

EVALUACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE EN LOS PROCESOS DE
PRODUCCIÓN DE AZÚCAR MOLINO FULTON II, MOLINO FARREL,
REFINERÍA Y ELABORACIÓN EN EL INGENIO DEL CAUCA
INCAUCA S.A., COLOMBIA

ALIX MAGALY MOLINA JIMENEZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS
RECURSOS NATURALES
SANTIAGO DE CALI
2008

EVALUACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE EN LOS PROCESOS DE
PRODUCCIÓN DE AZÚCAR MOLINO FULTON II, MOLINO FARREL,
REFINERÍA Y ELABORACIÓN EN EL INGENIO DEL CAUCA
INCAUCA S.A., COLOMBIA

ALIX MAGALY MOLINA JIMÉNEZ

Trabajo de grado para optar al título de Administradora del Medio Ambiente y
de los Recursos Naturales

Asesor (as)
M.Sc CAROLINA GÓMEZ SCHOUBEN
MIRIAM ARANGO OSPINA
Ingeniera Sanitaria

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS
RECUROS NATURALES
SANTIAGO CALI
2008

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Administrador (a) del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales.

MARIO ANDRÉS GANDINI

Jurado

Santiago de Cali, 03 de Diciembre de 2007

AGRADECIMIENTOS

A Jehová Dios y a su hijo Jesucristo por permitirme vivir esta experiencia.

A todas las personas que contribuyeron en el proceso y culminación de esta etapa de mi vida, que fueron mi gran apoyo cada día, doy gracias por las enseñanzas y lecciones recibidas.

A los compañeros del Ingenio del Cauca S.A. – INCAUCA, por brindarme la oportunidad de conocerlos y de aprender de su experiencia y saber.

A la universidad Autónoma de Occidente por la oportunidad que me brindo por medio del programa de administración del medio ambiente y de los recursos naturales.

A la profesora Carolina Gómez por su paciencia y dedicación. Especialmente a mis padres, hermanos y familia.

Gracias por confiar en mí y tenerme paciencia.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	10
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	14
1. ANTECEDENTES	16
2. JUSTIFICACIÓN	24
3. OBJETIVOS	30
3.1. GENERAL	30
3.2. ESPECÍFICOS	30
4. MARCO TEÓRICO	31
4.1. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR	31
4.2. AGUAS RESIDUALES	37
4.2.1. Características de las aguas residuales	37
4.2.2. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de INCAUCA S.A	42
5. MARCO LEGAL	44
5.1. MARCO JURÍDICO ESPECÍFICO PARA EL SUBSECTOR DE LA CAÑA DE AZÚCAR	44
5.1.2. Gestión del agua y los recursos naturales	44
5.1.3. Tasas ambientales	45
6. METODOLOGÍA	46
6.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE TRABAJO	46
6.2. METODOLOGÍA	48

6.2.1. Caracterización de efluentes en los procesos de producción de azúcar: molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinera.	48
6.3. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS QUE APORTAN CARGA CONTAMINANTE	53
6.4. FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA CARGA CONTAMINANTE	54
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS	55
7.1. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS CANALES	55
7.1.1. Medición de láminas de agua	55
7.1.2. Diseño de formatos para alícuotas	62
7.1.3. Parámetros físico-químicos	67
7.2. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS CONTAMINANTES	73
7.3. FORMULACION DE ESTRATEGIAS	83
8. CONCLUSIONES	97
9. RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	103

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparación del agua residual tratada y el agua residual	18
Tabla 2. Principales contaminantes de aguas residuales y parámetros de medición.	38
Tabla 3. Recorridos realizados en los diferentes procesos de producción de azúcar entre enero y febrero de 2007	54
Tabla 4. Caracterización de canales de agua en cada proceso.	55
Tabla 5. Medición de láminas de agua en el molino fulton II	57
Tabla 6. Medición de láminas de agua en el molino farrel	59
Tabla 7. Medición de láminas de agua en refinería	61
Tabla 8. Formato de alícuotas para el molino fulton II	63
Tabla 9. Formato de alícuotas para molino farrel	64
Tabla 10. Formato de alícuotas para el proceso de elaboración	65
Tabla 11. Formato de alícuotas para el proceso de refinería	66
Tabla 12. Medición de parámetros físico-químicos	72
Tabla 13. Equipos que aportan carga contaminante en el molino Fulton II	75
Tabla 14. Equipos que aportan carga contaminante en el molino farrel	76
Tabla 15. Equipos que aportan carga contaminante en elaboración	77
Tabla 16. Equipos que aportan carga contaminante en refinería	81
Tabla 17. Matriz de situaciones ambientales para el molino fulton II	84
Tabla 18. Matriz de situaciones ambientales para el molino farrel	87
Tabla 19. Matriz de situaciones ambientales para elaboración	91
Tabla 20. Matriz de situaciones ambientales para refinería	96

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Molino fulton II	35
Foto 2. Evaporadores	35
Foto 3. Clarificador, talofiltrado	35
Foto 4. Tacho	36
Foto 5. Centrífuga	36
Foto 6. Secadores	36
Foto 7. Empacado	37
Foto 8. Sistema de tratamiento de aguas residuales	43
Foto 9. Región azucarera de Colombia	47
Foto 10. Panorama del Ingenio del Cauca S.A.	47
Foto 11. Sitio de muestreo molino fulton II	49
Foto 12. Sitio de muestreo molino farrel	49
Foto 13. Sitio de muestreo elaboración	50
Foto 14. Sitio de muestreo refinería	50

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Formato de alícuotas	103

GLOSARIO

ALÍCUOTA: proporciones de muestras individuales recolectadas en un solo sitio de muestreo proporcionalmente al caudal y mezcladas al final del muestreo para una muestra compuesta.

BRIX: es la unidad de concentración equivalente al porcentaje en peso de sacarosa que contiene una solución de azúcar puro, aunque se acostumbra a considerar el grado brix como el porcentaje de sólidos disueltos en un líquido. Se puede medir por medio de un areómetro o de un refractómetro.

CHEVRONES: son las ranuras construidas primordialmente sobre las mazas cañeras, con un ángulo que varía entre 16° y 25° . Esto facilita el flujo de caña dentro del molino.

EXTRACCIÓN: es el índice que nos determina la eficiencia de un tándem de molinos. Básicamente es la relación entre la sacarosa en jugo diluido y la sacarosa contenida en la caña, es decir, que indica el porcentaje de sacarosa removida de la caña durante el proceso de molienda.

JUGO DILUIDO: es la combinación de los jugos primarios obtenidos en la molienda (primero y segundo molino), que posteriormente son enviados al proceso de elaboración.

MACERACIÓN: es el proceso de saturación del bagazo que alimenta un molino con agua o jugo, antes de pasar por él, para aumentar el porcentaje de extracción de sacarosa.

MAZAS: son piezas construidas en hierro fundido y encabadas en un eje de acero, las cuales se encargan de efectuar la molienda. El jugo es extraído y drenado mientras la caña pasa entre ellas.

MUESTRA COMPUESTA: combinación de muestras puntuales tomadas en el mismo sitio durante un tiempo determinado.

PICADORA: es la máquina encargada de cortar la caña, consta de un eje con discos separadores entre los cuales se encuentran las cuchillas, este equipo es movido a través de una turbina de vapor.

REPRESENTATIVIDAD: significa que los parámetros en la muestra deben tener el mismo valor en el cuerpo de agua en el lugar y tiempo de muestreo. Para ello, el cuerpo de agua debe estar mezclado totalmente en el lugar de muestreo.

SACAROSA: disacárido cuya fórmula química del compuesto puro es $C_{12}H_{22}O_{11}$, también llamado azúcar de caña.

TURBINA: es la máquina cuya función principal es transformar la energía cinética térmica en energía mecánica.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó entre noviembre de 2006 y mayo de 2007, bajo la modalidad de pasantía en el Área de Gestión ambiental en el Ingenio del Cauca, con el fin de realizar un aporte para el desarrollo de propuestas para reducir la carga contaminantes proveniente de los procesos de elaboración de azúcar: molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinería al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales del Ingenio.

El trabajo se realizó en tres etapas: la caracterización de efluentes en los procesos de producción de azúcar, la identificación de equipos que aportan carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, a partir de recorridos durante operación normal, mantenimiento y emergencias. Y, por último, la formulación de estrategias para reducir la carga contaminante utilizando matrices de situaciones ambientales

Para todos los procesos de producción de azúcar, los valores promedios de DQO, se encontraron por fuera del rango histórico para INCAUCA S.A. (molino fulton II y el molino farrel 500-1.000 kg/día y, proceso de elaboración y refinería 1.000 y 2.000 kg/día), presentando el proceso de refinería los valores de DQO más altos con un valor promedio de 76.314 mg/l.

El proceso de elaboración de azúcar presenta la mayor cantidad de equipos aportando carga contaminante durante operación normal, mantenimiento y emergencias.

En el proceso molino fulton II se implementaron el mayor número de estrategias, entre las cuales se encuentran: operación del sistema de recuperación de aguas azucaradas hacia el tanque de maceración N° 6, conducción de los desbordes que se presentan en el tanque de jugo pesado hacia el tanque de maceración N°6, operación del sistema de recuperación de aguas azucaradas hacia el tanque de maceración N°6 y conducción del agua con grasa que sale del carcamo del molino fulton II hacia la trampa de grasas. Por otro lado en el proceso de refinería no se implementaron las estrategias propuestas debido a la falta de asignación de responsabilidades con el jefe del proceso e inversión en cambios tecnológicos.

ABSTRACT

The present work was done between November 2006 and May 2007, under the modality of pasantia in the Area of Environmental Management in the “Ingenio del Cauca”, in order to carry out a contribute for the development of proposals to reduce the load contaminant originated from the sugar elaboration processes: mill fulton II, mill Farrel, elaboration and refinery system of residual water processing treatment of the “Ingenio”.

