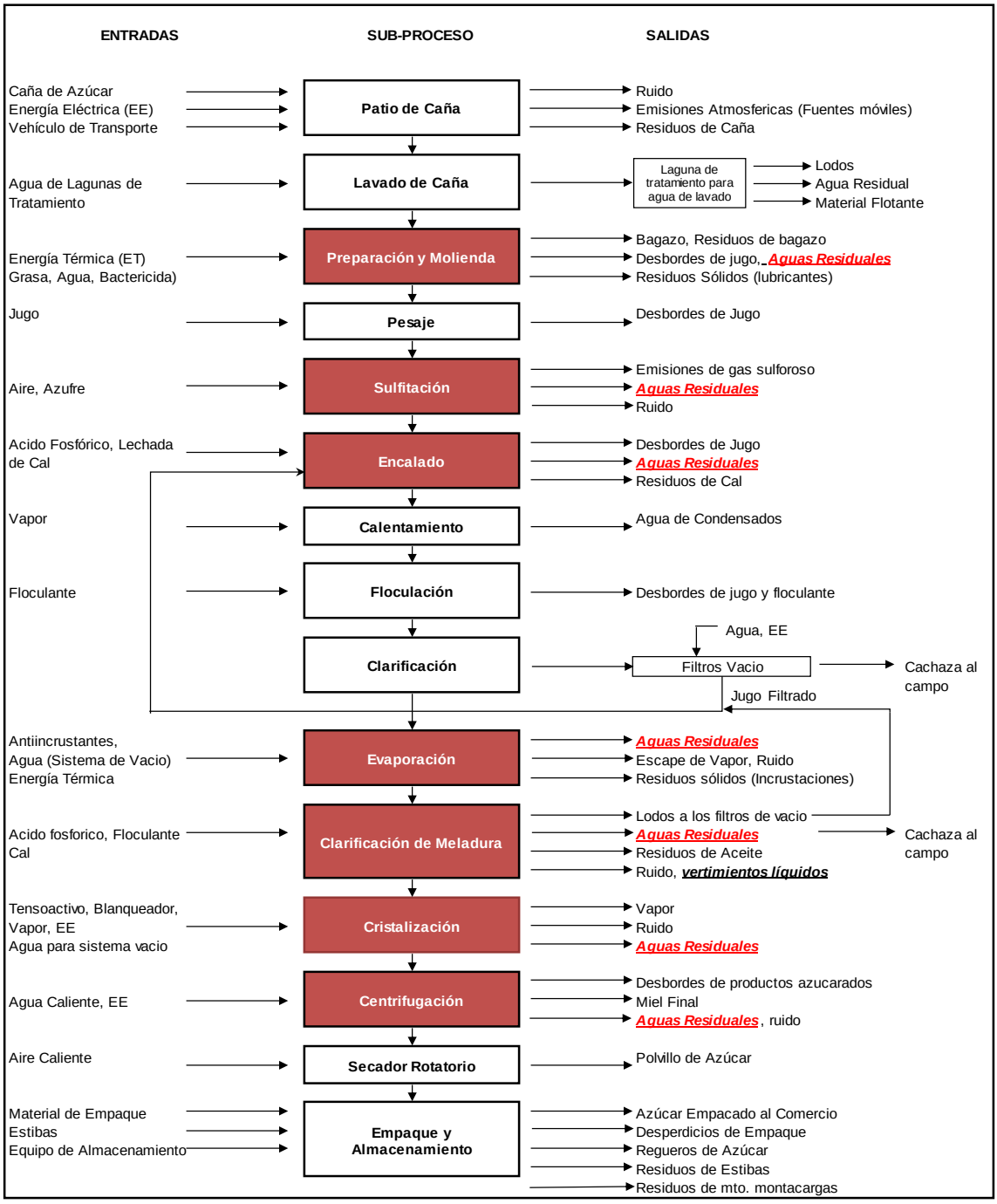


Diagrama 3. Origen y características de las Aguas Residuales Industriales del Ingenio Azucarero.

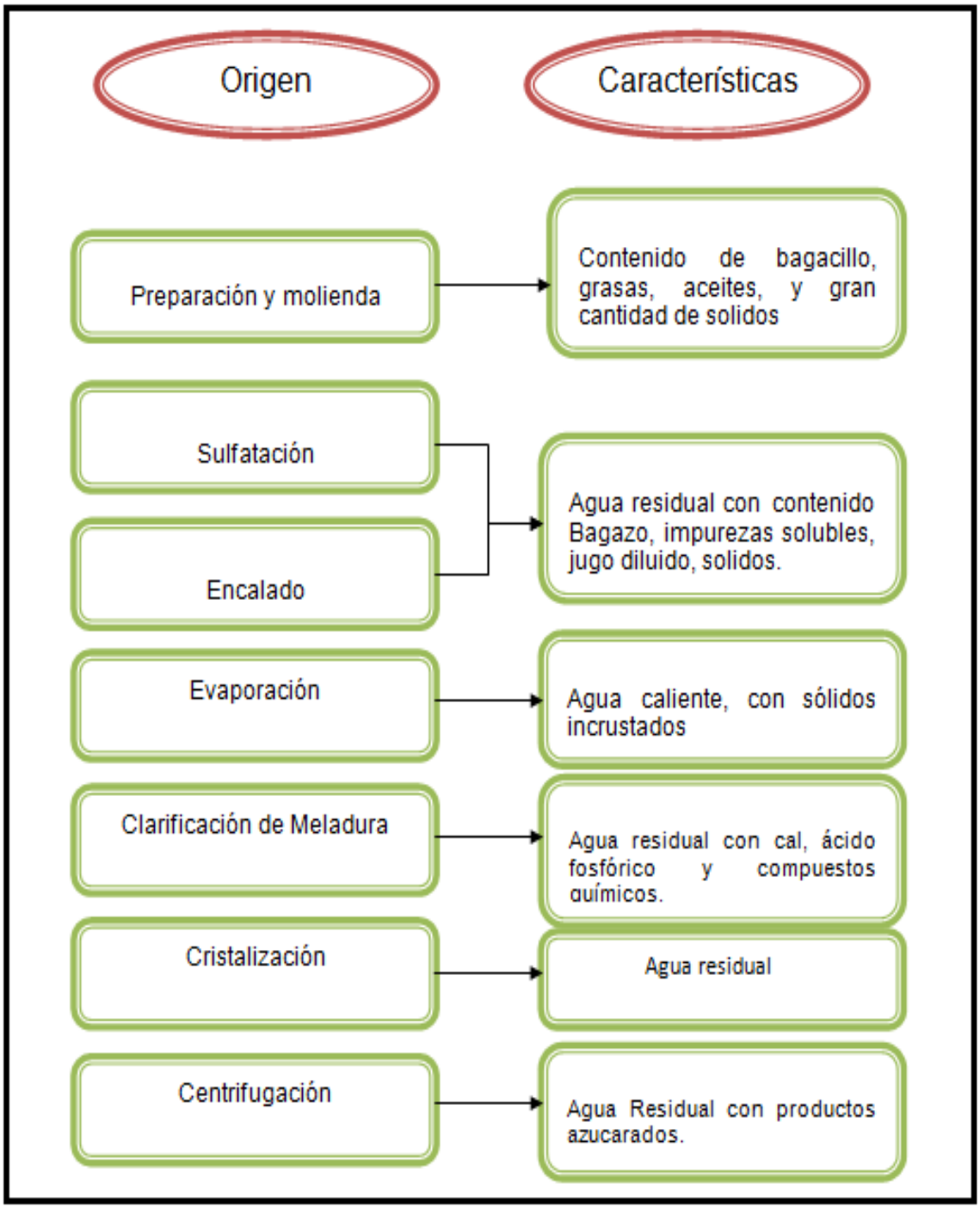
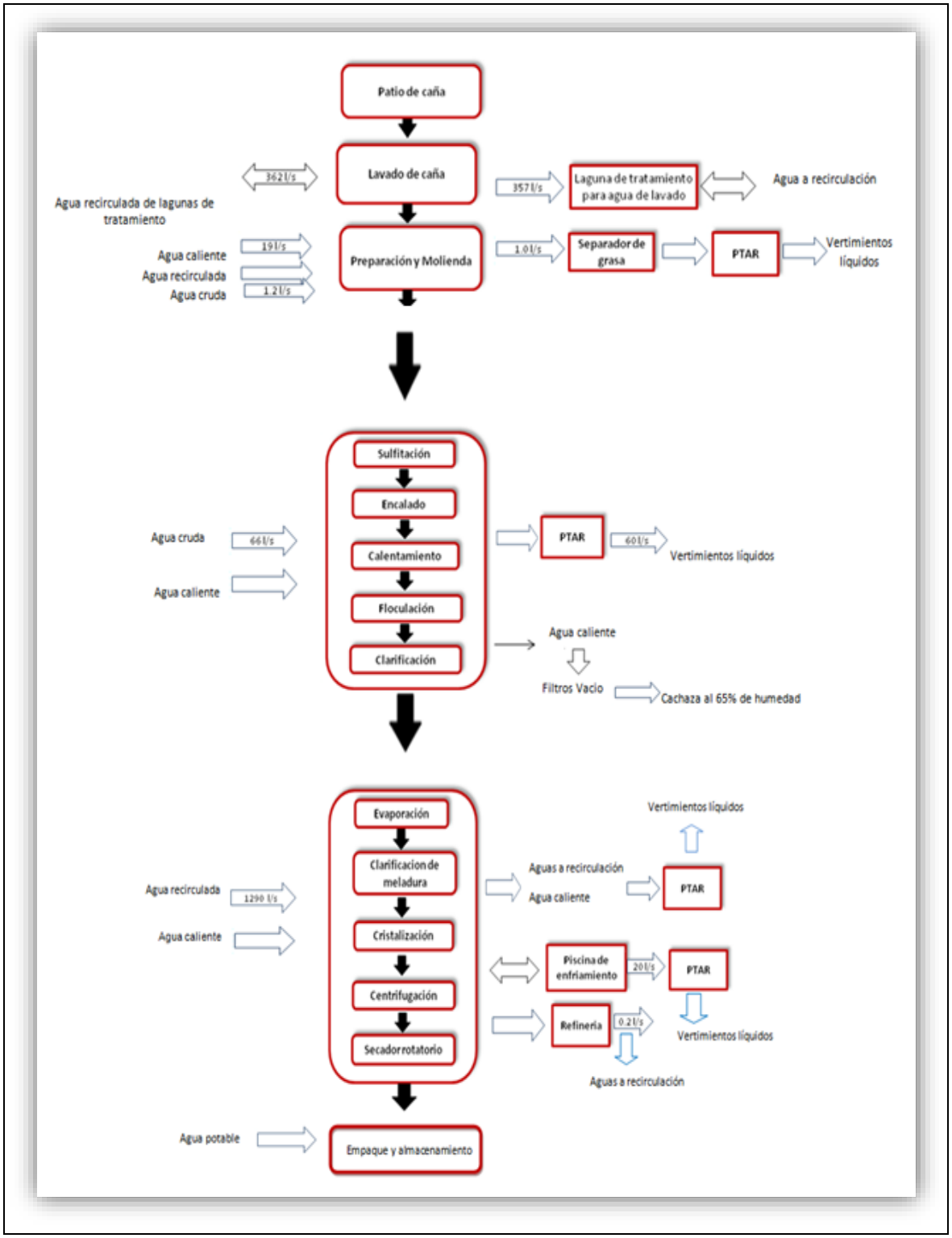


Diagrama 4. Caudal de Agua Residual generado en cada Subproceso productivo.



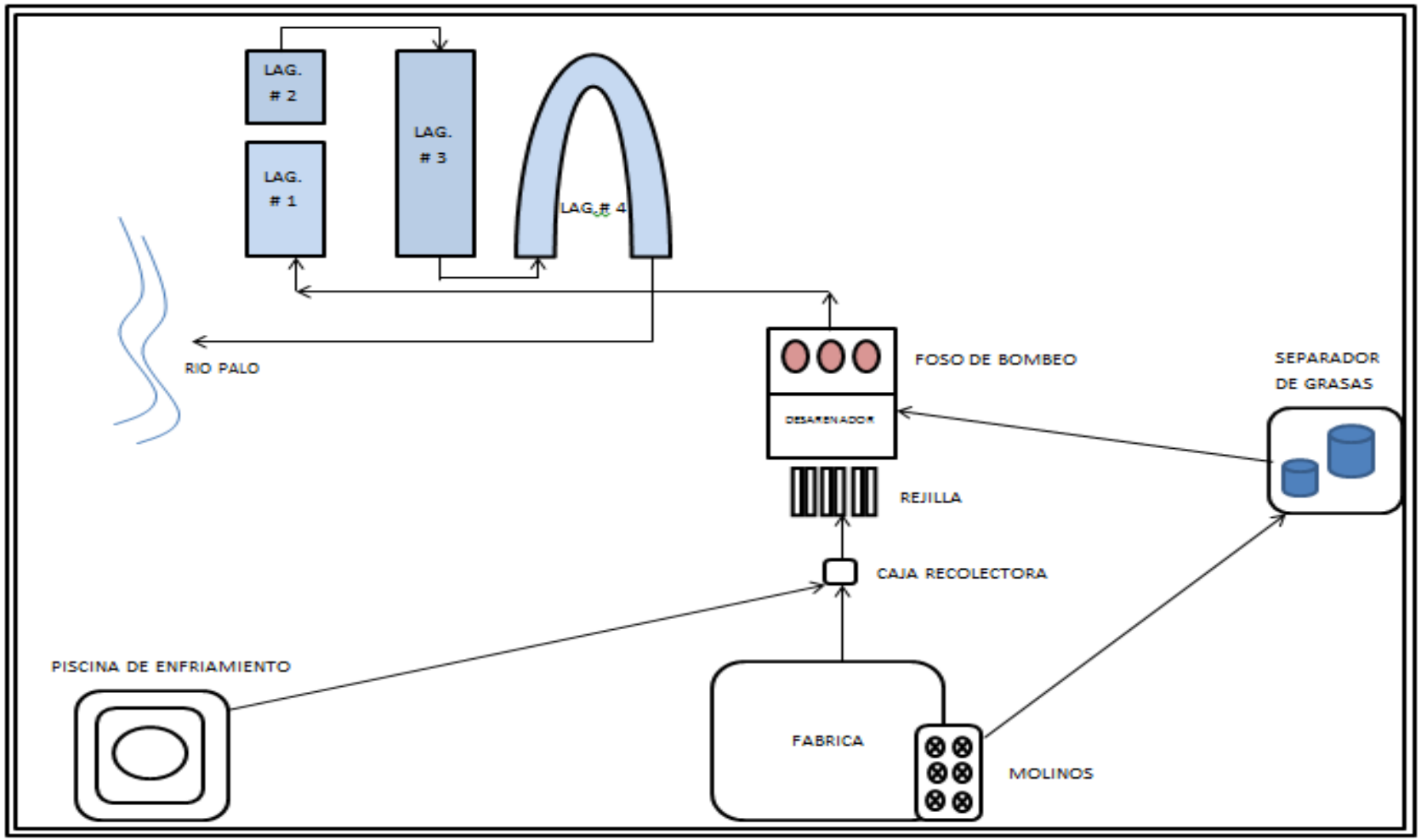
6.1. DESCRIPCIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LAS ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES GENERADAS EN EL INGENIO AZUCARERO S.A.

Fotografía 2. Planta de Producción Ingenio Azucarero S.A.