The work had in three phases. The characterization of efluentes in the sugar production processes, the identification of the devices that originate contaminant charges of the system of residual water processing from traveled through during normal operation, maintenance and emergencies. And, finally, the formulation of strategies to reduce the environmental situations headquarters contaminant load.

For all the sugar production processes, the values averages of DQO they were on the outside of the historical range for INCAUCA S.A. (mill fulton II and mill farrel 500-1.000 kg/ day, processes of elaboration and refinery 1.000-2.000 kg/ day), presenting the process of refinery the values of DQO higher with a average value of 76.314 mg/l.

The sugar elaboration process presents the greatest quantity of devices contributing contaminant charges during normal operation, maintenance and emergencies.

In the process mill fulton II they were implemented the major number of strategies, among which they are found: operation of the sweet water recovery system toward the tank of soaking N° 6, conduction of them overflow that they are presented in the tank of heavy juice toward the tank of soaking N° 6 and Grease that the carcamo of the mill leaves fulton II toward the trap of greases. On the other hand, in the process of refinery not the proposed strategies due to the responsibilities allocation lack with the leader of the process they were implemented and investment on the other hand technological.

INTRODUCCIÓN

Según Gordillo:

El incremento de la población y el inadecuado uso de los recursos naturales suelo, aire y agua, ha generado graves problemas ambientales a nivel mundial. Uno de los problemas más relevantes en la actualidad es el deterioro e inadecuado manejo del recurso hídrico, principal fuente de vida tanto para los seres humanos como para la flora y fauna. Entre las principales causas de deterioro del recurso hídrico se encuentran el vertimiento de aguas domésticas, aguas agrícolas, aguas pluviales y las aguas industriales. Las aguas industriales contienen los desechos de las grandes fábricas e industrias y, en la mayoría de los casos se dirigen hacia el mar y los ríos, ocasionando graves problemas ambientales de tipo ecológico, social y económico¹.

Latorre menciona:

La contaminación del agua no sólo se presenta a través de los vertimientos líquidos o sólidos de las industrias a los cuerpos de agua, sino también por el inadecuado uso en los procesos de fabricación y cambios en su temperatura. Algunos de los contaminantes que pueden afectar la calidad del agua son: los ácidos y bases, material colorante, temperatura de los líquidos, sustancias tóxicas, material flotante, materia orgánica, sólidos suspendidos, bacterias y virus, entre otros².

Latorre afirma:

El mayor problema asociado a la contaminación hídrica en Colombia es la descarga de compuestos tóxicos y patógenos a los cuerpos de agua, particularmente ríos y acuíferos que sirven como abastecimiento de agua potable, recreación e irrigación. Entre las principales fuentes de descargas de aguas industriales en Colombia, se encuentran la industria petroquímica, la industria papelera, la industria de cemento, las curtiembres, la industria licorera y la industria azucarera³.

¹ GORDILLO, D. Ecología y Contaminación Ambiental. México, D.F.: Editorial Interamericana, MacGraw Hill, 1995. p. 93-94.

² LATORRE, E. Empresa y Medio Ambiente en Colombia. Santa Fe de Bogotá: Prisma Asociados y Ltda., 1996. p. 282.

³ *Ibid.*, p. 283.

Según Latorre:

La industria azucarera, al igual que la mayoría de las industrias, realizan vertimientos a cuerpos de agua generando graves problemas ambientales. Entre los principales impactos generados por la industria azucarera en el agua se encuentran la inadecuada utilización de las fuentes de agua, degradación de intercambio entre las capas freáticas, incorporación de sustancias tóxicas y disminución de la calidad del agua⁴, arrastre de contaminantes por escorrentía o percolación, vertimientos de material dulce y grasas de lubricación, entre otros.

El Ingenio del Cauca - INCAUCA S.A, ubicado en el corregimiento del Ortigal en la zona rural del municipio de Miranda en el departamento del Cauca, es una de las industrias azucareras más grandes del país, sin embargo no es ajena a la problemática ambiental anteriormente planteada. Con el fin de mitigar los impactos generados sobre el recurso hídrico, el Ingenio INCAUCA S.A., ha desarrollado diferentes obras y actividades para disminuir el aporte de carga contaminante a los cauces públicos, especialmente al río Cauca. Algunas de las estrategias implementadas son: tratamiento de aguas residuales, piscinas de enfriamiento, tanque de recuperación de aguas dulces, lagunas de sedimentación y estabilización para la remoción de sólidos del agua utilizada del lavado de caña, conservación de cuencas, economía del agua y, la utilización de controladores biológicos para el manejo de plagas.

De acuerdo a lo anterior y con el fin de generar un aporte para la mitigación de la problemática relacionada con el recurso hídrico, con este trabajo se pretende evaluar la carga contaminante generada en los diferentes procesos de producción de azúcar: molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinería, para plantear estrategias con el fin de reducir la carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales en el Ingenio del Cauca – INCAUCA S.A.

⁴ *Ibíd.*, p. 282.

1. ANTECEDENTES

Flores, Flores y Gómez dicen que: " En el proceso de producción de azúcar se genera residuos líquidos cuyas características potencialmente contaminantes hacen necesario su tratamiento con el fin de lograr recirculación parcial de algunos de ellos y, de disminuir el impacto negativo en los cuerpos receptores o en zonas de disposición final " ⁵. Debido a esta situación, algunas industrias azucareras han visto la necesidad de implementar métodos y tecnologías para reducir la contaminación de aguas.

Jensen y Schumann afirma que:

En países como Sudáfrica, Filipinas, Cuba, Guatemala, México, Brasil, Perú y Colombia, se han implementado diversas tecnologías enfocadas hacia la reducción de la contaminación hídrica generada por los ingenios azucareros, tratando de establecer estrategias que minimicen los impactos negativos generados especialmente por las descargas de aguas.

En el ingenio Maidstone ubicado en Sudáfrica, en el año 1998, con el fin de reducir la carga contaminante a los cuerpos de agua, se implantó una tecnología de cero aguas residuales con el fin de lograr que toda el agua excedente saliera de la fábrica como un condensado enfriado, a partir de la contención y reciclaje de los derrames, la minimización del agua externa que se suministraba la fábrica y, el reproceso de las aguas residuales. Posteriormente, se pretendía eliminar la demanda de oxígeno químico (COD) del condensado enfriado, con el fin de cumplir con los estándares generales de descarga. Este sistema evidencia que es posible lograr este propósito en un ingenio azucarero en condiciones normales de operación, incluyendo los cierres por mantenimiento ⁶.

Según Urbanoso, Somosot y Ramírez :

En la Central Azucarera Don Pedro (CADP) ubicada en Filipinas, en el año 1990, se implementó un sistema de filtro de cenizas volátiles y transporte de agua junto con la sangría de las calderas para el control de la polución de aguas residuales de calderas.

⁵ FLORES Romero; FLORES Rosas y GÓMEZ V. Diseño preliminar del Sistema de Tratamiento de Efluentes Contaminantes del Ingenio José María Martínez A.. Madrid: McGraw-Hill, 1991. p 123.

⁶ JENSEN, C.R.C y SCHUMANN, G.T. Implementing a zero effluent philosophy at cane sugar factory. Brisbane, Australia, 2001. En: Ingeniería sanitaria. Vol. 5, No. 10 (1982); p. 46.

El conjunto consiste en dos albercas de concreto reforzado, de 61 x 66 pies por unidad, las cuales están hechas para operar alternativamente en recibir el agua residual y permitir asentamiento y acumulación de cenizas. Esto es evacuado después a un área aceptable usando una rueda cargadora y un camión de volteo. El agua clara, sin la ceniza, que flota, gravita a un sumidero de donde es bombeada a las calderas para reutilización como filtro de cenizas. El sistema minimiza el continuo arrastre de aproximadamente 200 gpm de agua de la fábrica para el filtro de cenizas volátiles. Al mismo tiempo elimina la descarga de cenizas de las calderas al río y previene la polución del medio ambiente⁷.

Según Junco Horta, Espi Lacomba, López Rodríguez y A. Alfonso:

En las refinerías José A. Echeverría y España Republicana ubicadas en Cuba, en el año 1990, se utilizó el método de filtración de aguas residuales, con el fin de reducir la contaminación de aguas asociada por la utilización de carbón activado en las refinerías.

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas de sedimentación mostraron que el proceso es muy lento por que requiere largo tiempo para el asentamiento de las partículas y no se logra la separación total de partículas en el agua. Además, para lograr la sedimentación sin hacer uso de agentes coagulantes, se requiere extensas áreas de sedimentación y, se produciría la fermentación de los azúcares, lo que provocaría su descomposición. Por otro lado, a partir del método de filtración se obtuvo un agua de buena calidad y en menor tiempo y; permite analizar la posibilidad de reutilización de sus componentes. En la tabla 1 se presentan los resultados del agua residual tratada y el agua residual.

⁷ URBANOSO, F.; SOMOSOT, P y RAMIREZ D. Ash disposal and boiler wastewater recovery system. Proceedings of the Philippine Sugar Technologists Association. En: Institute agroindustry. Vol. 3, No. 1(Ene. – Feb. 1990); p. 46-47.