Fuente: MEZU, Yuli E, 2010

Las aguas residuales que se producen en los diferentes procesos de elaboración de azúcar contienen gran cantidad de desechos de tipo biodegradable (como son aceites, grasas y bagacillo); contenido de sustancias tales como soda caustica, cal apagada, ácido fosfórico, entre otros, además de una elevada temperatura.

Diagrama 5. Esquema General del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales del Ingenio Azucarero S.A.



6.1.1. APORTANTES DE AGUA RESIDUAL AL STARI

Al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales le llegan 3 afluentes provenientes del separador de grasas, piscina de enfriamiento y de fábrica, los cuales se describen a continuación:

6.1.1.1. SEPARADOR DE GRASAS: Trata las aguas residuales resultantes del Subproceso de molienda y está constituido por:

- Rejilla o Tamiz**:** Ubicada horizontalmente, en donde se retienen los sólidos gruesos, tales como bagacillo, piedras etc.

- Trampa de grasas y aceites con aireador: Después que el agua pasa por la rejilla, entra a un tanque con aireador en donde por medio de la agitación se separan el agua de grasas y aceites, permitiendo la recuperación de ambos en altos porcentajes. Por ruptura de moléculas en placas coalescentes, el aceite es llevado a la superficie por simple gravedad, para ser removido manualmente.

- Filtración**:** Por último se conduce hacia un filtro en donde se separa la materia suspendida mediante el paso del agua a través de una capa porosa.

  Disposición del agua: Cuando se termina el proceso de remoción de grasas y aceites, este efluente es conducido hacia el foso de bombeo del STARI, por una tubería sanitaria de 6” de diámetro y una longitud de 80 m.

  En este punto se une con las otras dos descargas (fábrica y piscina de enfriamiento), para poder ser conducidas al STARI, en donde se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica y remoción de patógenos, para finalmente disponer el agua en la fuente receptora (Rio Palo). (Ver Fotografía 4).

Fotografía 4. Separador de grasas y aceites

Fuente: MEZU, Yuli E, 2010

<u>Situación encontrada</u>

- ✓ En general su estado es bueno, según se comprobó con los análisis de las caracterizaciones realizadas en los meses entre Junio – Noviembre del 2010, por la empresa FUMINDUSTRIAL LTDA. En donde se observaron remociones de grasas superiores al 85%, cumpliendo así con la normatividad ambiental, articulo 37 del Decreto 1594 del 1984.

- ✓ La estructura cuenta con un programa de mantenimiento rutinario y un operario que garantiza su buen funcionamiento.

- ✓ No posee un sistema automático o manual de medición de caudal que permita cuantificar el efluente, lo cual afecta considerablemente el cálculo del aporte que reciben las lagunas.

- ✓ La línea de conducción que lleva el efluente del separador de grasas llega directamente al foso de bombeo del Desarenador, sin realizar un verdadero pretratamiento, aportando sólidos sedimentables al sistema de lagunas. (ver fotografía 5).

Fotografía 5. Descarga del Efluente de separador de grasas, directo al foso de bombeo

Fuente: MEZU, Yuli E, 2010

6.1.1.2. PISCINA DE ENFRIAMIENTO

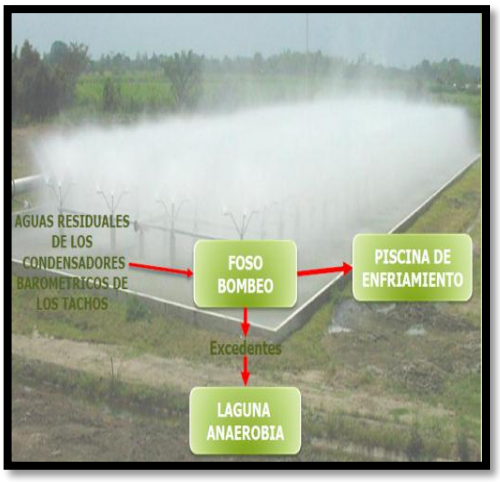
Trata las aguas residuales de los condensadores barométricos de los tachos, para ser conducidas a la piscina, los excedentes de la piscina son enviados al sistema de lagunas a través del sistema de bombeo de la piscina.

La descarga se caracteriza por una temperatura promedio de 38 °C. Dicha descarga se clasifica como eventual, generando caudales que van desde los 20l/s a 40l/s.

La tubería sanitaria que conduce el agua de la piscina hasta la caja recolectora es de PVC de 8” de diámetro y longitud 150 m. la tubería se encuentra enterrada a 1 m de profundidad.

Disposición del Agua: El agua que llega a la piscina, es enfriada mediante la operación de los aspersores, elevando el agua para que recupere la temperatura ambiente y así poder ser recirculada para el enfriamiento de los equipos de fábrica. (Ver fotografía 6).

Fotografía 6. Piscina de enfriamiento



Fuente: GUTIÉRREZ, E. 2010

Situación encontrada

- ✓ El sistema de enfriamiento en la actualidad carece de un mantenimiento rutinario por parte de los operarios de turno, el cual garantice el buen funcionamiento de la piscina.

- ✓ En ocasiones los equipos de aspersión son obstruidos por materiales extraños, originando que la piscina sobrepase su nivel y que los excedentes de agua lleguen a las lagunas (ver fotografía 7).

- ✓ También se ha podido presenciar fugas o filtraciones que presentan algunos sectores de la entrada y salida de la piscina, contribuyendo esto al desperdicio de agua que se podría reutilizar. Estas filtraciones no pudieron ser cuantificadas debido a que es un canal abierto de arena y las filtraciones se encuentran bajo el suelo (ver fotografía 8).

- ✓ Las compuertas no sella bien.

.

Fotografía 7. Equipos obstruidos Fotografía 8. Filtraciones de agua

Fuente: GUTIERREZ, Ever, 2010

6.1.1.3. FABRICA

Este aporte se genera a partir de todo el proceso productivo dentro de la fábrica. Las características de este efluente es su alto contenido de materia orgánica, solidos disueltos y suspendidos además de algunos compuestos químicos.

El aporte de caudal que hace este punto al STARI, está alrededor de los 60 l/s.

Por sugerencias internas de la compañía no es posible presentar un diagnóstico detallado de las falencias en los procesos que inciden en los afluentes de las aguas residuales. Las caracterizaciones, cuantificación y detalle de estas aguas no se conocen, y por ahora no se realizará ninguna obra encaminada a corregir estas situaciones; sin embargo, y de forma general, se pudo identificar las falencias más representativas en manejo de vertimientos y que repercuten de manera negativa en el tratamiento de las aguas residuales, debido a las altas cargas que le llegan al STARI.

Situación encontrada

- ✓ Son comunes las fugas y derrames de materias primas y sub productos generados en el proceso productivo de elaboración del azúcar, lo cual puede generar posibles accidentes de trabajo a las personas que allí laboran.

- ✓ No existe una política para el uso racional del agua, lo que aumenta considerablemente los afluentes que llegan al sistema.

- ✓ Los operarios encargados de los diferentes procesos no son conscientes del grado de afectación que un derrame puede tener sobre el STARI.
- ✓ No existe una política de inversión que apunte a una producción más limpia, tanto en procesos como en manejo de vertimientos.
- ✓ Continuamente se presenta contaminación de los vertimientos con residuos sólidos provenientes de los patios de caña (ver fotografía 9).
- ✓ Se observa un manejo inadecuado de los aceites de la maquinaria que hace que lleguen al sistema de tratamiento, inhibiendo el proceso biológico (ver fotografía 10).

Fotografía 9. Falta de aseo ***Fotografía 10. Derrames en fábrica***

Fuente: GUTIERREZ, Ever, 2010

Las estructuras de recolección de las aguas residuales producidas en fábrica están constituidas por 13 canales, de los cuales se puede decir que:

- ✓ Actualmente el Ingenio Azucarero no presenta una distribución adecuada en cuanto a los canales que conducen diferentes tipos de vertido dentro de la planta productiva, lo cual incide negativamente ya que dificulta caracterizaciones o cuantificaciones dentro de la fábrica.
- ✓ El mantenimiento que se le hace a los canales no es adecuado, permitiendo que se llenen de sedimento, generando taponamiento y colmatación de las conducciones dentro de la fábrica (ver fotografías 11 y 12).

Fotografías 11 y 12. Colmatación de canales

Fuente: MEZU, Yuli E. 2010

6.1.2. PRETRATAMIENTO DEL STARI

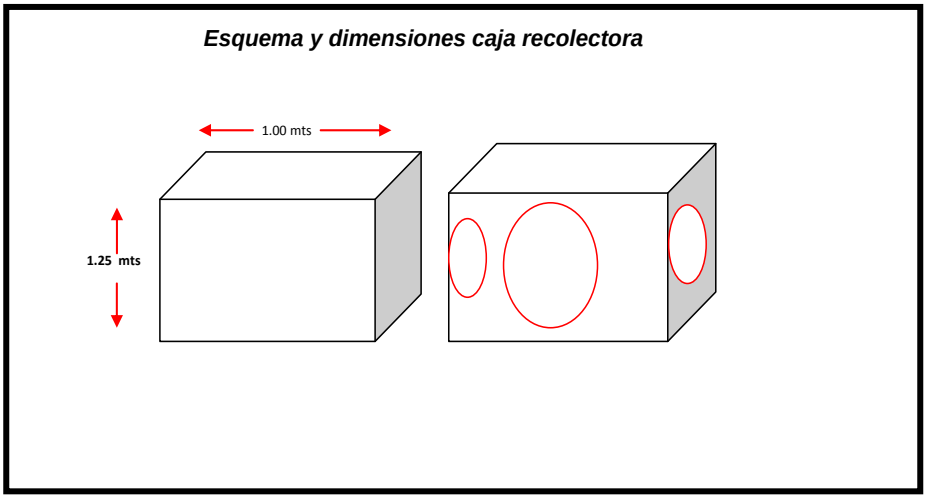
6.1.2.1. Caja recolectora

Diseñada en concreto, recibe los efluentes de la piscina de enfriamiento y fabrica los cuales tienen un caudal promedio de 58 l/s (ver fotografía 13). Las dimensiones de esta se presentan en la imagen 13.

Fotografía 13. Caja Recolectora

Fuente: MEZU,Yuli E, 2010

Imagen 13. Esquema y dimensiones de la caja reocolectora.



Fuente: GUTIERREZ, Ever, MEZU, Yuli E 2011

Físicamente se encuentra en buen estado, la cual tiene como función la disminución de la presión del agua. No presenta reboses, grietas o problemas de dimensionamiento.

6.1.2.2. Rejilla

Fue construida con la finalidad de retener el material flotante y los sólidos suspendidos en las aguas residuales (ver fotografía 14 y 15).

<u>Situación encontrada</u>

El inconveniente que se presenta con la rejilla es que no existe un mantenimiento rutinario por parte de los operarios, lo cual genera que se llene de residuos y material suspendido, ocasionando que parte de ese material sobre pase la reja y llegue hasta el sedimentador sin control.

Fotografía 14 y 15. Estado de la rejilla

Fuente: ***Fuente: MEZU,Yuli E, 2010***

6.1.2.3. Desarenador

Es de forma rectangular y alargada, su función principal es remover las partículas de cierto tamaño que la reja permite pasar.

Cuando estas aguas quedan en reposo o se desplaza a velocidades muy lentas, se manifiesta en el hundimiento de las partículas dispersas, provocando así por la diferencia de densidad entre las partículas disueltas en el agua y el líquido que las contiene la sedimentación. Se compone de (ver fotografía 16):

- Canal de encauzamiento
- Bafles para la disminución de la velocidad del agua

La estructura tiene un volumen de almacenamiento de 75 m^3 y sus dimensiones son:

- Largo:6,94 m
- Ancho: 5.39 m
- Profundidad: 2.00 m

Fotografía 16. Vista del sedimentador

Fuente: MEZU, Yuli E, 2011

6.1.2.4. Foso de bombeo

Su función es garantizar las condiciones necesarias para el bombeo hasta el tratamiento biológico (ver fotografías 17 y 18).

Fue construido para la distribución uniforme de las aguas residuales.

Situación encontrada

- ✓ De acuerdo con las inspecciones realizadas a la estructura su funcionamiento es bueno.
- ✓ Se le realiza mantenimiento periódico, existe un operario encargado para su operación.

Fotografía 17 y 18 Foso de Bombeo

Fuente: MEZU, Yuli E, 2010

6.1.3. SISTEMA DE LAGUNAS

De acuerdo con la información recopilada de documentos que hacen parte del Ingenio Azucarero, además de los diferentes recorridos e inspecciones del STARI, se logró identificar que el tratamiento está compuesto por:

- Tres lagunas Anaerobias
- Una laguna facultativa

A continuación se presenta los parámetros que se tuvieron en cuenta para el diseño y construcción de las lagunas.

Tabla 3. Parámetros de Diseño de la lagunas 1 y 2

PARAMETROS	DISEÑO
Caudal medio	31.5 L/s
Caudal Máximo	63 L/s
Concentración DBO Afluente	2502 mg/L
Carga DBO Afluente	6809 kg/día
Concentración SST	739 mg/l
Carga SST	2043 kg/día
Temperatura ^{0}C Afluente	28^{0}C
Temperatura ^{0}C Ambiente	25^{0}C
Área Rectangular	10.990,97 m^2
Altura	3.30 m
Volumen	36.267.3m^3

Nota: para las lagunas 3 y 4 no existen memorias de cálculo.

A continuación se muestran las áreas y volúmenes de las lagunas 3 y 4.

Tabla 4. Área y volumen de las lagunas 3 y 4.

Laguna	Área inferior	Área	Altura	Volumen Disponible
Anaerobia 3	13.468,27 m^2	21.453,39 m^2	3.8 m	66.238,4 m^3
Facultativa 4 o de maduración	24.597,59 m^2	31.852,17m^2	1.3 m	33.728,7m^3

El tratamiento de las aguas residuales industriales inicia en la laguna anaerobia 1, en donde se llevan a cabo los procesos de sedimentación de sólido y digestión anaeróbica con producción de CH_4 y CO_2.

A continuación el efluente es conducido por gravedad hacia la segunda y tercer laguna, en donde se lleva a cabo una simbiosis entre algas y bacterias que produce una remoción de carga orgánica. El efluente de la tercer laguna es transportado hasta la laguna facultativa (o laguna 4) en forma de U, en el que se genera la remoción de patógenos, finalizando con la descarga al cuerpo receptor (Rio Palo).

6.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL INGENIO AZUCARERO S.A.

6.2.1. MONITOREO DE pH Y CAUDAL EN LAS LAGUNAS

Se realiza seguimiento de los valores de pH por considerarlo parámetro critico en la determinación de posibles problemas de las lagunas.