Tabla 1. Comparación del agua residual tratada y el agua residual

AGUA TRATADA					AGUA RESIDUAL				
Alcalinidad parcial	Alcalinidad total	dureza	Cloruro	pH	Alcalinidad parcial	Alcalinidad total	dureza	Cloruro	pH
16	184	0	368	8,5	4	124	50	392	7,5
8	76	0	384	8,5	8	128	56	328	7,4
20	84	0	376	9,2	20	172	68	383	7,8
12	84	0	380	8,3	12	144	77	375	7,5
20	92	0	376	9,3	8	108	32	386	8,1
20	88	0	376	9,3	8	96	34	393	8,3
8	100	0	376	9,5	8	128	34	380	7,9
8	112	0	376	8,4	12	144	39	398	7,8
12	92	0	372	8,1	12	124	56	385	7,1
16	104	0	372	7,9	12	120	39	370	7,8
12	68	0	360	8,8	16	110	34	364	8,3
12	92	0	360	8,5	20	180	30	376	7,5
12	92	0	368	9,0	8	100	58	379	7,8
12	92	0	364	8,4	12	150	34	380	8,0

Fuente: JUNCO HORTA, J.Z.; ESPI LACOMBA, N.; LÓPEZ RODRÍGUEZ, A.; Alfonso, A. Filtración: una alternativa de eliminación de la contaminación por aguas residuales de refinerías en la industria azucarera, ATAC. En: la Asociación de técnicos azucareros de Cuba. Vol. 49, No. 1 (Ene. – Feb. 1990); p. 44-48.

Entre los estudios realizados, estuvo el análisis de agua separada en la filtración y su comparación con las aguas empleadas en los distintos procesos para evaluar la posibilidad de reutilización, se obtuvo que es posible emplearla en la disolución de azúcar refinado, rectificación de densidad y descarga de la torta de los filtros a presión⁸.

Ramos, Valdés, Obaya y León, dicen que:

El Ingenio central de Guatemala, situado en el municipio de Mayarí, Provincia de Holguín, Guatemala, tiene una capacidad de molienda de 7594 tn/día, un flujo de residuos líquidos de 138.000 m³/día y un índice caudal de residuos de 17.3 m³/ ton de caña molida. Esta central vierte altos volúmenes de efluentes y cargas contaminantes de 300t DQO/día a la Bahía de Nipe, afectando la continuidad de la actividad pesquera, que es una de las riquezas naturales de la región. Entre las corrientes residuales que mayor aporte contaminante generan a la bahía se encuentran las aguas residuales provenientes de las bombas de achique (T^o 33, pH 5,4, DQO 24.142, N 64, P 81, ST 7.825), efluente de lavado y limpieza de los filtros de cachaza (T^o de 41, pH de 7.5, DQO 51.481, N 45, P 147, ST 36.808) y efluente de la liquidación de los calificadores (T^o de 64, pH de 6.5, DQO 312.656, N 2.897, P 9.102, ST 215.215). Con el fin de disminuir considerablemente la contaminación aportada a la Bahía Nipe, se propone la construcción de un sistema de tratamiento de efluentes en la Central y,

⁸JUNCO HORTA, J.Z.; ESPI LACOMBA, N.; LÓPEZ RODRÍGUEZ, A y Alfonso, A. Filtración: una alternativa de eliminación de la contaminación por aguas residuales de refinerías en la industria azucarera, ATAC. En: Instituto Superior Agroindustrial Camilo Cienfuegos. Vol. 49, No. 1 (Ene. – Feb. 1990); p. 44-48.

se recomienda resolver los problemas de segregación de las corrientes y de las medidas internas, con el fin de reducir en un 85% el volumen de las aguas contaminantes⁹.

Salomón afirma que:

En los ingenio San Miguelito y San Cristóbal, ubicados en Buenavista, México, se aplicó la biotecnología Ultrateck de incremento microbiano, a nivel de pruebas piloto. Esta biotecnología es una alternativa económica y eficiente para el saneamiento biológico y control de olores de las aguas residuales generadas por la industria azucarera, aplicable a lagunas de oxidación. Consiste en la inoculación de microorganismos aerobios no patógenos, capaces de establecer altos índices de biodegradabilidad, con lo que se logran reducciones significativas en los niveles de contaminantes (parámetros físico-químicos y biológicos), se controla la emisión de olores fétidos del cuerpo de agua y se logra una calidad del efluente que permite usar el agua residual ya tratada para riego. Con la aplicación de esta tecnología en el Ingenio San Miguelito se lograron remociones del 60 y 89% de las demandas bioquímicas de oxígeno (DBO), del 86% en grasas y aceites, y del 90% para los sólidos suspendidos y sedimentables.

En el ingenio San Cristóbal, durante la zafra 1995-1996, se establecieron índices de biodegradabilidad que redujeron la demanda química de oxígeno en un 47.4% y los sólidos sedimentables en un 93.2%. En tratamientos comerciales se ha realizado el saneamiento biológico, clarificación y control de olores de las aguas residuales del Ingenio Central Progreso durante las zafras 1993-1994 y 1994-1995, con remociones de hasta el 72% para sólidos suspendidos y sedimentables, y del 30% para grasas y aceites, evitándose además el dragado de la represa de descarga del Ingenio¹⁰.

Neal, Mellowes y Smith dicen que: " La fábrica Ste Madeleine en Trinidad y Tobago, en 1996 diseñó un sistema biológico para reducir el nivel de contaminación a los cuerpos de agua. El sistema biológico fue diseñado para tratar 100 m³/hr de aguas residuales con una concentración promedio de DBO de 2500 ppm. Esta planta presentó un nivel de supresión de la DBO del 95 al 98 ppm "¹¹.

⁹ RAMOS, J.; VALDÉS JIMÉNEZ, E.; OBAYA ABREU, M.C y LEÓN PÉREZ, O.L. Caracterización físico-química de las aguas residuales del Central Guatemala. En: ICIDCA sobre los Derivados de la caña de azúcar. Vol. 21, No. 2 (May.-Ago. 1987); p. 8-12.

¹⁰ SALOMÓN ARANO, A.M. Tratamiento biológico de aguas residuales. Biotecnología Ultrateck de incremento microbiano y control de olores (productos ULTRAZIME AF-8 y ENVIRO-PLUS). En: Convención Nacional de Técnicos Azucareros de México. Vol. 46, No 1 (7-10. Ago.,1996).; p. 6-8.

¹¹ NEAL, L.L.; MELLOWES, W.A y SMITH, W. Tratamiento biológico de aguas residuales en fábricas de azúcar. En: la caña de azúcar en el próximo siglo. Vol. 5, No. 5 (11-13. Sep., 1996); p. 6-7.

Mazza, Demate y Filho dicen que:

En la región Centro-Sur de Brasil, se utilizó la vinaza, como fertilizante para la caña de azúcar, lo cual constituye una práctica rutinaria. Durante la zafra del 1983-1984, se aplicaron 54 billones de litros de estos residuales, los cuales fertilizaron 355.860 hectáreas, el 14% del área cultivada con caña de azúcar. Los cañaverales recibieron el equivalente a 20848 t de Nitrógeno, 11.766 t de fósforo, 130.778 t de potasio, 78.150 t de calcio y magnesio, 1.532.831 t de materia orgánica, 114.788 t de azufre, 3.894 t de hierro, 842 t de cobre, 100 t de zinc y 330 t de maganeso¹².

Según Cardona y Barbetti:

Específicamente para Colombia, ingenios como Manuelita, Río Paila, la Cabaña, Central Castilla e INCAUCA S.A., han implementado mecanismos para reducir la contaminación de aguas. Por ejemplo, el Ingenio Manuelita, ubicado en vía Palmira-Buga, en el departamento del Valle del Cauca, inició en 1995 un programa de descontaminación basado en la eliminación de pérdidas de sacarosa y recuperación de aguas en fábrica. El programa puso en marcha un laboratorio de aguas que incluyó dentro de sus tareas la ejecución de los análisis para el control de la contaminación en efluentes por materia orgánica, sólidos, aceites, grasas, y productos químicos.

Con la implementación del programa, entre 1995 y 1998, se redujeron las pérdidas de sacarosa por los efluentes de fábrica en el caudal y en la carga orgánica en un 81%. Las pérdidas de sacarosa por arrastre en evaporadores y tachos, disminuyeron de 257 ton a 54 ton entre 1997 y 1998; la reducción del efluente final pasó de 6.665 kg/día de DBO₅ a 252 kg/día entre 1995 y 1998 y; con la optimización del uso del agua, se lograron reducciones de 70 l/s aproximadamente a 5l/s en el caudal de los efluentes a la salida del sistema de tratamiento¹³.

¹² MAZZA, J. A.; J.L.I. DEMATE AND O. FILHO. The effects of Repeated Applications of Vinasse on The Properties of some Solis. En: la protección del medio ambiente. Vol. 5, No. 1 (Sep. 1998); p.124-127.

¹³ CARDONA, J.H. y BARBETTI, O.L. Programa de descontaminación en el Ingenio Manuelita S.A. En: Asociación de Técnicos Azucareros. Vol. 3, No. 1 (Sep. 1998); p.124-127.

Peña y Fernández dicen que:

El ingenio Central Castilla S.A, ubicado en Florida (Valle), ha implementado una serie de actividades y proyectos de infraestructura para reducir la contaminación de aguas. El ingenio cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales conformado por una estación de bombeo que eleva el efluente final (mezclas de efluentes) hasta un canal que alimenta tres lagunas primarias de sedimentación, dos de las cuales funcionan en paralelo y otra se saca de servicio para mantenimiento (deslode). El efluente de las lagunas de sedimentación es conducido luego por una canal hasta la entrada de la laguna de oxidación desde donde finalmente parte del agua se recircula para lavado de caña y el excedente se conduce hasta la laguna de maduración cuyo destino final es su vertimiento en el zanjón de Salsipuedes y para riego.

En los sedimentadores se ha logrado una remoción superior al 80% de los Sólidos Suspendidos Totales para al final del efluente obtener un promedio de 366 kg/día cumpliendo con la norma establecida de 1.008 kg/día. Las lagunas facultativas presentan una remoción de 1071 kg/día cumpliendo con la norma de 2.080 kg/día (Decreto 1594/84, Acuerdo CVC 014 de 1976)¹⁴.

Paz afirma que:

El ingenio la Cabaña S.A., ubicado al norte del departamento del Cauca en el municipio de Caloto (C), junto con la corporación regional del Cauca (CRC) ha desarrollado una serie de planes de Manejo Ambiental, en los cuales se hicieron inversiones de prevención y control de contaminación de aguas. El ingenio ha construido un sistema anaerobio para el tratamiento de aguas residuales que se genera en el área de elaboración de azúcar, esta agua dulce es conducida por un colector y es bombeada hasta la laguna donde se hace remoción de carga orgánica antes de verterla al río Palo. También ha construido sistema de separación de grasas y aceites de las aguas residuales que se utilizan en los molinos, el agua residual sin grasas es enviada hasta la laguna anaerobia y los aceites retirados son enviados a un tanque donde se mezcla con cachaza¹⁵.

¹⁴ PEÑA Maricel, FERNÁNDEZ Constanza. Revisión Ambiental Inicial como etapa previa a la estructuración de un sistema de Gestión ambiental en el Ingenio centro Castilla S.A. Florida. 2005. p. 24. Trabajo de grado (Administradora Ambiental). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ciencias Básicas.

¹⁵ PAZ González, María del Pilar. Auditoria interna al proceso de adquisición y administración de materiales y equipos del Departamento de suministros de la división de fabrica del Ingenio Cabaña S.A. Caloto. 2001. p. 46. Trabajo de grado (Administradora Ambiental). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ciencias Básicas.

Según Miriam Arango:

El Ingenio del Cauca S.A, ubicado en el corregimiento del Ortigal en la zona rural del municipio de Miranda (Cauca), actualmente esta presentando problemas de contaminación de agua por: generación de lubricantes usados en el sistema de lubricación y turbinas de los molinos, generación de vertimientos líquidos por contaminación de condensados con jugo, generación de vertimientos líquidos por limpieza, aguas de exceso de condensado (aguas calientes), aguas de lavado de los clarificadores Dorr y aguas de lavado de caña, entre otros¹⁶.

Según el Plan de Manejo Ambiental:

Con el fin de disminuir o mitigar los impactos generados por la contaminación hídrica, INCAUCA S.A. ha realizado diferentes obras entre las cuales se encuentran:

- ◆ Trampa de grasas: permite la llegada de agua utilizada en el lavado de los molinos. La grasa queda en suspensión sobre la superficie del agua y el bagacillo se deposita en el fondo, con un raspador se retira la grasa y se separa del bagacillo.
- ◆ Estanques de enfriamiento, donde se enfría el agua con aire atmosférico y por convección natural, el agua fresca de inyección es utilizada en los condensadores barométricos de tachos y evaporadores permitiendo circular 84.000 gpm de agua.
- ◆ Torres de enfriamiento de 3.000 y 10.000 gpm, para enfriar el agua utilizada en los sistemas de enfriamiento de los turbogeneradores y de las turbinas de los molinos y planta eléctrica.
- ◆ Sistemas de tratamientos de aguas para lavado de caña, donde se adiciona dicha agua para ser reutilizada. Consta de trampa de grasa, desarenadores, rejilla auto limpiante, estación de bombeo, deshidratadores, tres lagunas de sedimentación (1.7 Ha cada una) y una laguna de estabilización (5.1 Ha). Para evaluar el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, cada semestre se realiza una caracterización físico-química en diferentes sitios (afluente al desarenador, afluente estación de bombeo a lagunas de sedimentación, efluente laguna de estabilización a recirculación para lavado de caña, afluente rampa de lodos, efluente rampa de lodos, efluentes laguna de estabilización a acequia, efluente de lagunas de sedimentación y estabilización para lavado de caña, aguas calientes de proceso (rebose estanque de enfriamiento,

¹⁶ ENTREVISTA con Miriam Arango Ospina, Jefe de Gestión ambiental. El ortigal, 20 de enero de 2006.

estación de servicio), afluente a planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, efluente de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas y efluente del taller agrícola¹⁷.

Según los ingenieros consultores:

Entre el año 1998 y el año 2005, la carga contaminante para los efluentes finales del Ingenio del Cauca S.A., presentó valores de 1555 kg DBO/día y 408 kg SST/día, los cuales se encontraban dentro de los parámetros establecidos por la Corporación Autónoma Regional del Cauca- CRC (Decreto 1594/84). Sin embargo, durante el primer semestre de 2006, los valores de esta carga presentaron valores por encima de los valores establecidos¹⁸.

De acuerdo con la Cámara Internacional de Comercio:

En Colombia, los ingenios azucareros, a pesar de la gran cantidad de estrategias y obras que han implementado para el control y mitigación de la contaminación de aguas, siguen contaminando y vertiendo aguas residuales a los cuerpos de aguas. De acuerdo a lo anterior, es importante realizar auditorias ambientales, con el fin de conocer el manejo y control de las prácticas ambientales, evaluar el cumplimiento de las políticas de la empresa y la legislación ambiental¹⁹ y, poder así lograr una reducción neta de la carga contaminante que se aportan a las fuentes hídricas.

¹⁷ ARANGO OSPINA, Miriam, et al. Plan de Manejo Ambiental. El Ortigal: INCAUCA S.A., 1999. p. 46.

¹⁸ TORRES GOMEZ, Julián. Estudio de caracterización de efluentes en INCAUCA S.A. El Ortigal, 2006. 1 archivo de computador.

¹⁹ GONZALES, Jaime. Ingenios azucareros de Colombia [en línea]. Bogotá: Cámara Internacional de comercio, 1989. [consultado 14 de marzo de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.camaradecomercio.org>

2. JUSTIFICACIÓN

Latorre afirma que:

Las actividades productivas han sido tradicionalmente una de las principales fuentes de la contaminación y deterioro de los recursos naturales. Entre las actividades productivas susceptibles de producir impactos ambientales se encuentran, entre otras, la industria, el turismo, la minería, el comercio, la construcción, la ganadería y la agricultura. Los efectos de las actividades productivas sobre el medio ambiente se pueden clasificar de la siguiente forma: contaminación del agua, contaminación del aire, disposición de residuos sólidos y residuos peligrosos, contaminación por ruido, deterioro del suelo, deterioro de la fauna y flora, contaminación del paisaje, deterioro de la salud, problemas de higiene y riesgos empresariales²⁰.

Según Latorre:

La contaminación de origen industrial se origina por manipulación inadecuada de los productos, vertimientos de aguas residuales, derrames, escapes y fugas producidos por el mal estado y obsolescencia de infraestructuras.

Como consecuencia de las actividades productivas los recursos naturales agua, aire, suelo y biota se han visto drásticamente afectados. Por ejemplo, el suelo pierde sus propiedades físicas, químicas y biológicas; se presentan altos consumos de agua por ineficiencia en el riego de cultivos, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, contaminación del aire por emisiones de gases, vapores y quemas y; desaparición de especies por transformación y contaminación de ecosistemas²¹.

Latorre dice que: " Las principales actividades productivas que generan impactos ambientales son los sectores industrial, agropecuario y doméstico, los cuales producen aproximadamente 8.950 diarias de materia orgánica contaminante (DBO), más del 80% corresponde a descargas que provienen de las actividades agrícolas y pecuarias "²².

²⁰ Latorre, Op. cit., p. 4.

²¹ *Ibíd.*, p. 30.

²² *Ibíd.*, p. 33 .

Según Santacruz:

En Colombia el sector industrial aporta en promedio 520 toneladas DBO día, siendo el subsector de alimentos uno de los que mayor impacto genera con un 25%, seguido por las bebidas con 19%, las sustancias químicas industriales con un 13%, la empresa papelera con un 12%, las curtiembres y las maderas con un 8% y; las gaseosas, textiles, metal, siderúrgicas y automotriz con un 5.4%²³.

Arevalo afirma que:

Específicamente, en el departamento del Valle del Cauca, los principales residuos industriales se originan básicamente por la empresa de pulpa de papel, los beneficios del café y los ingenios azucareros. El valle del Cauca tiene una de las mejores tierras del mundo debido a que en sus plantaciones se corta todo el tiempo, sin la limitación de una sola zafra por año que tienen países como Cuba, Puerto Rico y Hawai²⁴.

ACODAL expresa que: “Los ingenios azucareros al igual que otras empresas generan impactos sobre los recursos naturales en los diferentes procesos productivos de campo, cosecha y fábrica, los cuales alteran significativamente el medio ambiente. La acción contaminante que más aporta el proceso de elaboración del azúcar en los ingenios es la descarga de aguas residuales “²⁵.

De acuerdo con la Guía ambiental:

Entre los efectos que se generan sobre el recurso hídrico se encuentran:

- ◆ disminución del volumen de los cuerpos de agua y contaminación de aguas subterráneas y superficiales.
- ◆ arrastre de contaminantes por escorrentía y percolación.
- ◆ contaminación por efluentes de lavado de recipientes y equipos de fumigación.

²³ SANTACRUZ, Marino. Sueños de región. Santiago de Cali, 1999. p. 165-139. Trabajo de grado (Administrador empresarial). Universidad Autónoma de Occidente. División de Ciencias Económicas y empresariales.

²⁴ AREVALO, Guillermo. En los cañaduzales del Valle y el Cauca un ejército de cien mil proletarios [en línea]. Santiago de Cali: cañaduzales, 2006. [consultado 04 de Noviembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.E:/trabajo.articulo/htm.com/articulo.php?id=22>

²⁵ ACODAL. En: control de la contaminación hídrica del sector industrial. Vol. 1, No. 3 (1993); p. 49. Citado por: LATORRE, E. Empresa y Medio Ambiente en Colombia. Santa Fe de Bogotá: Prisma Asociados y Ltda., 1996. p. 53.