6.2.1.1. Tabulación de la información

Tabla 5. Resultados de monitoreo de pH y Caudal del afluente del STARI el 06/07/2010

FICHA TECNICA					
Lugar	*Ingenio Azucarero S.A*				
Fecha de Muestreo	*06/07/2010*				
Punto de Muestreo	*Afluente del STARI*				
Duracion	*9 horas*				
Tipo de Muestra	*Puntual cada 15 minutos*				
Turnos	*Jornada completa*				
Parametros	*pH (unidades de pH)* y Caudal (L/s)				
Muestreador	*EVER TULIO GUTIERREZ*				
Laboratorio	Ingenio Azucarero.				
MONITOREO DE pH Y CAUDAL EN EL ALFUENTE DEL STARI					
Hora	**pH (unid de pH)**	**Caudal (L/s)**	**Hora**	**pH (unid de pH)**	**Caudal (L/s)**
08:00	6,87	45	12:45	10,88	49
08:15	6,98	45	13:00	10,86	49
08:30	10,70	45	13:15	10,47	49
08:45	11,88	45	13:30	10,33	49
09:00	12,04	51	13:45	10,48	49
09:15	12,11	51	14:00	10,53	49
09:30	12,15	51	14:15	10,50	49
09:45	12,30	58	14:30	10,35	49
10:00	12,17	58	14:45	10,30	49
10:15	12,04	58	15:00	10,20	51
10:30	11,96	58	15:15	10,14	51
10:45	11,72	58	15:30	10,09	51
11:00	11,47	58	15:45	10,07	49
11:15	11,46	61	16:00	10,06	49
11:30	11,44	58	16:15	10,09	51
11:45	11,26	54	16:30	10,27	51
12:00	11,20	58	16:45	10,20	58
12:15	11,18	54	17:00	10,18	58
12:30	10,97	54			
Valor Maximo	**12,3**	**61**			
Valor Minimo	**6,87**	**45**			

Tabla 6. Resultados del monitoreo de pH en el afluente de la laguna 1, afluente laguna 2, efluente laguna 3 y efluente laguna 4, el 15/07/2010

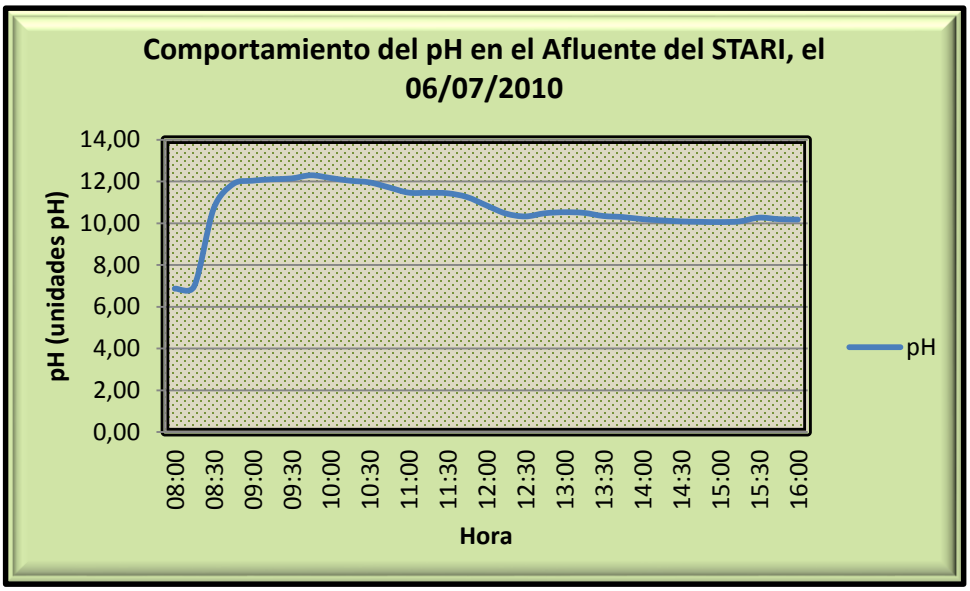
FICHA TECNICA				
Lugar	*Ingenio Azucarero S.A*			
Fecha de Muestreo	*15/07/2010*			
Punto de Muestreo	*Aflu. Lag 1, Aflu. Lag 2, Eflu. Lag 3, Elfu. Lag 4*			
Duracion	*9 horas*			
Tipo de Muestra	*Puntual cada 15 minutos*			
Turnos	*Jornada completa*			
Parametros	*pH (unidades de pH)*			
Muestreador	*EVER TULIO GUTIERREZ*			
Laboratorio	Ingenio Azucarero S.A.			
MONITOREO DE pH EN LAS LAGUNAS 1,2,3 Y 4				
	pH (unidades de pH)			
Hora	**Alfuente Lag 1**	**Afluente Lag 2**	**Efluente Lag 3**	**Elfuente lag 4**
08:00	13,12	4,63	4,62	4,61
08:30	12,88	4,61	4,63	4,60
09:00	12,85	4,60	4,63	4,63
09:30	12,75	4,67	4,65	4,62
10:00	12,19	4,62	4,63	4,61
10:30	11,65	4,61	4,64	4,65
11:00	11,30	4,62	4,63	4,62
11:30	11,14	4,61	4,64	4,61
12:00	10,50	4,60	4,64	4,61
12:30	8,50	4,61	4,65	4,60
13:00	7,32	4,62	4,66	4,62
13:30	7,38	4,61	4,63	4,64
14:00	7,40	4,63	4,65	4,62
14:30	7,50	4,62	4,64	4,63
15:00	7,45	4,61	4,64	4,63
15:30	7,38	4,62	4,62	4,61
16:00	7,22	4,62	4,63	4,60
16:30	7,20	4,63	4,61	4,60
17:00	7,18	4,62	4,60	4,61
VALOR MAX	**13,12**	**4,67**	**4,66**	**4,65**
MALOR MIN	**7,18**	**4,60**	**4,60**	**4,60**

Tabla 7. Resultados del monitoreo de pH, Caudal y Temperatura en el Afluente del STARI, el 13/12/2010

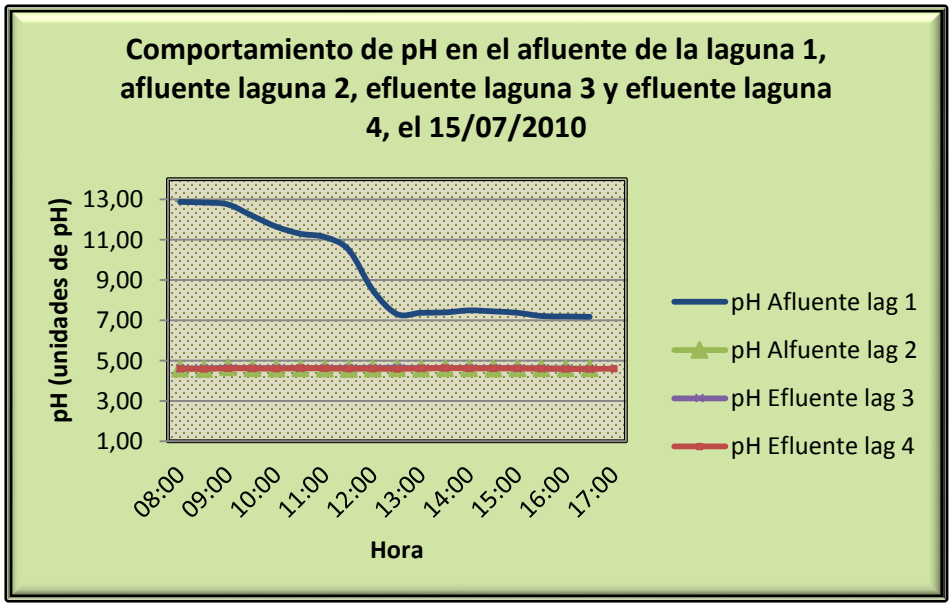
FICHA TECNICA							
Lugar	*Ingenio Azucarero S.A*						
Fecha de Muestreo	*13/12/2010*						
Punto de Muestreo	*Afluente laguna1*						
Duracion	*24 horas*						
Tipo de Muestra	*Puntual cada 15 minutos*						
Turnos	*Jornada completa*						
Parametros	*pH (unidades de pH), Cadal (L/s), Temperatura (°C)*						
Muestreador	*EVER TULIO GUTIERREZ y LUIS ALBERTO GONZALEZ*						
Laboratorio	Ingenio Azucarero S.A. (Ecoquimica Ltda)						
HORA	**pH**	**CAUDAL**	**TEMPERATURA**	**HORA**	**pH**	**CAUDAL**	**TEMPERATURA**
	Unidades de pH	**L/s**	**°C**		**Unidades de pH**	**L/s**	**°C**
08:00	12,00	68	49	20:00	8,67	33	36
08:15	11,44	58	44	20:15	8,53	33	35
08:30	11,40	58	46	20:30	8,96	37	33
08:45	11,13	58	43	20:45	8,85	33	34
09:00	11,05	49	47	21:00	8,45	33	34
09:15	11,03	49	45	21:15	8,65	33	33
09:30	11,59	49	43	21:30	8,60	37	36
09:45	11,98	58	47	21:45	8,56	41	36
10:00	11,20	49	43	22:00	8,03	37	36
10:15	11,08	49	41	22:15	8,66	33	38
10:30	10,96	111	42	22:30	8,68	37	38
10:45	10,80	111	48	22:45	8,98	32	39
11:00	10,52	99	47	23:00	7,43	31	37
11:15	10,41	49	47	23:15	7,34	37	37
11:30	10,39	49	45	23:30	7,45	33	36
11:45	10,15	49	46	23:45	7,67	37	35
12:00	10,21	49	43	00:00	8,09	37	35
12:15	10,13	49	43	00:15	8,33	33	34
12:30	10,20	41	44	00:30	8,66	33	35
12:45	10,25	49	42	00:45	8,67	33	34
13:00	10,19	58	44	01:00	8,56	31	37
13:15	10,24	49	43	01:15	8,56	33	35
13:30	9,97	49	39	01:30	8,22	31	35
13:45	9,86	58	37	01:45	8,35	33	34
14:00	9,95	58	37	02:00	8,67	33	33
14:15	9,65	54	38	02:15	8,65	42	35
14:30	9,86	54	42	02:30	8,78	41	35
14:45	9,78	54	41	02:45	8,38	41	37
15:00	9,88	51	43	03:00	7,33	37	37
15:15	9,10	41	44	03:15	7,26	37	38
15:30	9,12	41	43	03:30	7,18	41	39
15:45	8,77	45	39	03:45	7,01	41	36
16:00	8,45	49	39	04:00	7,23	45	35
16:15	8,38	49	38	04:15	7,45	45	34
16:30	8,10	49	38	04:30	7,87	45	38
16:45	7,95	58	38	04:45	8,36	45	36
17:00	7,63	41	37	05:00	8,03	49	38
17:15	7,45	45	35	05:15	8,36	49	39
17:30	8,53	49	38	05:30	8,45	54	38
17:45	8,95	49	39	05:45	8,76	49	38
18:00	9,01	49	36	06:00	8,56	54	39
18:15	8,76	49	36	06:15	8,45	58	45
18:30	8,66	49	33	06:30	8,78	58	46
18:45	9,08	54	36	06:45	8,98	58	47
19:00	7,84	49	35	07:00	9,56	63	47
19:15	7,90	49	35	07:15	9,90	63	46
19:30	8,01	37	35	07:30	10,45	63	47
19:45	8,35	33	34	07:45	10,89	63	48

6.2.1.2. Graficas de comportamiento de pH, caudal y temperatura en el STARI (lagunas)

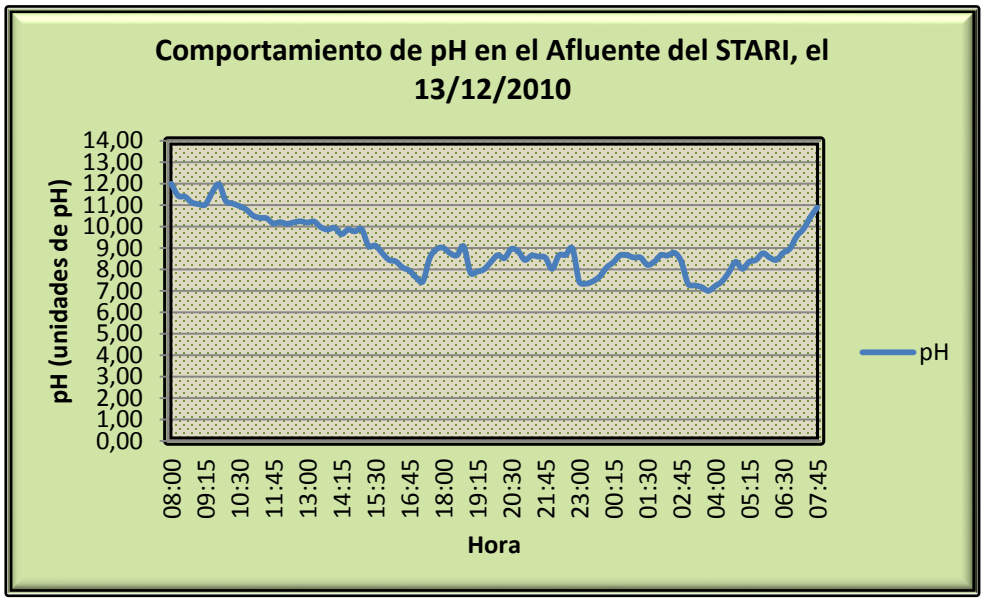
Grafica 2. Comportamiento del pH en el afluente (06/07/2010)



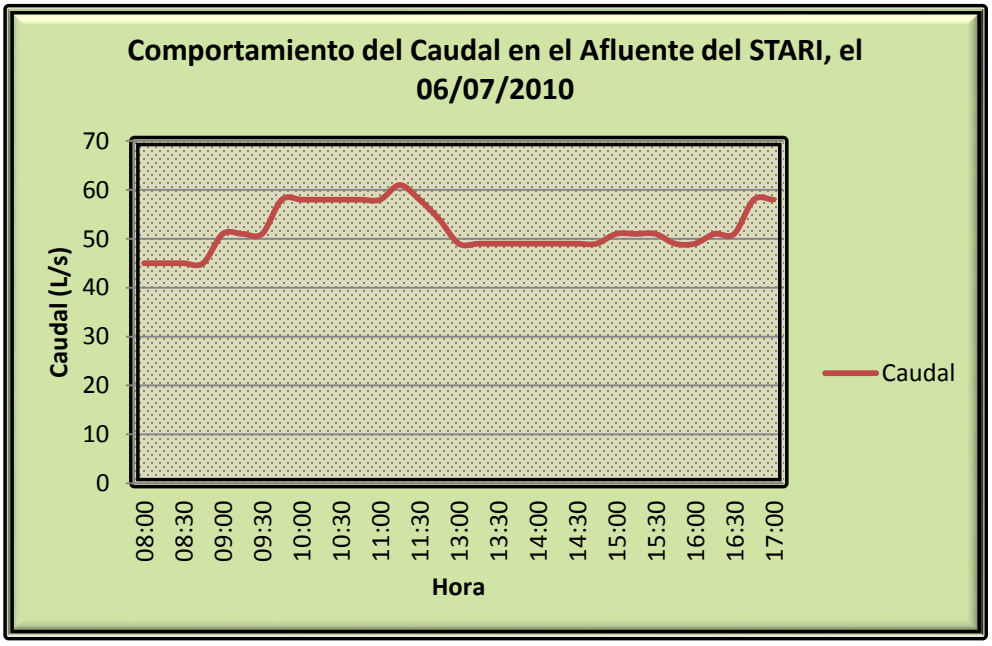
Grafica 3. Comportamiento de pH en el afluente de la laguna 1, afluente laguna 2, efluente laguna 3 y efluente laguna 4, el 15/07/2010