- ◆ contaminación del agua por altas temperaturas y sólidos suspendidos totales (SST) por vertimientos de agua caliente (purgas de las calderas) trampas de vapor
- ◆ contaminación del agua por DBO₅ y SST en recepción de agua por escorrentía, pisoteo de caña y lavado del sitio
- ◆ contaminación del agua por DBO₅, SST y grasas en el lavado y preparación de caña
- ◆ vertimientos de material dulce y grasas de lubricación
- ◆ utilización de agua para limpiar pisos
- ◆ desbordes de material dulce, desborde de lodos (cachaza)
- ◆ contaminación del agua por DBO₅ por regueros de masa por desborde en cristalizadores, vertimientos de lubricantes.

Además, afecta la disponibilidad del recurso hídrico para abastecimiento municipal no solo en cantidad sino en calidad.

Adicionalmente, en los diferentes procesos, se generan impactos sobre el recurso suelo como: remoción de capas vegetales, pérdida de materia orgánica, afectación de la respiración del suelo, disminución de la actividad biológica de organismos benéficos, afectación del suelo por aumento de temperaturas en quema de caña, afectación de las características del suelo por inadecuada acumulación de residuos como recipientes, combustibles, resinas, arena y carbonilla, citotoxicidad en cultivos y compactación por maquinaria, entre otros²⁶.

La CVC dice que: " En el aire, el principal efecto lo genera la quema de la caña que produce humo y pavesas durante la combustión, generando problemas de salud en las comunidades aledañas "²⁷.

Según Miriam Arango Ospina

El Ingenio del Cauca S.A, es el Ingenio más grande de Colombia, genera el mayor número de empleos de la región con 4.848 empleos directos y 29.094 indirectos. Por esta razón, es uno de los motores de desarrollo de la zona del Valle del Cauca y Cauca, labor que complementa con la

²⁶ Guía Ambiental para el Subsector de caña de azúcar. En: Desarrollo de la industria azucarera. Vol. 2, No. 1 (15, abr., 2002); p. 44-58.

²⁷ CVC. Plan de Gestión Ambiental para el Valle del Cauca. En: Una visión de futuro. Vol 1, No. 1 (1998-2000); p. 87.

permanente participación en actividades sociales y comunitarias. Sin embargo, el ingenio del Cauca S.A., al igual que los otros ingenios azucareros genera impactos sobre los recursos naturales. Además de los impactos mencionados anteriormente, INCAUCA S.A. presenta contaminación de aguas en operación normal, mantenimiento o emergencias, en los procesos de producción de azúcar molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinería.

En operación normal la contaminación de aguas se presenta por el uso de agua residual tratada para el lavado de caña de azúcar, represamiento de agua en canales de patios de caña, generación de lubricantes usados en el sistema de lubricación de turbinas y molinos, generación de vertimientos líquidos por contaminación de condensados con jugo (daño de tubería), generación de vertimientos líquidos por la limpieza, derrame de jugo por rotura de una caja de desborde, generación de agua dulce por el lavado del tanque y del carbón contenido en el tanque por desborde de los tanques de licor fundido, entre otros.

En operación de mantenimiento se contamina el agua por la generación de lubricantes usados, generación de vertimientos líquidos por el uso de agua en la limpieza de equipos y piezas, generación de vertimientos líquidos por el uso de agua de condensado para el lavado de los equipos y molinos, generación de vertimientos líquidos por la limpieza en el sitio de trabajo, preparación de floculante y en sistemas de enfriamiento, generación de vertimientos líquidos por enjuague y remoción de sacarosa de los tubos y cuerpo del evaporador. En operación o situaciones de emergencia se produce contaminación de agua por derrames de jugo por rotura del tanque alcalizado, desborde de lodos al piso (cachaza), derrame de miel por fallas de bombas, entre otros²⁸.

La Guía ambiental dice que: “Debido a los problemas de contaminación de aguas que presentan las industrias azucareras en Colombia se están utilizando métodos para reducir la carga contaminante como trampa de grasas, piscinas de recirculación, torres de enfriamiento, sistemas de lagunas estabilización y sedimentación “²⁹.

Tobar afirma que:

El Ingenio del Cauca S.A cuenta con estos métodos para reducir la carga contaminante. Adicionalmente construyó un tanque de recuperación de

²⁸ ARANGO OSPINA, Op. cit., p. 45.

²⁹ Guía Ambiental, Op. cit., p. 60.

material azucarado que resulta por desborde o lavado de equipos como disolventes de azúcar, clarificadores, condensadores y cristalizadores. El tanque recupera dichas aguas, conduciéndolas mediante canales y tuberías a un sitio de bombeo, para retornarlas de nuevo al proceso³⁰.

Según Fair:

La empresa ha enfocado el control de la contaminación hídrica mediante el tratamiento, conocido como tratamiento "al final del tubo", que se utiliza al final de los procesos de producción para recoger los contaminantes que se producen. Posteriormente, estos son separados o neutralizados en las lagunas de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR), las cuales se encargan de separar los contaminantes de la corriente de residuos. Los residuos finalmente son dispuestos en rellenos sanitarios³¹.

Según el Plan de Manejo Ambiental:

En 1992 el Ingenio del Cauca construyó el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, cuando la producción de azúcar era de 279,931 toneladas, hoy día la producción de azúcar es de 1.077.132 toneladas. Este sistema fue diseñado para el ingreso de aguas residuales procedentes del lavado de caña y de los procesos de elaboración de azúcar, el cual está constituido por un tratamiento preliminar, un tratamiento primario y un tratamiento secundario.

El tratamiento preliminar cuenta con un sistema de rejillas que se encarga de remover las fibras de caña, hojas y piedras provenientes de las aguas residuales de lavado de caña. En el tratamiento primario los efluentes del tratamiento preliminar y los efluentes de los procesos de elaboración se combinan y se envían hacia el tratamiento primario, el cual cuenta con un sistema de tres lagunas de sedimentación encargadas de remover principalmente los sólidos suspendidos totales. El tratamiento secundario cuenta con una laguna de estabilización facultativa encargada de remover la materia orgánica proveniente tanto del lavado de caña como del proceso productivo. A la laguna de estabilización llegan los efluentes de las lagunas de sedimentación, la eficiencia de remoción de la laguna de estabilización depende de la acción de los microorganismos tanto aeróbicos como anaerobios³².

³⁰ ENTREVISTA con Hermes Tobar. Ingeniero Químico INCAUCA. El Ortigal, 14 de febrero de 2006

³¹ FAIR GEYER, Okun. Purificación de aguas de tratamiento y remoción de aguas residuales. México: Editorial Limusa, 1979. p. 256.

³² ARANGO OSPINA, Op. cit., p. 48.

Sin embargo, el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales no es una solución a largo plazo, con el aumento en la producción de azúcar desde el año 1992 hasta la fecha se han incrementado considerablemente las concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos totales, lo cual está saturando el sistema de tratamiento afectando su funcionamiento.

Para el Ingenio del Cauca S.A., en particular, no siempre resulta fácil reconocer el nivel de impacto que tiene sobre el medio ambiente y lo más importante aún, buscar soluciones e implementarlas sin que esto afecte su economía. Debido a esto es importante que la empresa realice procesos de gestión por parte de los altos mandos con el fin de controlar el impacto de sus actividades, productos o servicios sobre el ambiente, realizando el tratamiento de los efluentes en cada uno de los procesos de producción de azúcar, teniendo en cuenta su política y objetivos ambientales. Y, cuestionar los beneficios ambientales (económicos, sociales y ecológicos) potenciales que puede obtener por prevenir y reducir la contaminación de efluentes en los diferentes procesos de producción. Algunos de los beneficios serían: reducción de los riesgos para la salud, reducción en riesgos ambientales (recursos naturales), aumento de la productividad y calidad de sus productos, ahorros en la gestión de tratamientos de control de contaminación, disminución en el costo del pago de tasas retributivas.

De acuerdo a lo anterior, con el fin de realizar un aporte para el desarrollo de propuestas para reducir la carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales en INCAUCA, S.A., cumplir con las normas ambientales y mantener la certificación ambiental lograda en junio de 2003, se desarrolló este trabajo.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Evaluar la carga contaminante que aportan los procesos de producción de azúcar: molinos fulton II, molino farrel, elaboración y refinería al sistema de tratamiento de aguas residuales industrial del Ingenio del Cauca.

3.2. ESPECIFICOS

- ◆ Caracterizar los efluentes a partir de los parámetros fisicoquímicos pH, DQO, DBO₅ y SST en los procesos: molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinería.
- ◆ Identificar en los procesos de producción de azúcar: molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinería, los equipos que aportan carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.
- ◆ Plantear estrategias para reducir la carga contaminante que aportan los diferentes procesos al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR. Tobar afirma que:

El proceso de producción de azúcar en INCAUCA S.A. se realiza en diferentes etapas, encargadas de extraer los cristales de azúcar del jugo de caña. Este proceso se ha venido mejorando con el tiempo, hoy día INCAUCA S.A. cuenta con la más alta tecnología para la producción de azúcar en Colombia.

◆ **Preparación de la caña de azúcar.** En primer lugar la caña proviene del campo, pasa hacia el laboratorio de caña, donde se realizan pruebas de calidad a la materia prima, posteriormente los trenes cañeros depositan la caña en las mesas lavadoras, ubicadas en los patios de caña, donde por medio de un sistema de distribución de agua (tubos con orificios aspersores), se eliminan las impurezas de la caña como barro, arena, hojas, etc.