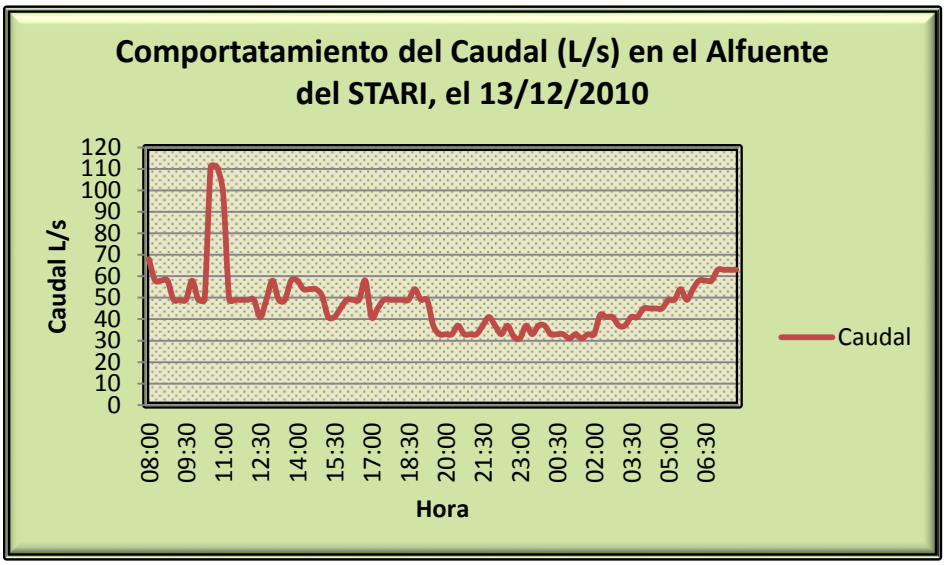
Grafica 4. Comportamiento de pH en el Afluente del STARI, el 13/12/2010



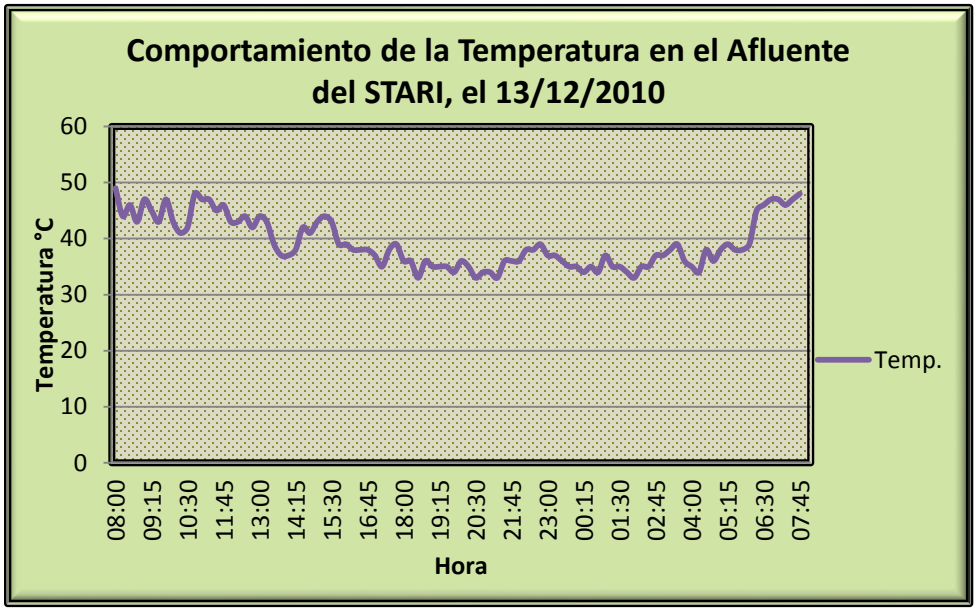
Grafica 5. Comportamiento del Caudal en el Afluente del STARI, el 06/07/2010



Grafica 6. Comportamiento del Caudal en el Afluente del STARI, el 13/12/2010



Grafica 7. Comportamiento de la Temperatura en el Afluente del STARI, el 13/12/2010



6.2.1.3. Interpretación de las gráficas 2, 3, 4, 5, 6 y 7

- ✓ En la primera jornada (06/07/2010), gráfica 2, se presentó el registro mínimo de pH a las 8:00 (6,87 unidades de pH), y su máximo se reconoce a las 9:45 un valor de 12,3; se denota una súbita alcalinización del efluente entre las 8:00 a las 8:15 (el pH pasa de 6,98 a 10,70 unidades de pH); a las 17:00 que finaliza la jornada el pH seguía con valores muy básicos de 10,20. En la segunda jornada de medición (15/07/2010) gráfica 3, el valor máximo se registra a las 8:00 (13,12 unidades de pH) cuando se inicia la jornada, mientras que el pH mínimo se presenta al finalizar la jornada a las 17:00 con un valor de 7,18 unidades de pH, el nivel desciende drásticamente de las 12:00 a las 13:00 (pasa de 10,50 a 7,32 unidades de pH). El comportamiento en la tercera jornada (13/12/2010), gráfica 4, al igual que en la jornada anterior presenta su pico más alto de pH a las 8:00 con un valor de 12 unidades de pH, mientras que su valor mínimo es a las 3:45 con un valor de 7,01; en esta tercera jornada se denota que el pH estabiliza, con valores cercanos a 7,00 unidades de pH a las 17:00; durante la noche y la madrugada se evidencian subidas y caídas del pH hasta en 2 unidades; nuevamente a las 6:45 se nota claramente una alcalinización de las aguas.

  No existe un comportamiento típico y/o secuencial en las tres jornadas de medición de pH en el afluente del sistema de lagunas.

  El seguimiento realizado en el afluente de la laguna 2, efluente de las lagunas 3 y 4, el (15/07/2010) presentan un comportamiento de pH estable en todos los puntos de medición y durante toda la jordana independientemente de los valores que registre el efluente.

  Se nota claramente una acidificación desde la salida de la primera laguna (entrada a la segunda) y de ahí en adelante en todo el sistema, con rangos de pH que oscilan entre 4,60 y 4,67 unidades de pH.

  Es importante mencionar que los valores tan elevados de pH, se deben a la adición de soda caustica, compuesto que utilizan dentro del proceso productivo del azúcar con el fin de realizar lavado a equipos y evitar las incrustación de residuos que dificulten la operación de los mismos.

- ✓ En cuanto a caudales se puede deducir que en la primera jornada (06/07/2010) es más estable que la segunda (13/12/2010); debido a que solo se pudo realizar seguimiento a este parámetro en dos jornadas se puede concluir que no existen elementos de juicio para concluir sobre el comportamiento de caudales horarios. Sin embargo se realiza un análisis grafico de las dos jornadas.

  La gráfica 5, representa el seguimiento realizado el (06/07/2010), a las 9:00 el caudal aumenta de 45 a 51 L/s. El pico máximo se registra a las 11:15 (61 L/s), desde las 9:00 y hasta las 12:00 permanece casi constante, luego desciende a 50 L/s hasta las 17:00 cuando finaliza la jornada de medición y se denota una subida de caudal casi de 60 l/s. El caudal medio de las 8:00 a las 17:00 fue de 52 L/s.

  La gráfica 6, que representa los caudales medidos el (13/12/2010), presenta un comportamiento variable, las mediciones que duraron 24 horas, con registros cada 15 minutos presentan un valor medio de 48L/s. Se reportó un máximo de 111 L/s a las 10:30 a 10:45 y un mínimo de 31 L/s a las 11:00. Durante el lapso de tiempo que duro el pico máximo de caudal mayor a 100 L/s la canaleta Parshall se desbordó, esto ocurrió por una falla que se presentó en la fábrica.

- ✓ El registro de temperatura horario se realiza el (13/12/2010). El valor medio que se presenta en el día de la medición es de 39°C, pero los valores oscilan en un rango 33 a 49 °C. Se identifica que la temperatura del afluente no está influenciada por la temperatura ambiente ya que los mayores valores altos se reportan en las horas de la mañana y no en la tarde cuando la temperatura ambiente es mayor.

6.2.2. CARACTERIZACIONES DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SISTEMA DE LAGUNAS EN EL PERIODO DE ESTUDIO.

Con el fin de determinar las características fisicoquímicas en el sistema de Lagunas, se presentan y analizan las caracterizaciones realizadas por la empresa Fumindustrial S.A. (laboratorio certificado por el IDEAM) que evalúa mensualmente los parámetros más relevantes exigidos por el Decreto 1594 de 1984, y que son indispensables para calcular las cargas orgánicas y determinar el valor de las tasas retributivas; el periodo tomado es del mes de Junio a Noviembre del 2010.

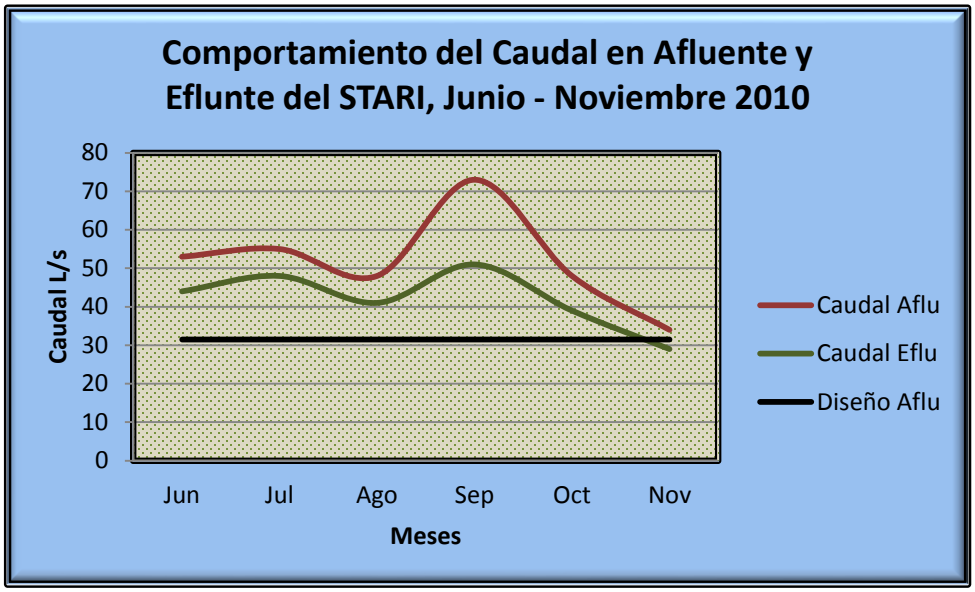
6.2.2.1. Tabulación de la información

Tabla 8. Resumen de caracterización de parámetros físico-químicos en el STARI (lagunas), periodo Junio-Noviembre 2010

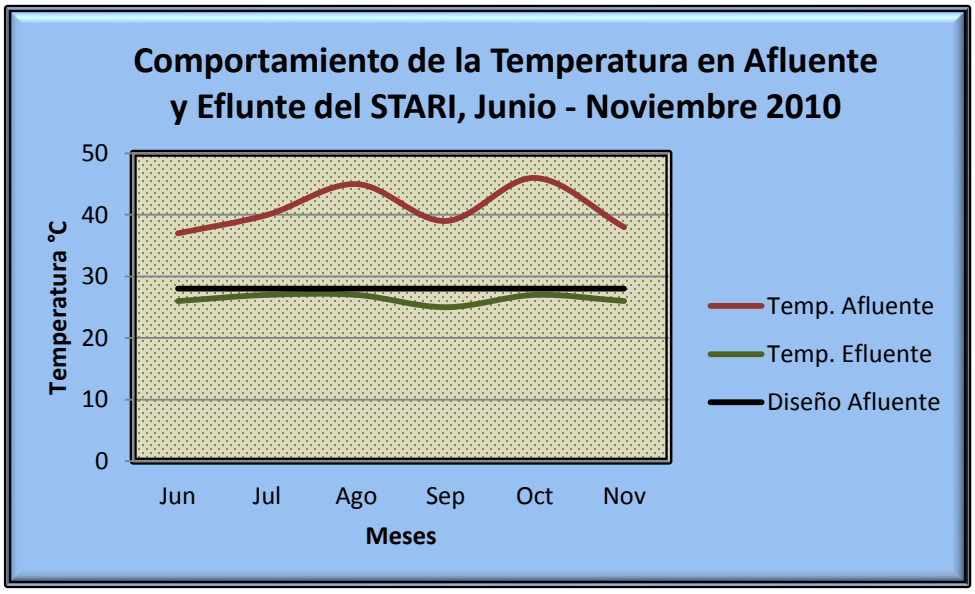
RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN EL STARI (Lagunas), PERIODO JUNIO-NOVIEMBRE 2010											
MES	PUNTO	CAUDAL	TEMP	CONCENTRACIÓN EN mg/L			CARGA EN Kg/día			% REMOCIÓN	
		L/s	°C	DBO5	DQO	SST	DBO5	DQO	SST	carga DBO5	carga SST
JUN	Aflu. Sist	53,0	37,0	2827,2	4440,3	390,1	12946,3	20333,0	1786,3	46,88	48,78
	Eflu. Sist	44,0	26,0	1809,1	2564,8	240,7	6877,5	9750,3	915,0		
JUL	Aflu. Sist	55,0	40,0	3567,4	4810,2	528,1	16952,3	22858,1	2509,5	37,40	51,55
	Eflu. Sist	48,0	27,0	2558,9	3397,4	293,2	10612,3	14089,7	1216,0		
AGO	Aflu. Sist	48,0	45,0	4342,7	5783,2	464,2	18010,0	23984,1	1925,1	44,66	46,77
	Eflu. Sist	41,0	27,0	2813,8	3112,8	289,3	9967,6	11026,8	1024,8		
SEP	Aflu. Sist	73,0	39,0	9122,2	11340,4	720,1	57535,5	71526,2	4541,8	54,10	62,13
	Eflu. Sist	51,0	25,0	5993,6	6823,8	390,3	26410,2	30068,4	1719,8		
OCT	Aflu. Sist	48,0	46,0	3342,5	5283,4	495,7	13862,0	21911,3	2055,8	41,29	46,32
	Eflu. Sist	39,0	27,0	2415,1	3438,3	327,5	8137,9	11585,7	1103,5		
NOV	Aflu. Sist	34,0	38,0	1925,6	3788,9	323,5	5656,6	11130,3	950,3	51,57	62,19
	Eflu. Sist	29,0	26,0	1093,4	1743,6	143,4	2739,6	4368,8	359,3		
PROM Afluente		**51,8**	**40,8**	**4187,9**	**5907,7**	**487,0**	**20827,1**	**28623,8**	**2294,8**	**45,98**	**52,96**
PROM Efluente		**42,0**	**26,3**	**2780,7**	**3513,5**	**280,7**	**10790,8**	**13481,6**	**1056,4**		
MAX Afluente		**73,0**	**46,0**	**9122,2**	**11340,4**	**720,1**	**57535,5**	**71526,2**	**4541,8**		
MIN Afluente		**34,0**	**37,0**	**1925,6**	**3788,9**	**323,5**	**5656,6**	**11130,3**	**950,3**		
MAX Efluente		**51,0**	**27,0**	**5993,6**	**6823,8**	**390,3**	**26410,2**	**30068,4**	**1719,8**		
MIN Efluente		**29,0**	**25,0**	**1093,4**	**1743,6**	**143,4**	**2739,6**	**4368,8**	**359,3**		