Una vez lavada la caña, esta cae a una banda conductora que se dirige hacia las picadoras de caña. Esta sección se encarga de preparar la caña antes de ser entregada a los molinos, con el fin que las proporciones de caña lleguen uniformes y del tamaño ideal para permitir una mayor extracción del jugo en los molinos. Las picadoras son ejes provistos de cuchillas que giran a una velocidad de 720 r.p.m por la intervención de turbinas accionadas con vapor.

◆ **Molienda.** La empresa INCAUCA S.A cuenta con dos mecanismos de molienda, que son el molino Fulton II y molino Farrel, los cuales tienen como principal objetivo la extracción de jugo de caña.

El molino Fulton II es un sistema más avanzado capaz de extraer un porcentaje superior al 97% de sacarosa en comparación del molino Farrel, este posee un tándem de seis unidades con cuatro mazas cada una. Para la maceración de la caña de los molinos se hace necesario adicionar agua caliente, para obtener una mayor extracción de jugos azucarados, esto se realiza recirculando los jugos de cada tándem. En la primera unidad de maceración no se suministra agua, solo se macera la caña y el jugo restante se almacena en los tanques de recolección de jugo diluido (Foto1).

La fibra que pasa a la unidad de maceración o unidad 2 necesita la utilización de agua para extraer mejor la sacarosa, para ello se utiliza los jugos provenientes de la unidad de maceración 3. De igual forma al pasar la fibra de la unidad 2 hacia la unidad 3 esta se remoja con los jugos provenientes de la unidad 4 y así sucesivamente hasta llegar a la unidad 6.

En la unidad 6 la fibra se remoja con los condensados provenientes de los procesos de evaporación y cristalización de la fibra que al llegar a esta unidad posee porcentaje de sacarosa muy bajo, esta fibra es destinada hacia las calderas o se vende a empresas como Propal.

El molino Farrel es un sistema conformado por un tándem de seis unidades de maceración, de las cuales cuatro poseen cuatro mazas y, dos poseen tres mazas. Se tienen cuatro tipos de mazas: la maza superior que es la que esta posicionada en la parte de arriba del tándem, la maza cañera ubicada lateralmente en el lado de entrada de la carga al molino, la maza bagacera, ubicada en la salida de la carga del molino y, la cuarta maza ubicada en la parte superior a la entrada de la carga al molino, a un lado de la maza superior.

La maza cañera esta provista de chevrones que facilitan el agarre de la caña, tiene además ranuras merchaert a fin de facilitar el drenaje del jugo que se produce en sentido contrario al flujo de la caña. La masa superior lleva un flange en cada lado para evitar que la caña vaya por fuera de la maza. De la misma manera las mazas cañera, bagacera y cuarta, están provistas de collares o cuellos para facilitar el drenaje de jugo.

En operación la maza superior está flotando por efecto del paso de la caña, mientras las mazas laterales están fijas en su posición, solo son movidas al ajustar el molino cinco.

◆ **Básculas, sulfitación y alcalización.** Una vez se obtiene el jugo diluido de los molinos, este se dirige a las básculas de jugo pesado, donde se pesa por medio de unas celdas de carga y posteriormente se envía hacia las torres de sulfitación, en donde se somete a un proceso de eliminación de calor, por la acción de los gases de SO_2 , los cuales hacen contacto con el jugo en contracorriente.

El jugo sulfitado posee un pH muy ácido de 4.7 unidades, por eso es necesario que se suministre cal para neutralizar el pH a 7.7 unidades, esta adicción se realiza en la estación de preparación de lechada de cal, la cual esta equipada de tanques dosificadores, apagador de cal y de sistema de bombeo.

◆ **Calentadores.** Posterior, a los procesos de sulfitación y alcalización, el jugo pasa a los sistemas de calentamiento. El calentamiento del jugo se realiza en tres etapas: la primera etapa ocurre en los calentadores primarios, los cuales deben llevar la temperatura del jugo hasta 45°C , utilizando agua condensada con temperaturas cercanas a los 90°C . La segunda etapa ocurre en los calentadores secundarios encargadas de elevar la temperatura a 75°C , para ello se utilizan los evaporadores de segundo efecto o gases II provenientes de los evaporadores 2 de las líneas de evaporación. La tercera y última etapa ocurre en los calentadores

terciarios los cuales llevan la temperatura del jugo hasta unos 105°C, utilizando los vapores de primer efecto o gases originados en los evaporadores 1 como resultado de la evaporación del jugo (Foto 2).

◆ **Clarificación.** Una vez se realiza el proceso de calentamiento, el jugo pasa hacia el proceso de clarificación, el cual busca reducir la cantidad de sólidos no azucarados dentro del jugo de caña, para ello se utilizan tanques clarificadores con capacidad de 65.000 galones cada uno y con un tiempo de retención de 3 horas. Por la adicción de floculantes los sólidos se aglomeran y se precipitan hacia el fondo del tanque y por un sistema similar a unos brazos mecánicos se retira la cachaza, la cual se dirige posteriormente hacia los filtros de cachaza (Foto 3).

◆ **Filtración.** Los filtros se encargan de remover la mayor cantidad de jugo azucarado contenido en la cachaza. Este es un sistema de filtración al vacío el cual se aplica agua caliente con boquillas aspersoras para una mayor extracción de sacarosa. La cachaza deshidratada se conduce por medio de bandas hacia centros de almacenamiento, consecutivamente son llevados hacia la planta de compostaje donde se transforma en materia orgánica asimilable para las plantas. El jugo filtrado se envía hacia un sistema de clarificación, donde nuevamente se separan los sólidos no azucarados del jugo, siendo enviados hacia los filtros, el jugo clarificado se mezcla con el jugo claro de los clarificadores y se envía hacia los evaporadores.

El jugo clarificado, el cual contiene un porcentaje de sólidos del 15% (15° brix), pasa posteriormente al sistema de evaporación, el cual consta de cuatro líneas de evaporación tipo Roberts, estas poseen a su vez un pre evaporador y cuatro evaporadores (1, 2, 3 y 4). Al pasar por este sistema el contenido de brix esta en 60°. El jugo que sale de este proceso se llama comúnmente jugo de meladura, el cual se dirige nuevamente hacia un sistema de clarificación y luego se despachan hacia los tanques cristalizadores.

◆ **Clarificación de la meladura.** La meladura se somete a una segunda clarificación por flotación con ácido fosfórico, cal floculante y aire, para separar la espuma que contiene los sólidos no azucarados que no se eliminaron en la clarificación inicial. Una vez clarificada la cachaza se dirige hacia los filtros y el jugo de la meladura clarificado se envía nuevamente hacia la torre de sulfitación y posteriormente hacia la etapa de cristalización (Foto 4).

◆ **Cristalización.** Los cristalizadores son tanques evaporadores de simple efecto, cuyo fin es cristalizar la sacarosa contenida en la meladura. La meladura pasa por tres cocimientos, que se dan lugar en los tachos A, B y C, con el fin de separar los cristales de azúcares del líquido resultante o miel. La cristalización ocurre al inocular a la templa pequeños cristales de

azúcar, a los cuales se va adhiriendo las demás partículas de sólidos azucarados, formando un cristal de tamaño considerable.

◆ **Centrifugas.** La siguiente etapa del proceso son las centrifugas, es un sistema que cuenta con un juego de mallas interiores encargadas de retener los cristales de azúcar y separarlos de la miel. Para hacer más eficiente este proceso, se hace necesario agregar agua caliente que permita eliminar la película de miel que recubre los cristales. Las mieles resultantes de este proceso se almacenan y posteriormente se envían de nuevo a los evaporadores y a los cristalizadores.

Los cristales pasan posteriormente hacia las secadoras, los cuales son tambores inclinados que tienen como objetivo eliminar la humedad proveniente de la centrifugación; el secado se realiza al poner el azúcar en contacto con aire caliente el cual entra en contracorriente. Para el enfriamiento del azúcar se utilizan tambores similares a las de las secadoras, pero en vez de suministrar aire caliente se le inyecta aire frío en contracorriente (Foto 5).

◆ **Secado.** El azúcar húmeda que sale de las centrifugas con un 1% de humedad, se transporta por elevadores y bandas para alimentar a las secadoras que son tambores rotatorios inclinados en los cuales el azúcar se coloca en contacto con el aire caliente que entra en contracorriente. El aire se calienta con vapor en intercambiadores de tipo radiador y se introduce a la secadora con ventiladores.

El azúcar seca sale por el extremo opuesto de la secadora, donde se instala una malla clasificadora para remover los terrones de azúcar (Foto 6).

◆ **Enfriamiento.** El azúcar seca con 0.035% de humedad y con una temperatura cercana a 60°C se pasa por las enfriadoras rotatorias inclinadas que llevan aire frío en contracorriente, en donde se disminuye su temperatura hasta 40-45°C para conducirla a tolvas de envase.

◆ **Envase.** El azúcar seca fría se empaca en sacos de diferentes pesos y presentaciones dependiendo del mercado y se despacha a la bodega de producto terminado para su posterior venta y comercio. El azúcar cruda o morena se despacha a granel para exportación vía Buenaventura o se empaca en sacos de 50 kg para producir alimento para ganado y en bolsas de 1 Kg para consumo familiar (Foto7)³³.

³³ TOBAR, Hermes. Informe del proceso de producción de azúcar. El Ortigal, 2004. 1 archivo de computador.

Foto1. Molino Fulton II



Fuente: Proceso de producción de azúcar [en línea]. Miranda: INCAUCA S.A. 2006. [Consultado 04 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.incauca.com>

Foto 2. Evaporadores



Fuente: Proceso de producción de azúcar [en línea]. Miranda: INCAUCA S.A. 2006. [Consultado 04 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.incauca.com>

Foto 3. Clarificador, talofiltrado



Fuente: Proceso de producción de azúcar [en línea]. Miranda: INCAUCA S.A. 2006. [Consultado 04 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.incauca.com>

Foto 4. Tacho



Fuente: Proceso de producción de azúcar [en línea]. Miranda: INCAUCA S.A. 2006. [Consultado 04 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.incauca.com>

Foto 5. Centrífuga



Fuente: Proceso de producción de azúcar [en línea]. Miranda: INCAUCA S.A. 2006. [Consultado 04 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.incauca.com>

Foto 6. Secadores



Fuente: Proceso de producción de azúcar [en línea]. Miranda: INCAUCA S.A. 2006. [Consultado 04 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.incauca.com>

Foto 7. Empacado



Fuente: Proceso de producción de azúcar [en línea]. Miranda: INCAUCA S.A. 2006. [Consultado 04 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.incauca.com>

4.2. AGUAS RESIDUALES

4.2.1. Características de las aguas residuales. Según Fair:

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales son complejas y variadas como la industria misma. Entre los principales contaminantes en aguas residuales se encuentran sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable, patógenos, nutrientes, materia orgánica refractaria (detergentes, fenoles y pesticidas), metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos³⁴.

³⁴ FAIR GEYER, *Op. cit.*, p. 695.

Romero expresa:

En la tabla 3 se presentan los diferentes tipos de contaminantes de aguas residuales y, el parámetro de medición.

Tabla 2. Principales contaminantes de aguas residuales y parámetros de medición

Tipo de contaminante	Parámetro de medición
Materia Orgánica biodegradable	-Demanda biológica de oxígeno (DBO) -Demanda bioquímica de oxígeno (DQO)
Materia suspendida	-Sólidos suspendidos totales (SST) - Sólidos suspendidos volátiles (SSV)
Patógenos	-Coliformes fecales (CF)
Amoniaco	- NH_4^+ , N
Fósforo	- Ortofosfatos
Materiales tóxicos	- Cada material tóxico específico
Sales inorgánicas	- Sólidos disueltos totales (SDT)
Energía térmica	- Temperatura
Iones hidrógeno	- pH

Fuente: ROMERO R J. Tratamiento de Aguas residuales; teoría y principios de diseño. 3 ed. Medellín: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p. 79.

A continuación, se describen los parámetros fisicoquímicos analizados para el desarrollo del presente trabajo.

◆ **pH:** es una medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua, un importante parámetro de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales.

El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamientos y para la existencia de la biota varía entre 6.5 y 8.5. El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico.

El agua residual con una concentración adversa de ión de hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede modificar la concentración de las aguas naturales. Aguas residuales con pH menor de 6, con tratamiento biológico favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias, a pH bajo el poder bactericida del cloro es mayor; mientras que, a pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica, la cual es tóxica pero puede removerse mediante arrastre con aire³⁵.

³⁵ ROMERO R J. Tratamiento de Aguas residuales; teoría y principios de diseño. 3 ed. Medellín: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p. 79.

U.S. afirma que:

Para descargas de tratamiento secundario se estipula un pH entre 6 y 9, para procesos biológicos de nitrificación se recomiendan valores entre 7-9 y para desnitrificación entre 6.5 y 7.5. En lagunas de estabilización las algas utilizan el dióxido de carbono para su actividad fotosintética, lo cual puede generar aguas con pH alto, especialmente en aguas residuales de baja alcalinidad.

El pH puede medirse convenientemente con un peachimetro, que incluye un electrodo selectivo generalmente de vidrio, conectado a un galvanómetro para detectar las variaciones de potencial que se registran en un sensor digital. También, se utilizan soluciones indicadoras que cambian de color a determinados valores de pH. El color de la solución se compara con el color de discos o tubos normalizados, se usa este método para líquidos relativamente claros³⁶.

Heink afirma que:

◆ **Sólidos:** los sólidos totales (orgánicos e inorgánicos) de las aguas residuales son los residuos que quedan una vez que la parte líquida se ha evaporado y el remanente se ha secado a temperatura entre 103-105°C. Se hace la distinción entre sólidos disueltos y sólidos no disueltos (en suspensión) evaporando muestras de aguas residuales filtradas y sin filtrar. La diferencia de peso entre las dos muestras secas representa el contenido de sólidos en suspensión (SS)³⁷.

Según Suvillan:

Los sólidos sedimentables son una medida del volumen de sólidos asentados en el fondo de un cono Imhoff, en un tiempo de una hora y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple, se expresan como ml/L.

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal el cual requiere normalmente para su remoción tratamiento de oxidación biológica o coagulación y sedimentación.

³⁶ U.S. Public Health Service: Public Health Service Drinking Water Standard, Washington. D.C. 1962. p.125. Citado por: J.ROIDER. Análisis de las aguas naturales, residuales y de mar. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1996. p. 108.

³⁷ HEINK, Henry J y G. Ingeniería Ambiental. 2 ed. Prentice Hall Hispanoamericana. 1999. p. 124. Citado por: J.ROIDER. Análisis de las aguas naturales, residuales y de mar. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1996. p. 108.

Los sólidos disueltos presentan un tamaño menor de 1.2 μm y los suspendidos presentan un tamaño mayor de 1.2 μm ³⁸.

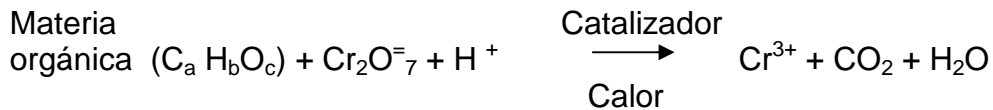
Mara dice que:

Los sólidos suspendidos (SS) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se emplean como medidas de la concentración de aguas residuales y del rendimiento del proceso.

◆ **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** la demanda química de oxígeno se utiliza para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico, por lo general, se utiliza el dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para facilitar la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se necesita un catalizador como el sulfato de plata. Compuestos inorgánicos, como los cloruros, interfieren en el ensayo, afectando los resultados, lo cual se puede minimizar agregando sulfato mercuríco para formar HgCl_2 y evitar el consumo de dicromato por el ión cloruro³⁹.

J. Roider afirma que:

La reacción química utilizando dicromato como agente oxidante puede representarse de la siguiente manera:



Este test es particularmente útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones de tratamiento. La DQO esta en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas y de las posibilidades de oxidación.

Para practicar la DQO a una muestra, requiere que esta sea representativa y que este bien homogenizada. Se puede conservar la muestra cierto tiempo si se ha acidificado convenientemente con ácido sulfúrico a pH 2-3.

³⁸ SULLIVAN, R. J. Preliminary Air Pollution Survey on Odorous Compounds, A Literature Review, NAPCA pub. APTD. 1969. p. 66-24. Citado por: J.ROIDER. Análisis de las aguas naturales, residuales y de mar. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1996. p. 108.

³⁹ MARA, D.D. Sewage Treatment in Hot Climates, Wiley-Interscience, London, 1976. p. 86. Citado por: J.ROIDER. Análisis de las aguas naturales, residuales y de mar. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1996. p. 108.

Antes del análisis, el agua bruta tamizada se decanta en un cono especial durante 2 horas. El agua residual se toma entonces por sifonación en la zona central de la probeta⁴⁰.

Según Mara:

La DQO de un agua residual es, por lo general, mayor que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente. En muchos tipos de aguas residuales es posible correlacionar la DQO con la DBO. Lo anterior, puede resultar muy útil por que la DQO puede determinarse en tres horas comparado con los cinco días que supone la DBO. Una vez que la correlación ha sido establecida, pueden utilizarse las medidas de DQO para el funcionamiento y control de la planta de tratamiento⁴¹.

Heink dice que:

◆ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** la demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar o estabilizar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. En condiciones normales de laboratorio esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se expresa en m/L- O₂.

La medida de la DBO es importante en el tratamiento de aguas residuales ya que permite determinar la calidad de aguas residuales, la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y fijar cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras y diseñar unidades de tratamiento biológico.

La cantidad de materia orgánica que contiene el agua residual se puede medir de forma directa a través del carbono orgánico total, sin embargo este método no determina si las sustancias orgánicas son degradables o no en términos biológicos. Para determinar la cantidad de materia orgánica biodegradable se utiliza un método indirecto en el cual se mide la cantidad de oxígeno que consume una población microbiana en crecimiento para oxidar la materia orgánica en CO₂ y H₂O en un sistema cerrado. El oxígeno que se consume (o DBO) es proporcional a la materia orgánica transformada y por lo tanto la DBO es una medida relativa de la materia orgánica biológicamente degradable.

⁴⁰ J.ROIDER. Análisis de las aguas naturales, residuales y de mar. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1996. p. 108.

⁴¹ MARA, D.D. Sewage Treatment in Hot Climates, Wiley-Interscience, London, 1976. p. 86. Citado por: J, ROIDER, Op. cit., p. 104.

La oxidación biológica continúa indefinidamente, la prueba de la DBO se ha limitado de manera arbitraria a 20 días cuando se ha consumido aproximadamente el 95% del oxígeno necesario. Sin embargo, este periodo de tiempo sigue siendo demasiado largo para que la medición de la DBO sea útil, por lo que se realiza una prueba de 5 días, denominada la DBO₅⁴².

4.2.2. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de INCAUCA S.A. Según el Plan de Manejo Ambiental:

Las aguas Residuales provenientes de los molinos y del lavado de caña son llevadas a la estación 1, pasando por las rejillas autolimpiantes para separar los residuos gruesos, luego ingresan al desarenador donde se sedimentan las partículas pesadas y se desborda el agua desarenada. Los lodos del desarenador son bombeados hacia las rampas de deshidratación y el agua desarenada va por gravedad hacia la estación 2 (tratamiento preliminar).

En las rampas de deshidratación se separa el agua del lodo. El agua desborda hacia los tanques de bombeo de la estación 2 y el lodo se retira con cargadores hacia la zona de secado cuando la determinación de SST se ha estabilizado en un rango de 1500 a 2000 mg/l.