6.2.2.2. Graficas de caracterizaciones de parámetros físico-químicos en el STARI, periodo Junio-Noviembre 2010

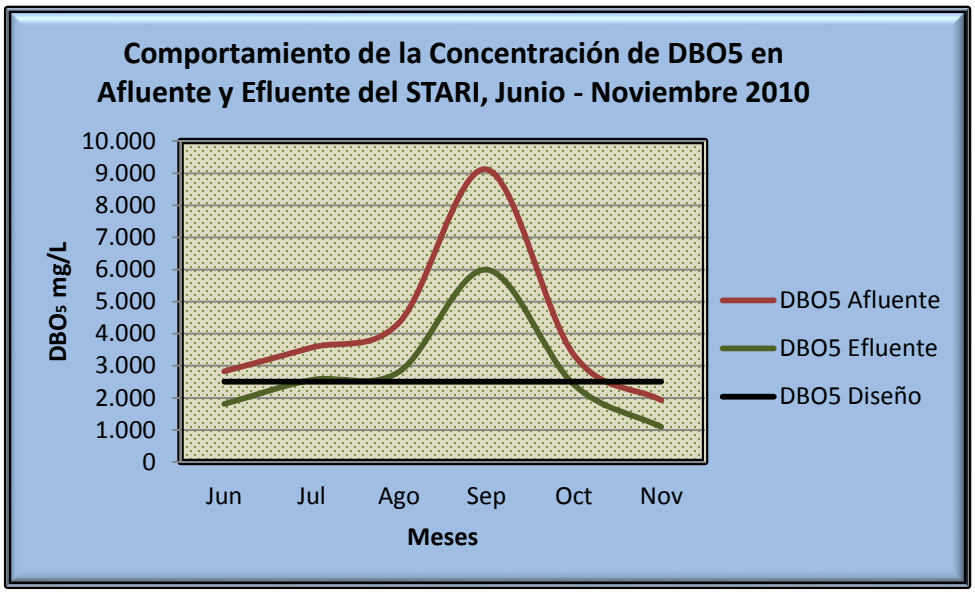
Grafica 8. Comportamiento del Caudal en Afluente y Efluente del STARI, Junio - Noviembre 2010



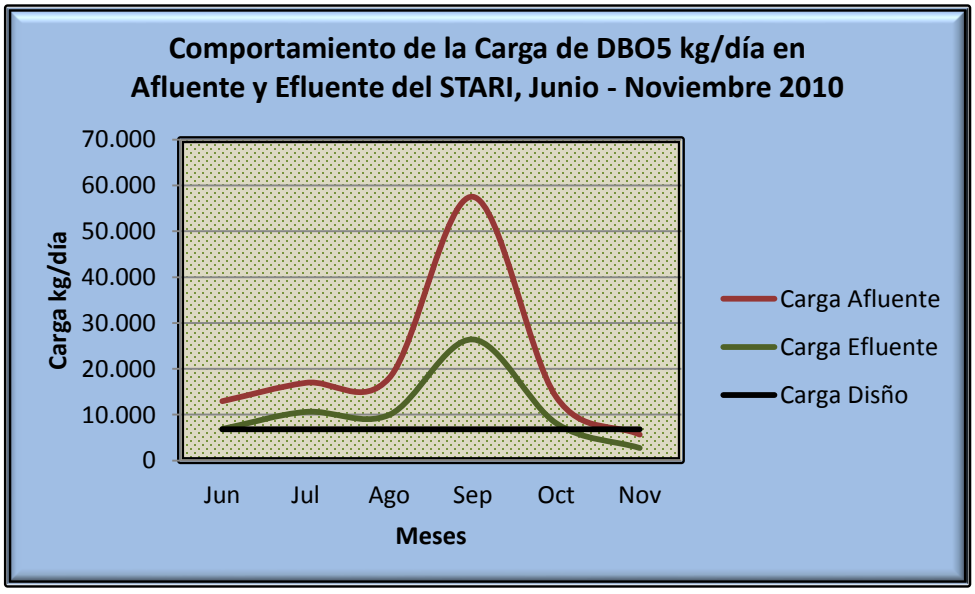
Grafica 9. Comportamiento de la Temperatura en Afluente y Efluente del STARI, Junio - Noviembre 2010



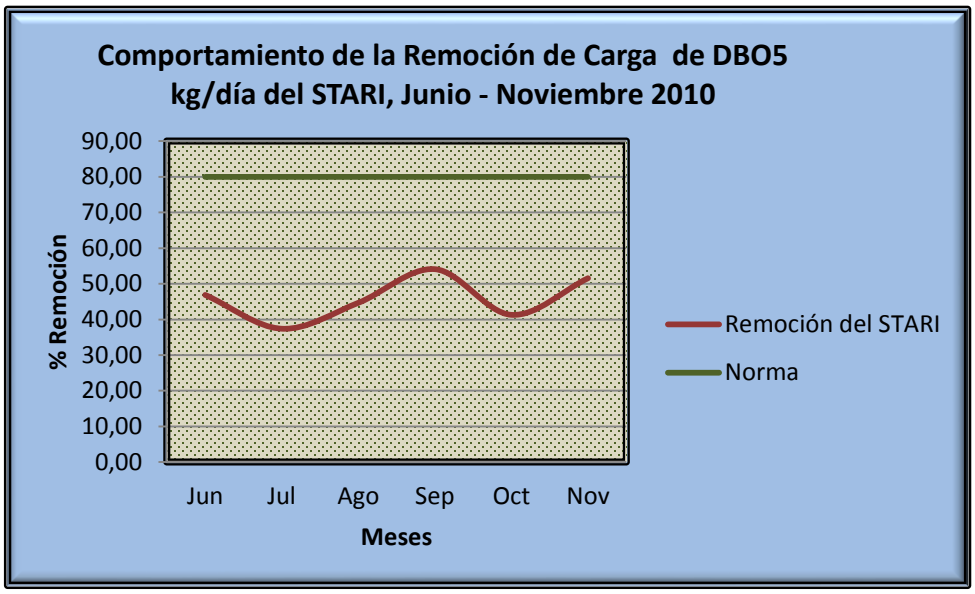
Grafica 10. Comportamiento de la Concentración de DBO5 mg/L en Afluente y Efluente del STARI, Junio - Noviembre 2010



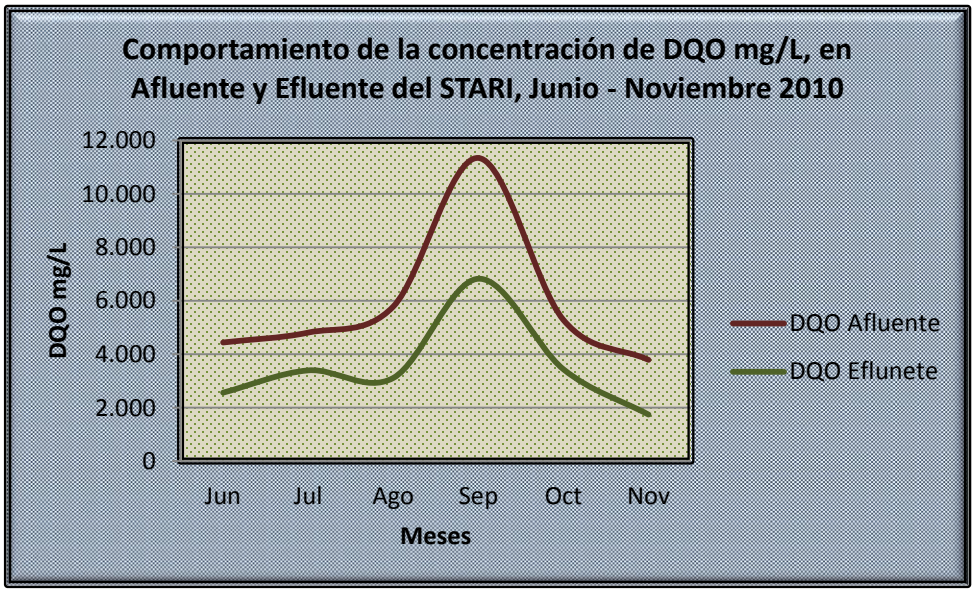
Grafica 11. Comportamiento de la Carga de DBO5 kg/día en Afluente y Efluente del STARI, Junio - Noviembre 2010



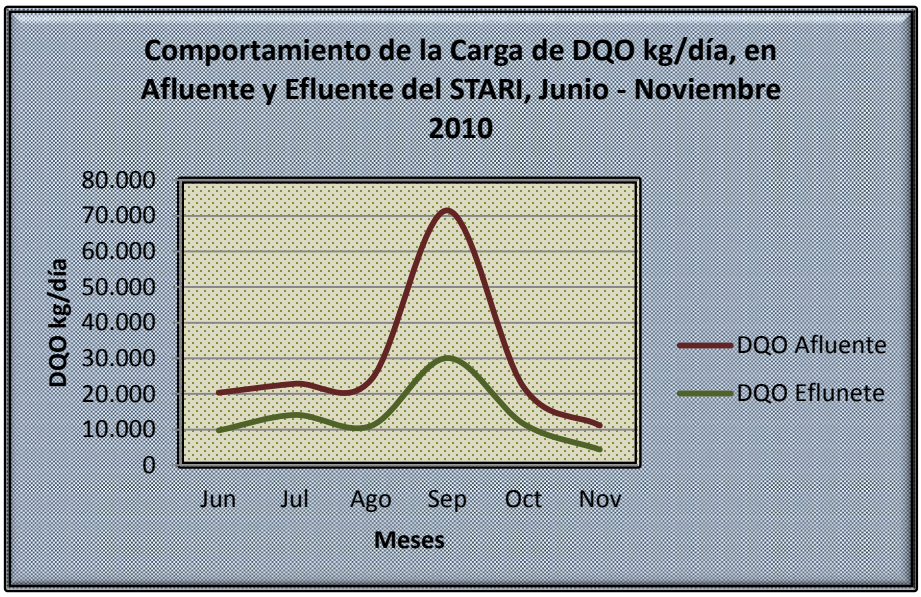
Grafica 12. Comportamiento de la Remoción de Carga de DBO5 kg/día del STARI, Junio - Noviembre 2010



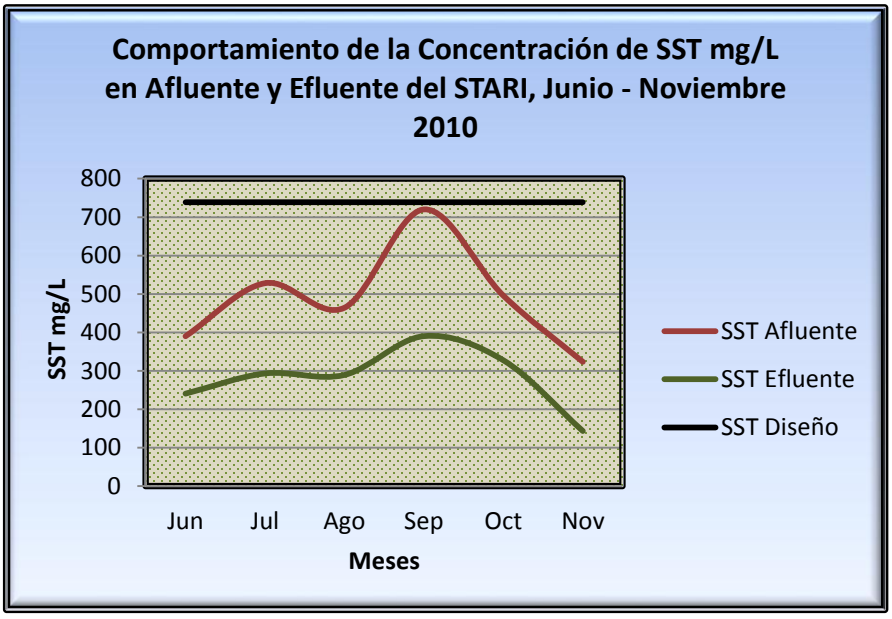
Grafica 13. Comportamiento de la Concentración de DQO mg/L en Afluente y Efluente del STARI, Junio - Noviembre 2010



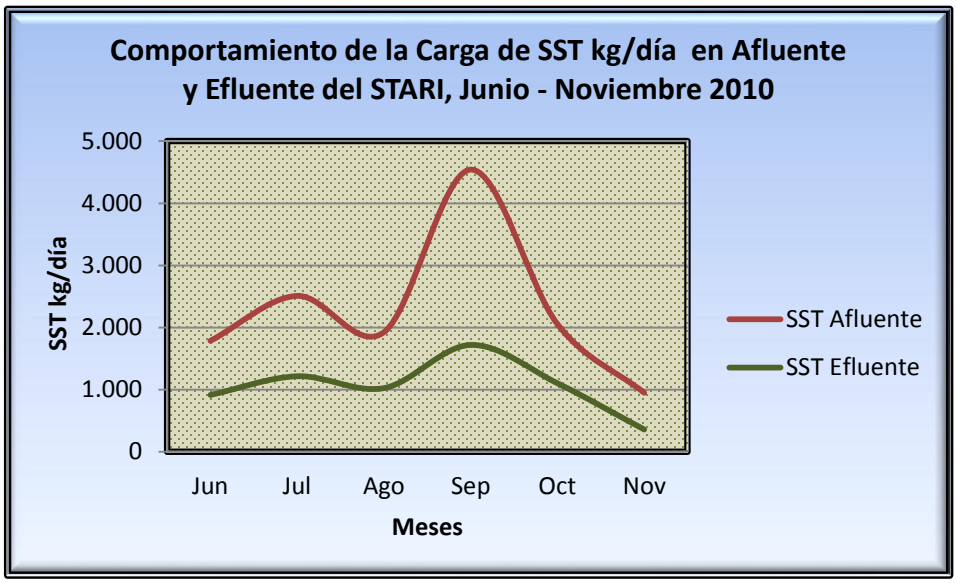
Grafica 14. Comportamiento de la Carga de DBO5 kg/día en Afluente y Efluente del STARI, Junio - Noviembre 2010



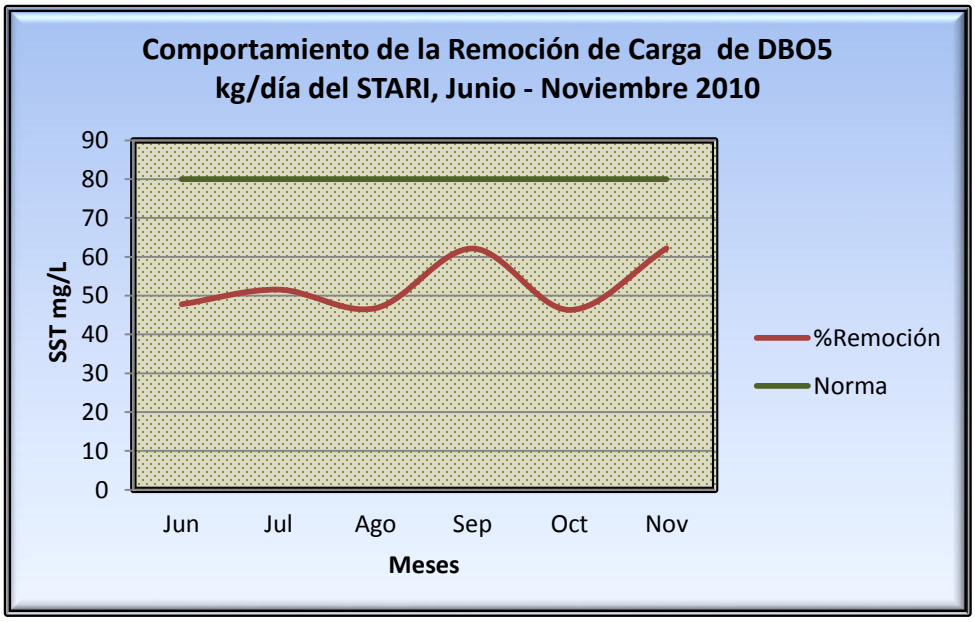
Grafica 15. Comportamiento de la Concentración de SST mg/L en Afluente y Efluente del STARI, Junio - Noviembre 2010



Grafica 16. Comportamiento de la Carga de SST kg/día en Afluente y Efluente del STARI, Junio - Noviembre 2010



Grafica 17. Comportamiento de la Remoción de Carga de SST kg/día del STARI, Junio - Noviembre 2010



6.2.2.3. Interpretación de las gráficas 8 a la 17

- ✓ Relativo a la gráfica 8, se aprecia que el promedio del caudal en el Afluente, durante los 6 meses de estudio fue de 52 L/s, valor que sobrepasa el caudal de diseño que es de 31,5 L/s.

  En el mes de septiembre se presentó un máximo de 73 L/s y un mínimo de 34 L/s en el mes de noviembre respectivamente.

  El caudal máximo registrado ocurrió en la jordana de liquidación que se llevó a cabo el mes de septiembre en fábrica lo que demandaba un alto consumo de agua reflejado en el incremento de los vertimientos que recibe el sistema de lagunas.

  En cuanto al Efluente del STARI, se aprecia que el promedio fue de 42 L/s. En el mes de septiembre se presenta el máximo valor con un resultado de 51 L/s y un mínimo el mes de Noviembre con un valor de 29 L/s.

  La pérdida de agua entre la entrada y salida del sistema se estima en menos de 10 L/s, que equivale a un 20%.

- ✓ De la gráfica 9, se puede decir que las aguas residuales que están llegando al STARI presentan una temperatura elevada si se compara con la temperatura de diseño la cual es de 28 °C en el Afluente. Este punto actualmente alcanza valores de hasta 46 °C como lo muestra el mes de octubre, siendo este el valor más alto de los presentados en el periodo analizado.

- ✓ En la gráfica 10 se evidencia que la concentración de DBO_5 (mg/L) que le está ingresando al STARI, es alta con respecto a la de diseño. Se observa que en el mes de septiembre se generó una concentración elevada con un valor de 9122mg/L, al igual que el caudal, la elevada concentración de DBO_5 se presentó en la jornada de liquidación que se realizaba dentro de las instalaciones de la fábrica. Esta jornada demanda un alto consumo de agua que a su vez genera mayor caudal y concentración de DBO_5.

  El promedio de la concentración de DBO_5 durante estos 6 meses, fue de 4187,9 mg/L, y su mínimo registro fue de 1925,6 mg/L en el mes de Noviembre.

Es importante recalcar que el valor de diseño de este parámetro en el Afluente del STARI es de 2502 mg/L, con lo que se demuestra que en la actualidad se sobrepasa ampliamente este parámetro.

- ✓ En la gráfica 11, se evidencia que solo en uno de los 6 meses en estudio se cumple con la carga orgánica medida en DBO_5, debido a que le ingresan cargas orgánicas muy elevadas, alcanzando valores de hasta 57535 kg/día.

  Estos valores se deben a que no se controla y estabiliza el caudal en el afluente, además de las altas concentraciones que llegan del proceso productivo sobretodo en la jornada de liquidación.

- ✓ En la gráfica 12, Remoción de carga orgánica medida en DBO_5 se observa la baja eficiencia del sistema, con un promedio del 46%. La remoción máxima registrada fue en el mes de septiembre con un valor cercano al 55% valor que está muy por debajo de lo estipulado en el Decreto 1594 de 1984 que reglamenta una remoción mínima del 80%. Se registran valores mínimos del 37,4% en el mes de Julio.

- ✓ En las gráficas 13 y 14 que ilustran el comportamiento de la DQO en el sistema se observa una alta concentración de este parámetro, ratificando la alta carga orgánica de los vertimientos industriales generados por el ingenio azucarero.

- ✓ De la gráfica 15 se concluye que los valores de concentración de SST (mg/L), se encuentran en un rango aceptable si se toma como referencia el valor de del parámetro de diseño, siendo este de 739 mg/L, se nota que ninguno de los valores obtenidos en el periodo Junio – Noviembre alcanzan a superar el parámetro de diseño, siendo 720 mg/L el resultado más alto que se obtuvo en dichos análisis. El valor más bajo se presentó en el mes de noviembre con un resultado de 143,4 mg/L.

- ✓ La grafica 16 refleja el comportamiento de la carga orgánica de SST (kg/día) aplicada al STARI, se interpreta que el promedio de la carga que le llega en el Afluente es de 2294 kg/día, registrando una diferencia de 283 kg/día más alta que la de diseño la cual es de 2011 kg/día.

  El resultado de carga de SST depende de la concentración y del caudal que se genere, siendo este último el parámetro que más está afectando el aumento en la carga de SST. Es de resaltar que es un parámetro de control importante

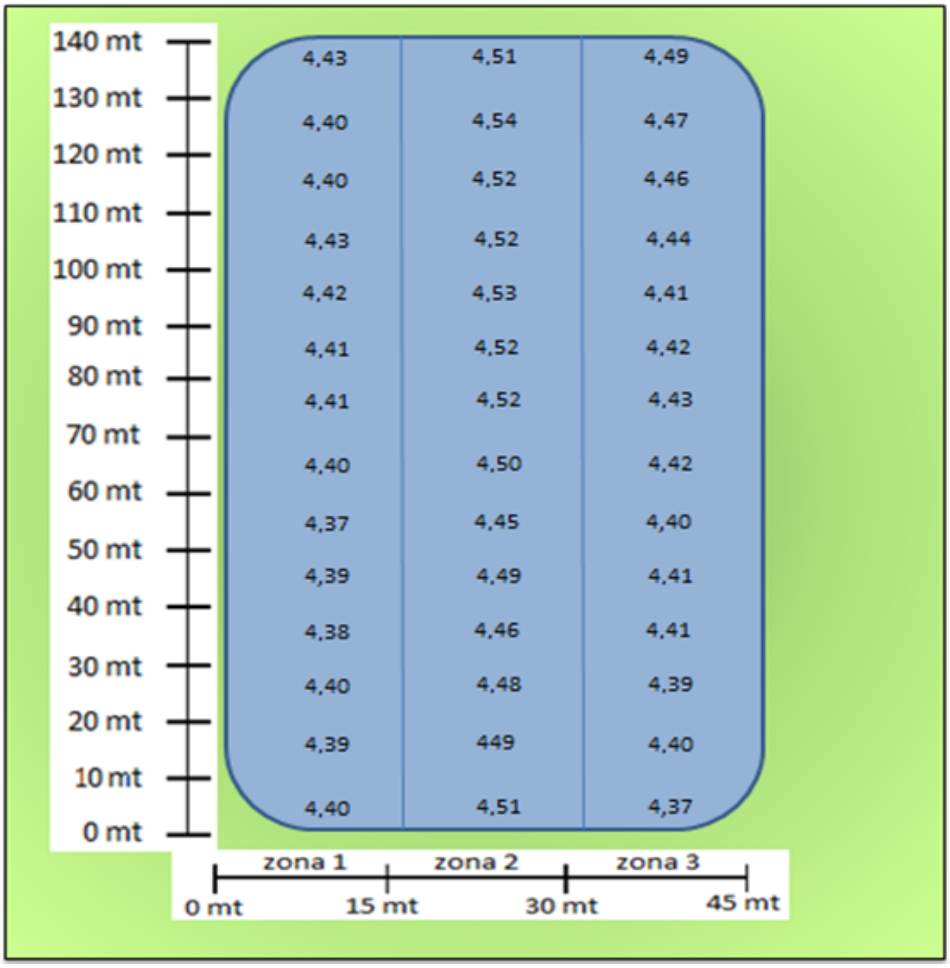
para la empresa, debido a que también por este se aumenta el pago de tasas retributivas a la corporación regional.

6.2.3. BARRIDO DE pH EN EL INTERIOR DE LA LAGUNA 1

6.2.3.1. Justificación

Como se analizó en el numeral 6.2.1.3 de la presente monografía, es evidente una acidificación de las aguas de las lagunas. Para determinar el comportamiento del pH al interior de éstas, se realiza un barrido de la laguna anaerobia 1, arrojando los siguientes resultados.

Diagrama 6. Medición de pH laguna 1



Nota: No se realiza barrido de medición de pH en las otras lagunas por cuanto es evidente que si la primera presenta acidificación después del metro las otras tienen el mismo problema, esto se constata en la tabla 6.

6.2.3.2. Interpretación de resultados

Referente al diagrama 6 se concluye que, toda la laguna presenta pH muy bajos, con valores de hasta 4,5 unidades de pH desde el primer metro donde el agua entra laguna 1.

El comportamiento registrado es atípico, por cuando los valores de pH del afluente (ver tablas 5, 6 y 7) son altamente alcalinos con valores de 12 unidades de pH que se mantienen por más de 6 horas diarias, lo que haría suponer que las lagunas son alcalinas.

Debido a las limitaciones de tiempo y presupuesto de esta investigación, no se realizaron los análisis que pudiesen determinar las causas de que las lagunas presenten un efecto buffer sobre las grandes cantidades de soda cáustica que contiene el afluente y que llega de manera directa a las lagunas afectando el pH y la alcalinidad de éstas.

Es necesario mencionar que estos parámetros son determinantes para el correcto funcionamiento bioquímico de los microorganismos para la degradación de la materia orgánica.

6.2.4 CARACTERIZACIÓN DE ANÁLISIS QUÍMICOS ESPECIALES

6.2.4.1 Justificación para la realización de los análisis especiales

Los análisis que se muestran a continuación se realizaron con el fin de determinar algunas características químicas especiales de las aguas residuales que se generan en el proceso de elaboración de caña de azúcar dentro del Ingenio Azucarero S.A. y que tienen injerencia en los procesos biológicos de las lagunas.

Tomado como base los análisis de los resultados a los parámetros de pH, DBO_5, DQO y SST y la baja remoción del sistema de lagunas, presentado anteriormente, se determinó realizar análisis de ácidos carboxílicos, concentración de Sacarosa, Fructosa y Glucosa, a las aguas residuales del ingenio azucarero debido a que son compuestos de estructura química fundamentalmente por carbono,

hidrógeno, oxígeno, y nitrógeno y que se generan en las aguas residuales de la industria azucarera, la presencia de estos compuestos complejos pueden hacer que las lagunas tengan un efecto buffer por la degradación de azucares y formación de estos ácidos, como posibles causantes en la acidificación de las aguas. (Ver Anexo 2)

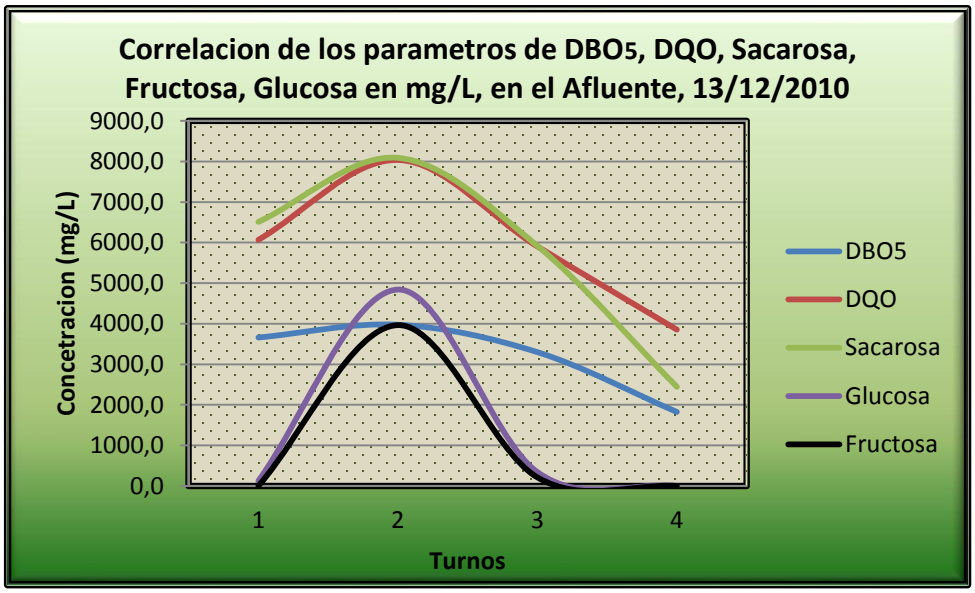
6.2.4.2 Tabulación de información de la caracterización de análisis químicos especiales

FICHA TECNICA				
Lugar	*Ingenio Azucarero S.A*			
Fecha de Muestreo	*13/12/2010*			
Punto de Muestreo	*Afluente del STARI*			
Duracion	*24 horas*			
Tipo de Muestra	*Compuesta Cada 6 Horas*			
Turnos	*8:00 am - 2:00 pm, 2:00 pm - 8:00 pm, 8:00 pm - 2:00 am, 2:00 am- 8:00 am*			
Parametro	*DBO 5(mg/L), DQO (mg/L), Sacaros (mg/L), Glucosa (mg/L) y Fructosa(mg/L),*			
Muestreador	*EVER TULIO GUTIERREZ Y LUIS ALBERTO GONZALEZ*			
Laboratorio	Ecoquimica ltda.			
TURNO	**HORA**	**PAMARETRO**	**RESULTADO**	**METODO**
Primer Turno	8:00 a.m -2:00 p.m	**DBO5 (mg/L)**	3660,0	S.M 4500 G 5210 B
segundo Turno	2:00 p.m-8:00 p.m		3975,0	S.M 4500 G 5210 B
Tercer turno	8:00 p.m-2:00 a.m		3300,0	S.M 4500 G 5210 B
Cuarto Turno	2:00 a.m-8:00 a.m		1825,0	S.M 4500 G 5210 B
TURNO	**HORA**	**PAMARETRO**	**RESULTADO**	**METODO**
Primer Turno	8:a.m -2:00 p.m	**DQO (mg/L)**	6069,0	S.M 5220 C
segundo Turno	2:00 p.m-8:00 p.m		8037,57	S.M 5220 C
Tercer turno	8:00 p.m-2:00 a.m		5905,15	S.M 5220 C
Cuarto Turno	2:00 a.m-8:00 a.m		3854,75	S.M 5220 C
TURNO	**HORA**	**PAMARETRO**	**RESULTADO**	**METODO**
Primer Turno	8:00a.m -2:00 p.m	**Sacarosa (mg/L)**	6510,15	CENICAÑA
segundo Turno	2:00 p.m-8:00 p.m		8090,37	CENICAÑA
Tercer turno	8:00 p.m-2:00 a.m		5919,78	CENICAÑA
Cuarto Turno	2:00 a.m-8:00 a.m		2444,68	CENICAÑA
TURNO	**HORA**	**PAMARETRO**	**RESULTADO**	**METODO**
Primer Turno	8:00 a.m -2:00 p.m	**Glucosa (mg/L)**	125,92	CENICAÑA
segundo Turno	2:00 p.m-8:00 p.m		4842,44	CENICAÑA
Tercer turno	8:00 p.m-2:00 a.m		341,47	CENICAÑA
Cuarto Turno	2:00 a.m-8:00 a.m		<0,02	CENICAÑA
TURNO	**HORA**	**PAMARETRO**	**RESULTADO**	**METODO**
Primer Turno	8:00a.m -2:00 p.m	**Fructosa (mg/L)**	< 0,015	CENICAÑA
segundo Turno	2:00 p.m-8:00 p.m		3965,3	CENICAÑA
Tercer turno	8:00 p.m-2:00 a.m		211,35	CENICAÑA
Cuarto Turno	2:00 a.m-8:00 a.m		<0,02	CENICAÑA

TURNO	HORA	Ácido Láctico(mg/l)	MÉTODO
Primer Turno	8:00 - 14:00	<0,01	C.G
segundo Turno	15:00 - 20:00	<0,01	C.G
Tercer turno	21:00 - 2:00	<0,01	C.G
Cuarto Turno	3:00 - 8:00	<0,01	C.G
TURNO	**HORA**	**Ácido Oxálico (mg/L)**	**MÉTODO**
Primer Turno	8:00 - 14:00	<0,01	C.G
segundo Turno	15:00 - 20:00	<0,01	C.G
Tercer turno	21:00 - 2:00	<0,01	C.G
Cuarto Turno	3:00 - 8:00	<0,01	C.G
TURNO	**HORA**	**Ácido Málico (mg/L)**	**MÉTODO**
Primer Turno	8:00 - 14:00	<0,01	C.G
segundo Turno	15:00 - 20:00	<0,01	C.G
Tercer turno	21:00 - 2:00	<0,01	C.G
Cuarto Turno	3:00 - 8:00	<0,01	C.G
TURNO	**HORA**	**Ácido Butírico (mg/L)**	**MÉTODO**
Primer Turno	8:00 - 14:00	<0,01	C.G
segundo Turno	15:00 - 20:00	<0,01	C.G
Tercer turno	21:00 - 2:00	<0,01	C.G
Cuarto Turno	3:00 - 8:00	<0,01	C.G

6.2.4.3 Correlación de concentración en mg/L de DB05, DQO, Sacarosa, Fructuosa y Glucosa, en el Afluente 13/12/2010

Grafica 18. Correlación de concentración en mg/L de DB05, DQO, Sacarosa, Fructuosa y Glucosa, en el Afluente 13/12/2010



6.2.4.4 Interpretación de las gráfica 18

- ✓ Se ilustra gráficamente el comportamiento de la concentración de DBO_5 generado en los diferentes turnos de la jornada, se concluye que el turno que presentó mayor concentración de DBO_5 (mg/L) fue el turno 2, con un valor de 3975 mg/L y el que menos concentración genero fue el turno 4, con tan solo 1825 mg/L, siendo este un valor más recomendable para el Afluente del STARI.

- ✓ La grafica muestra que para el turno 2 se generó una concentración de DQO mg/L de 8037, siendo este el valor más alto de la jornada, el valor mínimo se presentó en el cuarto turno con 3854 mg/L.

- ✓ Las concentraciones de perdida de sacarosa en los diferentes turnos muestran valores altos, presentando su máximo valor en el segundo turno con un resultado de 8090 mg/L, y un mínimo valor en el cuarto turno con un valor de 2444 mg/L respectivamente.

Importante la información que esta grafica muestra, debido a que en ella se puede apreciar cual es el turno que mayor pérdida de sacarosa está generando, contribuyendo esto al aumento en la concentración de DBO_5.

Se observa como la concentración de todas las sustancias se aumenta en el segundo turno y disminuyen sus valores en el cuarto turno. La gráfica permite visualizar como los azucares repercuten directamente en las concentraciones de DBO_5 y DQO.

Nota: Para los resultados de los parámetros Ácidos Láctico, Oxálico, Málico y Butírico no se presentan gráficas, debido a que solo arrojaron valores menores al límite de detección del método (≤0,01 mg/L).

6.2.5 MEDICIÓN DE LA ALTURA DE LODOS EN LAS LAGUNAS 1 Y 2

Diagrama 7. Medición altura de lodos laguna 1

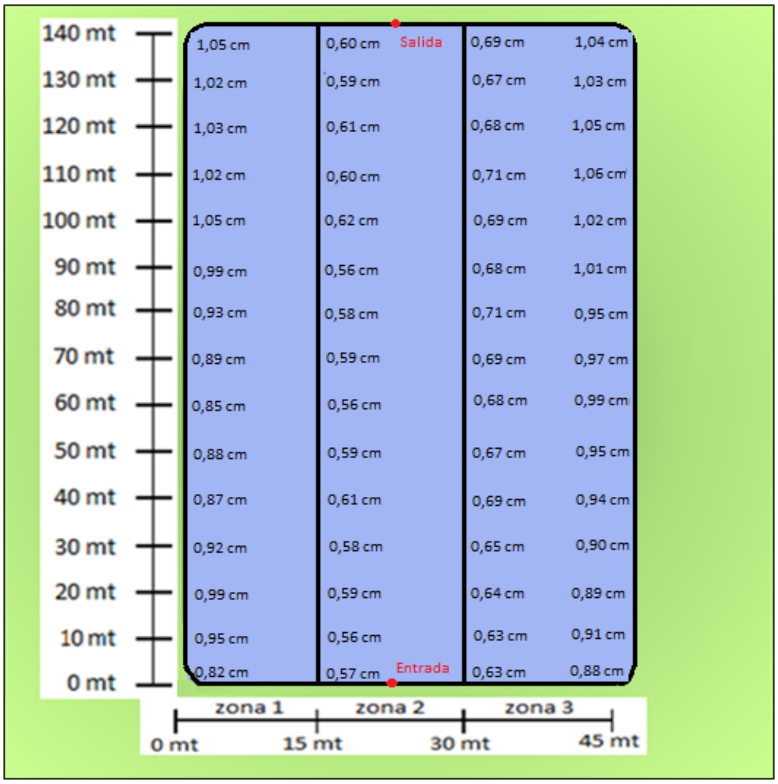
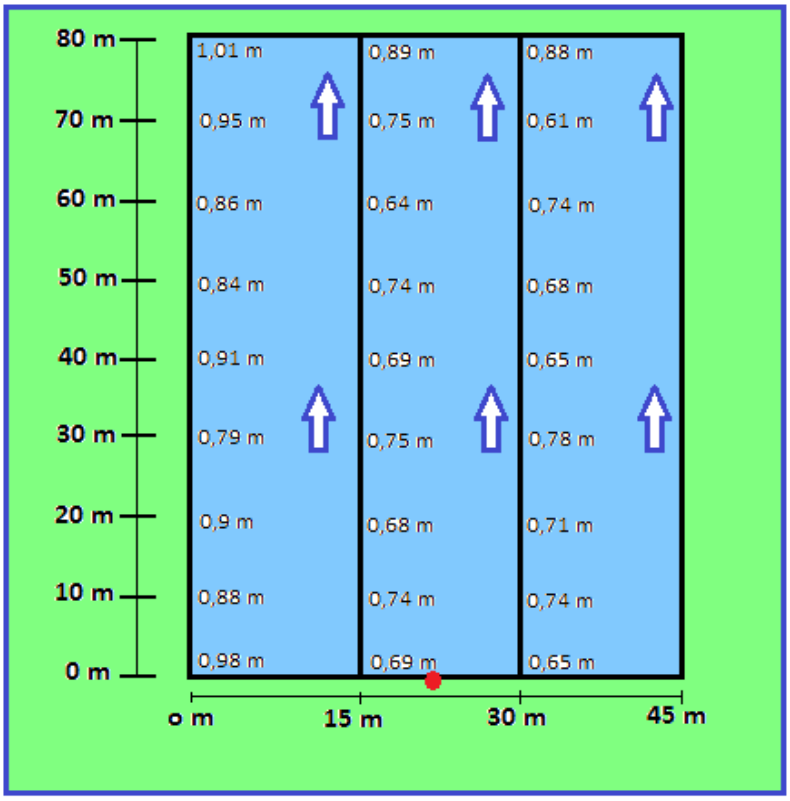
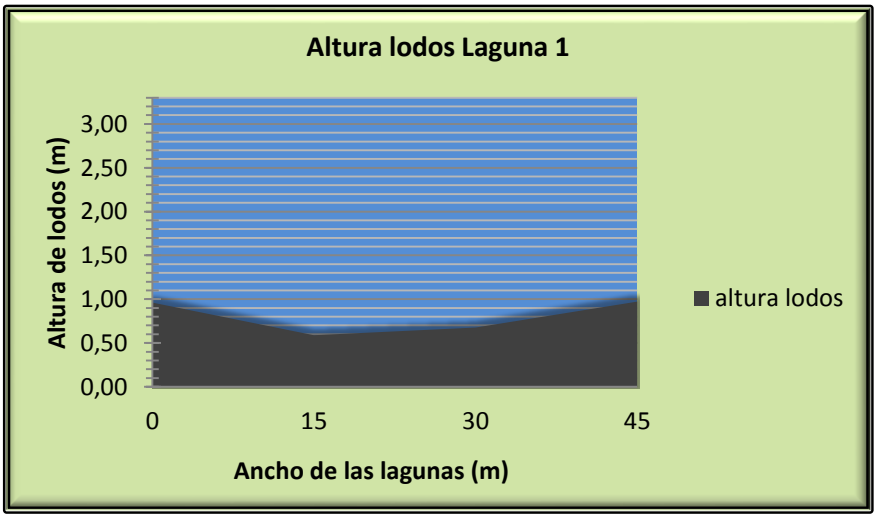
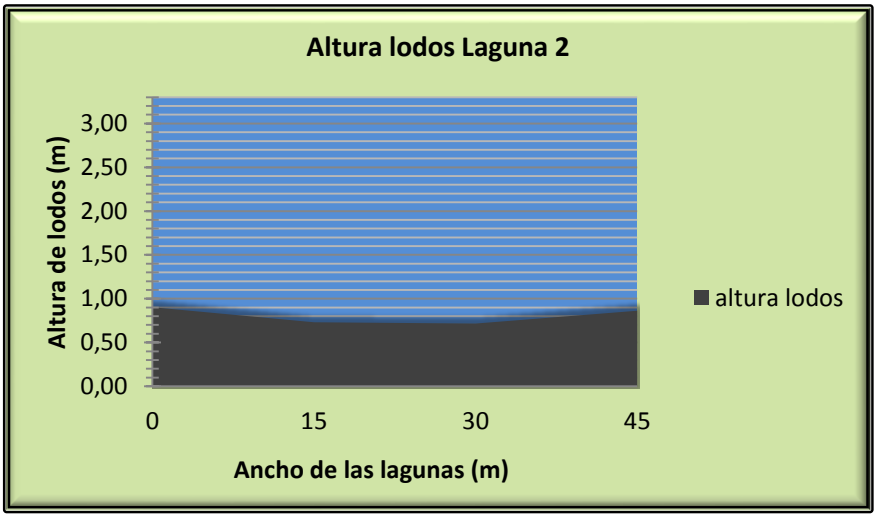


Diagrama 8. Medición altura de lodos laguna 2



Grafica 23. Altura de lodos laguna 1 y 2





6.3.1. Interpretación de diagrama 7, 8 y grafica 23

- ✓ El volumen y área de las lagunas 1 y 2 es de 36627 m^3 y 10990 m^2 respectivamente (ver tabla 2). Con la determinación de la altura de los lodos sedimentados se puede apreciar que la altura promedio es de 0,8 m por consiguiente el volumen ocupado por los lodos se estima en 8792 m^3 de los 36627 m^3 del total de las lagunas 1 y 2, equivalente al 24 % del volumen total de las lagunas anaerobias 1 y 2 perdiendo un cuarto (1/4) de su capacidad depuradora.

6.4. COMPROBACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO CON LOS PARÁMETROS ACTUALES DE OPERACIÓN

Para la comprobación de los parámetros de diseño con los parámetros actuales, se tomaran los resultados obtenidos de la empresa Fumindustrial en el periodo Junio-Noviembre (ver tabla 9).

Parámetros de operación actuales de las lagunas anaerobias 1 y 2.

- ✓ Concentración DBO_5= 4.188 $mg*L^{-1}$
- ✓ Caudal = 52 $L*s^{-1}$
- ✓ Carga orgánica= 20.827 $kg*dia^{-1}$
- ✓ Volumen disponible lagunas 1 y 2 = 27.835 m^3
- ✓ Área lagunas 1 y 2 = 10.990 m^2 = 1.1 ha

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE DISEÑO EN LAS CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN

- ✓ **Carga Orgánica Volumétrica (COV)**

$$COV = \frac{\text{Carga orgánica}}{\text{Volumen disponible}} = (\text{gr } DBO_5/m^{3*}\text{día})$$

COV = 20.827.000 (gr/día) / 27.835 m^3

COV = 748 (gr DBO_5/m^{3*}día)

- ✓ **Tiempo de Retención (T.R)**

T.R = Volumen / caudal = (días)

T.R = 27.835 m^3 / 0.052 $m^3 *s^{-1}$

T.R = 6.2 días

- ✓ **Calculo de la DBO_5 del Efluente (S)**

  $S = S_a / (K * T.R + 1) = mg*L^{-1}$

  $S = 4.187 / (0{,}55 * 6.1 + 1)$

  $S = 961{,}6\ mg*L^{-1}$

Donde:

S: DBO efluente (mg/L)

S_a: DOB Afluente (mg/L)

K: coeficiente de degradación global de DBO en las lagunas anaerobias.

- ✓ **Cálculo de la eficiencia teórica del sistema de lagunas 1 y 2 en las condiciones actuales**

  $$Ef = \frac{4.187 - 961{,}6}{4.187} \times 100 =$$

  Ef = 77 %

Tabla 9. Parámetros de diseño comparados con parámetros actuales de operación

PARÁMETRO	VALOR DISEÑO	VALOR OPERACIÓN	CUMPLE
Caudal medio	31,5 L/s	52 L/s	NO
Caudal máximo	63 L/s	73 L/s	NO
Concentración $DBO_{5\ Afluente}$	2.502 mg/L	4.187mg/L	NO
Carga organica $DBO_{5\ Afluente}$	6.744 kg/día	20.827 kg/día	NO
Concentración $SST_{Afluente}$	739 mg/L	487 mg/L	SI
Carga organica SST Afluente	2.011kg/día	2188 kg/día	SI
Temperatura Afluente	28 °C	41 °C	NO
Area rectangular	10.990 m²	10.990 m²	NO APLICA
Profunidad	3.3 m	2.5 m	NO
Volumen	36.267 m³	27.835 m³	NO
COV	100 - 400 gr DBO5/m3*día	676 gr DBO5/m3*día	NO
Tiempo de retencion	6.3 dias	6.2 dias	SI

Con los datos actuales de concentración de DBO_5, la eficiencia actual del sistema de las 4 lagunas es:

$$Ef = \frac{4.187 - 2.780}{4.187} \times 100 =$$

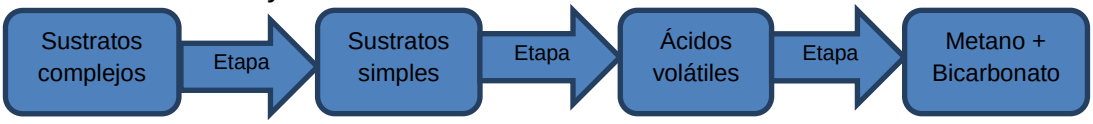
Ef = 33,6 %

Si este valor se compara con la eficiencia calculada en las condiciones actuales de operación para las lagunas 1y2 que es del 77% se evidencia que las lagunas presentan un desequilibrio bioquímico que impide que los microorganismos degraden la materia orgánica.

De los cálculos anteriores y tabla 20, se puede determinar que la mayoría de los parámetros actuales de operación no coinciden con los parámetros de diseño originando que el sistema no opere eficientemente.

El proceso de degradación de la materia orgánica que tiene lugar en las lagunas anaerobias se puede considerar en forma simplificada como el resultado de tres etapas consecutivas: hidrólisis de materia orgánica compleja, acidogénesis y metanogénesis. En la primera etapa enzimas extracelulares degradan la materia orgánica compleja transformándola en sustratos más simples. En la segunda

etapa los sustratos simples son transformados en ácidos volátiles y en la tercera etapa, estos últimos son metabolizados por las bacterias metanogénicas produciendo metano y bicarbonato.



Esta última etapa es el paso más lento del proceso y el grupo de bacterias que intervienen son las más sensibles. Este hecho hace necesario la regulación de la carga aplicada al sistema de forma que la actividad metanogénica sea suficiente para procesar los ácidos volátiles generados en la etapa anterior. Un aumento significativo de carga o una diminución de actividad metanogénica se manifestará por la acumulación de ácidos volátiles y la reducción relativa de la concentración de bicarbonato. Si la situación persiste, se puede superar la capacidad buffer del sistema y el pH comenzará a disminuir desestabilizando aún más el proceso.

La carga orgánica volumétrica aplicada a la laguna es uno de los parámetros que más afecta el funcionamiento del sistema, cuando se presenta una situación como la que actualmente está sucediendo en el STARI del Ingenio Azucarero, hay varias soluciones que apuntan a garantizar que el sistema opere con eficiencia:

- ✓ **Aumentar el volumen actual de las lagunas:** para ello se deben dragar los lodos acumulados que hay dentro de las lagunas, además según el siguiente cálculo se deben ampliar las lagunas.

Para garantizar el cumplimiento de la COV aplicada al sistema, se proponen dos alternativas:

Ampliación de las lagunas anaerobias

Volumen actual de las lagunas = 27.475 m^3
Volumen requerido = 60.000 m^3
Carga orgánica aplicada = 20.827.000 gr DBO_5*dia^{-1}

COV = 20.827.000 / 60.000

COV = 347 gr DBO_5/m^{3*}día

Con lo cual se garantiza la COV, la cual debe estar entre (100 – 400 gr DBO_5/m^{3*}día).

- ✓ **Mejorar los procesos dentro de fábrica:**

Es indispensable tomar acciones correctivas y preventivas que mejoren la calidad del efluente y garanticen las condiciones aptas para que se cumplan la secuencia de etapas por las que tiene lugar la digestión anaerobia, para ello es necesario ajustar las condiciones operativas de las lagunas para que se produzca la estabilización de la materia orgánica hasta los productos finales metano (CH4) y dióxido de carbono (CO2) y pueden alcanzar la eficiencia de remoción esperada.

Control y generación de las aguas residuales industriales en el origen:

Concentración DBO_5 Afluente = 3000 $mg*L^{-1}$
Caudal Afluente = 33 $L*s^{-1}$
Carga orgánica aplicada Afluente = 8.554 $kg*dia^{-1}$

COV = 8.554.000 / 27.835

COV = 307 gr DBO_5/m^{3*}día

Valor que está en el rango de (100 – 400 gr DBO_5/m^{3*}día) lo cual garantizaría la COV del sistema.

7. CONCLUSIONES

- El ingenio azucarero carece de planos actualizados, memorias de cálculo, manuales operativos y de mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.

- Actualmente se está perdiendo un 24% de capacidad, quedando disponibles 27.835 m^3 para el proceso de degradación de la materia orgánica en el sistema.

- La línea de conducción del efluente del separador de grasas hacia el sistema de lagunas no es la adecuada, debido a que este aporte no alcanza a realizar el pretratamiento recomendado (rejilla y sedimentación).

- El funcionamiento del separador de grasas presenta una buena eficiencia, alcanzando remociones de grasas por encima del 85%.

- El sistema de enfriamiento de las aguas residuales es insuficiente debido a que parte del efluente de la piscina ingresa a las lagunas y eleva la temperatura del afluente a 40°C identificándose como uno de los posibles principales problemas del mal funcionamiento biológico; la temperatura máxima con la que debería ingresar es de 35°C. Del mal funcionamiento de la piscina se identificó carencia en las rutinas de mantenimiento que ayuden a una buena operación del sistema, ya que se evidencio la obstrucción de equipos de aspersión y bombeo con material extraño.

- Falta mantenimiento en las unidades del pretratamiento del STARI, como es el caso de la rejilla, a la cual no le hacen un aseo rutinario, afectando el funcionamiento de la misma.

- No se ejecuta un plan de ahorro y uso eficiente del agua dentro de fábrica, presentando uso indiscriminado de este líquido, lo cual hace que al STARI le lleguen aguas residuales con un caudal elevado. El caudal de diseño es de 31,5L/s y un máximo de 60L/s, se tiene registros en la jornada de liquidación caudales mensuales promedio de 73L/s, sobrecargando al sistema.

- Los operarios encargados de los diferentes procesos dentro de fábrica no son conscientes del grado de afectación que un derrame puede tener sobre el STARI.

- Actualmente el Ingenio Azucarero no presenta una distribución adecuada en cuanto a los canales que conducen diferentes tipos de vertido dentro de la planta productiva, lo cual incide negativamente ya que dificulta caracterizaciones o cuantificaciones dentro de la fábrica.

- El mantenimiento que se le hace a los canales no es adecuado, permitiendo que se llenen de sedimento, generando taponamiento y colmatación de las conducciones dentro de la fábrica.

- Referente a la caracterización por turnos se puede concluir que, en cuanto a los parámetros analizados IN SITU, se obtuvo que el turno 1 es el que más afectaba estas medidas (pH, Caudal y Temperatura), aumentando considerablemente en este lapso de tiempo los valores de dichas variables. A diferencia del primer turno, en el turno 3 fue donde más estabilidad y disminución de estas variables se presentó.

  Diferente de esto se puede decir que, para los parámetros analizados en muestras compuestas como (DBO_5, DQO, Sacarosa, Glucosa y Fructosa) el turno 2 fue el que mayor aporte de estas concentraciones hizo al Afluente del STARI. Por su parte en el turno 4 se observa una disminución considerable de estas variables.

- Concerniente a las caracterizaciones realizadas por la empresa Fumindustrial en el periodo de Junio – Noviembre del 2010, se concluye que el sistema actualmente opera con valores que sobrepasan los valores de diseño, es el caso de parámetros tales como: concentración de DBO_5 $mg*L^{-1}$, donde se presentó un promedio de 4187,9 $mg*L^{-1}$, incumpliendo con el parámetro de diseño el cual es de 2502 $mg*L^{-1}$.

  El caudal de diseño fue 31,5 $L*s^{-1}$ y actualmente le llega un promedio de 52 $L*s^{-1}$, esto genera un aumento notable en la carga orgánica aplicada al STARI, generando una inestabilidad en la COV de las lagunas. El aumento en la COV aplicada al STARI, desencadena una serie de problemas dentro de la laguna, lo cual hace que la eficiencia de la misma disminuya considerablemente.

- Son evidentes las fugas y derrames dentro de las instalaciones de la fábrica, comprobado por la presencia de altas concentraciones de azucares en los vertimientos generando aumento de la carga orgánica medido como concentración de DBO_5 en el afluente.

- En cuanto a la concentración de SST ($mg*L^{-1}$), se concluye que en la actualidad se cumple con este parámetro, ya que el sistema fue construido para una de diseño concentración de SST = 739 $mg*L^{-1}$ y hoy en día le llegan a la laguna 1 concentraciones de SST = 487 $mg*L^{-1}$. Dándole cumplimiento a este parámetro.

  A diferencia de la concentración, la carga orgánica de SST que le llega a la laguna 1 no cumple con la de diseño, debido al elevado caudal que se genera en los procesos productivos.

- El afluente recibe altas cargas de soda cáustica que lo alcalinizan severamente, con valores de hasta 12 unidades de pH por más de 6 horas diarias, sin embargo las lagunas sufren de un problema de acidificación desde el primer metro. Este comportamiento atípico nos hace concluir que existe una ausencia de alcalinidad bicarbonática que favorece a que los hidróxidos aportados por la soda cáustica se precipiten en el fondo y las lagunas no logren realizar la segunda fase de la digestión anaerobia por la producción excesiva de ácidos; como no se garantiza el medio adecuado las bacterias metanígenas que transforman estos productos no surgen, y se produce su acumulación de los ácidos y el pH disminuye. Se estima que para valores de pH inferiores a 6,8 la actividad metanígena comienza a presentar problemas, y que por debajo de pH=6,2 se detiene completamente (Middlebrooks y col., 1982), en el sistema actual los rangos son de 4,2 a 4,6 unidades de pH. Cuando esto ocurre se liberan no sólo ácidos orgánicos que pueden tener olores desagradables, sino otros compuestos como ácido sulfhídrico (SH_2), mercaptanos o escatol, que son los responsables principales de los olores que indican funcionamientos deficientes en las lagunas anaerobias.

- El sistema no cumple con la remoción del 80% de DBO_5, SST que exige el decreto 1594 de 1984 situación que genera tasas retributivas muy altas, problemas con la comunidad, daños ambientales significativos y no estar en

la vanguardia actual de las grandes empresas de responsabilidad ambiental y social empresarial.

8. RECOMENDACIONES

PISCINA DE ENFRIAMIENTO

Operaciones de mantenimiento rutinario consistentes en:

- Operación diaria del canal de conducción del agua a la piscina con una nasa, ya que el canal es abierto y se incorporan materiales flotantes.

- Colocar una rejilla fina a la entrada de la piscina, con apertura de 15 mm entre barrotes para retener los materiales extraños, como bagacillo, pastos, hojas, basura, etc. Que puedan afectar el funcionamiento y operación de la piscina de enfriamiento.

- Limpieza de los aspersores con la frecuencia recomendada por el fabricante ó según la necesidad, para que no haya obstrucción en el sistema de aireación del agua.

- Ajuste o cambio de la compuerta de salida del agua de la piscina hacia fábrica, debido a que no sella bien y ocasiona pérdidas del líquido.

- Evaluación a nivel estructural para determinar si la piscina de enfriamiento requiere reparaciones o si presenta averías que pongan en riesgo su funcionamiento.

SEPARADOR DE GRASAS Y ACEITES

- El efluente de la estructura del separador de grasas llega directamente al final del desarenador (ver fotografía 5). Se recomienda conducirlo hacia la caja recolectora donde se reuniría con los otros dos aportantes.
  Teniendo en cuenta su alto contenido de sólidos este efluente debería tener un pre tratamiento. (Rejilla, desarenador y foso de bombeo)

FABRICA

- Realizar un estudio detallado dentro de las instalaciones de fábrica con el fin de determinar las falencias en cada subproceso productivo, para minimizar los derrames y fugas de materias primas y así poder ejecutar un control oportuno desde el origen de las aguas residuales industriales.

- Invertir en la renovación de equipos y maquinaria que se encuentren en mal estado, además de la compra de nuevos sistemas que permitan una producción más limpia.

- Ejecutar programas de uso eficiente y racional de las aguas de lavado para disminuir los caudales que llegan al sistema de tratamiento.

- Implementar un programa para el manejo y disposición de aceites de maquinaria para evitar que estos contaminen los vertimientos.

- Incluir los canales de conducción en un programa de mantenimiento periódico para así evitar colmatación y taponamiento de los canales. De igual manera tratar de adecuar los canales de una manera que se pueda cuantificar y caracterizar los efluentes de cada subproceso y tener un diagnóstico más detallado del tipo de contaminante que cada descarga tiene.

- Actualizar planos de fábrica donde ilustren cantidades y características de cada canal que conduce agua residual.

- Todo lo anterior con el fin de disminuir la concentración y caudal de aguas residuales industriales, que le llegan a la laguna 1 del STARI.

PRETRATAMIENTO

Rejilla

- Asignar personal para su mantenimiento, lo cual garantice el buen funcionamiento de la misma, evitando así que se colmate o llene de residuos

- Incorporar estos residuos al programa de residuos sólidos biodegradables.

Desarenador

- Construir las memorias de cálculo del Desarenador.

TRATAMIENTO LAGUNAS

Para garantizar el buen funcionamiento del sistema de lagunas se debe, ampliar el volumen requerido, retirar los lodos acumulados, disminuir la concentración de DBO_5 en $mg*L^{-1}$, además de la regulación del caudal, con el fin de controlar la COV que actualmente le llega al STARI.

También se recomienda optar por un programa de mantenimiento rutinario de las lagunas, en el cual se incluya:

- Mantenimiento de taludes
- Remoción de natas
- Estabilización de pH a la entrada de la laguna 1
- Control de Caudal a la entrada de la laguna 1
- Entre otros.

En donde se busque la reducción de uso del agua en etapas de aseo, mantenimiento y procesos de elaboración con el fin de disminuir el caudal que le llega al Afluente del STARI, así como también procurar la implementación de programas que apunten hacia la producción más limpia en el proceso productivo de Azúcar de caña, en donde se trabaje en el control y generación de las aguas residuales, alcanzando una disminución en problemas de aseo, fugas y derrames dentro de las instalaciones de la fábrica. Ya que estos son a menudo los que generan el aumento en la concentración y carga de DBO_5 que actualmente le llega al STARI.

- Se recomienda garantizar que la temperatura del afluente se encuentre en el rango de los 30 a los 35°C para favorecer el metabolismo de las bacterias metanogénicas.

- Se recomienda eliminar o reducir las descargas de soda caustica al STARI.

- se debe implementar un sistema de monitoreo de los parámetros más relevantes diarios y de ser posible horarios.

9. BIBLIOGRAFIA

- ✓ AGUA VIVA LTDA, Documento Técnico Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.
- ✓ ASOCAÑA, Conceptos Básicos de Aguas Residuales, Julio 2007.
- ✓ ASOCAÑA, Informe de gestión de los Ingenio Azucareros. Pg 5. 2009.
- ✓ CATIC. 2002 Guía para el Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades. Informe Técnico No. 139. Pg 39-42.
- ✓ CORPORACIÓN REGIONAL DEL CAUCA, Diagnostico del estado de la subcuenca del Rio Palo, 2007.
- ✓ FONDO DE NACIONES UNIDASPARA LA INFANCIA, Informe Mortalidad Infantil, año 2009.
- ✓ Gloyna, E. 1973. ESTANQUES DE ESTABILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Ginebra.192 p.
- ✓ González H, Características del Ingenio Azucarero, 2008.
- ✓ Herrera L. LAGUANAS PARA REMOCION DE ORGANICOS, 2008.Pg 2.
- ✓ http://html.rincondelvago.com/calidad-del-agua.html
- ✓ http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=84911698045.
- ✓ INDUSTRIA AZUCARERA, Folleto Características Industriales, 2008. Pg 21.
- ✓ MANUAL DE DISEÑO DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENO, Potabilización y tratamiento. Pg 16-17.
- ✓ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Guía de ahorro y uso eficiente del agua, 2008.
- ✓ PÁEZ Gustavo, Indicadores Ambientales Del Agua Subterránea Valle del Cauca, CVC.

- ✓ QUESADA Gustavo, Cartilla Proceso de elaboración de azúcar de caña en el Ingenio Azucarero S.A. Caloto Cauca. Noviembre del 2008. Pg 4.

- ✓ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS –2000. TÍTULO E, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

- ✓ REYNOLDS Kelly A. MSPH, PH, Tratamiento de aguas residuales en América Latina, Septiembre/Octubre.

- ✓ TEORIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CAP IV. Pg 87.

- ✓ Ulloa, J.1993 DISTINTOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU ÁMBITO DE APLICACIÓN. Parámetros físicos, químicos y biológicos en tratamiento de aguas, basuras y escombros en el ámbito rural. Editorial agrícola española S.A. Madrid, España. 406 p.