En la estación 2, el agua proveniente de la estación 1, pasa por una banda perforada para retiro de sólidos, luego se le aplica hidróxido de calcio y posteriormente llega a los tanques de bombeo de donde es evacuada hacia las lagunas de sedimentación 1, 2 y 3.

Una vez bombeada el agua de la estación 2, ésta pasa a través de las lagunas de sedimentación 1, 2 y 3 donde se eliminan los sólidos finos presentes en ella. Cuando se realiza mantenimiento a una laguna, varía la secuencia de paso del agua por ellas (Tratamiento Primario).

La laguna de estabilización o laguna 4 recibe el agua proveniente de las lagunas de sedimentación con el fin de remover la carga orgánica en DBO (demanda bioquímica de oxígeno) por medio de microorganismos que se desarrollan en el medio y reducen la carga contaminante del agua, dejándola en condiciones para su uso en otras actividades como lavado y riego de caña.

El agua para el lavado de caña se conduce por canal y tubería hacia la estación de bombeo 3, para riego de caña se conduce por tubería hacia el reservorio del pozo 3 de campo y en caso de encontrarse un excedente hacia el cauce público.

⁴² HEINK, Henry J y G. Ingeniería Ambiental. 2 ed. Prentice Hall Hispanoamericana. 1999. p. 124. Citado por: J, ROIDER, Op. cit., p. 104.

En la estación 3, el agua es bombeada hacia las mesas de lavado de caña donde después de cumplir su función cae a canales de recolección para llegar luego a la estación 1 e iniciar su recorrido por el sistema de tratamiento de aguas residuales.

La operación de este sistema y sus equipos se realiza de acuerdo a lo descrito en el manual de operación y control del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, elaborado por la firma Ingesam Ltda (tratamiento secundario)⁴³.

Foto 8. Sistema de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Proceso de producción de azúcar [en línea]. Miranda: INCAUCA S.A. 2006. [Consultado 15 de diciembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.incauca.com>

⁴³ ARANGO OSPINA, **Op. cit.**, p. 14.

5. MARCO LEGAL

Según la Guía ambiental:

La legislación ambiental aplicable al sector azucarero está enmarcada en tres grandes bloques normativos:

La Constitución Política Nacional, que se constituye en el marco legal de carácter supremo y global que recoge gran parte de los enunciados sobre el manejo y conservación del medio ambiente.

Las Leyes del Congreso de la República, derechos con fuerza de ley y decretos ley del Gobierno Nacional, constituyen las normas básicas y políticas a partir de las cuales se desarrolla la reglamentación específica o normativa. La competencia para los trámites ambientales ante las autoridades competentes, las cuales regulan y establecen requerimientos específicos para la ejecución de proyectos agrícolas. En el año de 1974, con la aprobación del Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de protección al Medio Ambiente, se dio inicio a la gestión ambiental en el país en cabeza del Inderena. Posteriormente, con el Código Sanitario Nacional aprobado en 1978, se establecieron los lineamientos generales en materia de regulación de la calidad del agua y el aire, así como en el manejo de los residuos sólidos.

5.1. MARCO JURÍDICO ESPECÍFICO PARA EL SUBSECTOR DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Las leyes, decretos y resoluciones de mayor especificidad para el subsector de la caña de azúcar:

5.1.2. Gestión del agua y los recursos naturales.

◆ **Acuerdo no. 14 del 23 de noviembre de 1976 de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC.** Por el cual se dictan normas sobre el control de la contaminación de las aguas en la cuenca del río Cauca dentro del territorio de jurisdicción de la CVC.

◆ **Decreto 1594 del 26 de junio de 1984.** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 09 de 1979, así como el capítulo II del título VI parte III libro II, y el título III de la parte III libro I del decreto ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos⁴⁴.

⁴⁴ Guía Ambiental, **Op. cit.**, p. 25.

5.1.3. Tasas ambientales. Ley 99 de 1993. El artículo 42 hace referencia a “ la utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propicias por el hombre , o actividades económicas o de servicio sean o no lucrativas, se sujetaran al pago de las tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas”.

Decreto 901 del 1 de abril de 1997. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas

Resolución 0273 del 1 de abril de 1997 del Ministerio del Medio Ambiente. Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Resolución 0372 del 6 de mayo de 1998 del Ministerio del Medio Ambiente. Por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan disposiciones

Resolución D.G. No. 044 de febrero 2 de 2000 de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC. Por medio de la cual se establece la metodología para calcular el monto de las multas por infracciones a las normas ambientales por vertimientos líquidos y emisiones por quemas de caña de azúcar⁴⁵.

⁴⁵ Guía Ambiental, **Op. cit.**, p. 26-27.

6. METODOLOGIA

6.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE TRABAJO

Según el Plan de Manejo Ambiental:

INCAUCA S.A fue fundada el 29 de julio de 1963 y pertenece a la organización Ardila Lülle desde el 1 de mayo de 1980. El Ingenio del Cauca, se encuentra ubicado en el corregimiento del Ortigal en la zona rural del municipio de Miranda, su área de influencia abarca los municipios de Puerto Tejada, Corinto y Caloto, Padilla, Santander de Quilichao en el departamento del Cauca y; los municipios de Pradera, Palmira, Cali, Florida, Candelaria y Jamundí en el departamento del Valle del Cauca.

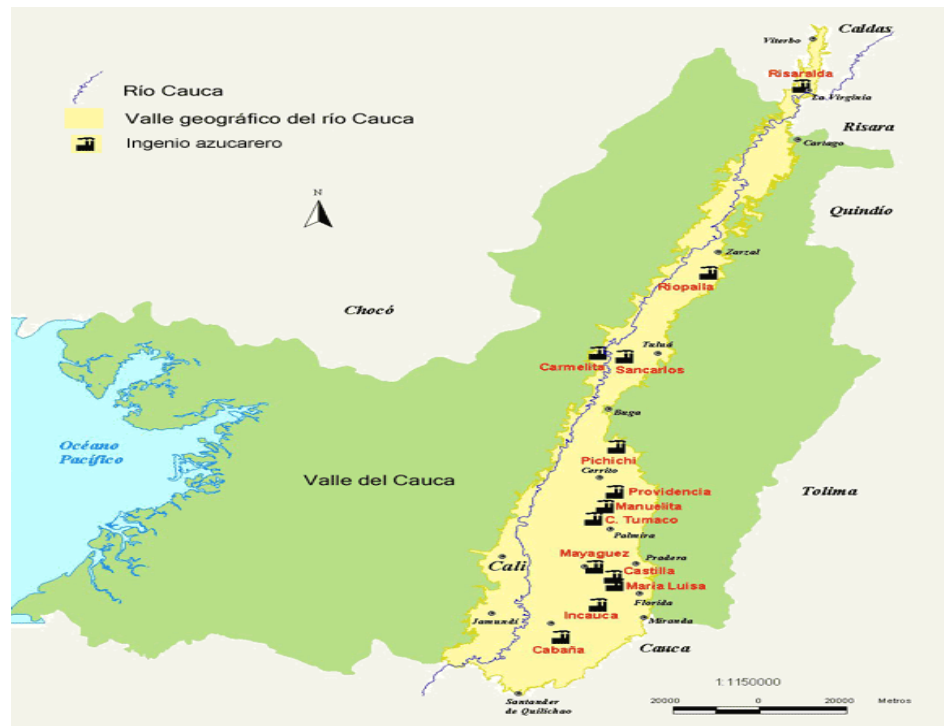
La zona de influencia de este ingenio azucarero se localiza principalmente sobre la parte plana del valle geográfico del Río Cauca y las estribaciones de la cordillera central, sus suelos poseen una capa muy profunda de materia orgánica conformada por sedimentos lacustres, aluviales y cenizas volcánicas. Estos terrenos se encuentran aproximadamente entre los 1000 y 1100 msnm, con una temperatura promedio de 23.7°C y pendientes que oscilan entre 0 a 1%⁴⁶.

INCAUCA S.A. es una de las industrias azucareras más grandes del país, con una molienda de 14.000 toneladas métricas de caña diarias. En 1995 produjo más de 400.000 toneladas métricas de azúcares blanco especial, blanco crudo, los que en sus diferentes presentaciones son distribuidos en el mercado nacional e internacional, sus productos se encuentran garantizados por la Norma Técnica Colombiana ISO 9002 otorgados por el ICONTEC a partir de 1997⁴⁷ (Foto 8 y 9).

⁴⁶ ARANGO OSPINA, **Op. cit.**, p. 14.

⁴⁷ ENTREVISTA con Hermes Tobar, **Op. cit.**,

Foto 9. Región azucarera de Colombia



Fuente: Región azucarera [en línea]. Colombia: Cenicaña, 2006. [Consultado 15 de enero de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.cenicaña.com>

Foto 10. Panorama del Ingenio del Cauca S.A.



Fuente: Proceso de producción de azúcar [en línea]. Miranda: INCAUCA S.A., 2006. [Consultado 15 de diciembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.incauca.com>

6.2. METODOLOGIA

El presente trabajo se realizó entre noviembre de 2006 y mayo de 2007, bajo la modalidad de pasantía en el Área de Gestión Ambiental en el Ingenio del Cauca, con el fin de realizar un aporte para el desarrollo de propuestas para reducir la carga contaminante proveniente de los procesos de elaboración de azúcar: molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinería al sistema de tratamiento de aguas residuales del Ingenio.

El trabajo se realizó en tres etapas:

- 1. Caracterización de los efluentes en los procesos de producción de azúcar: molino fulton II, molino farrel elaboración y refinería.
- 2. Identificación en cada uno de los procesos, de los equipos que aportan carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales.
- 3. Formulación de estrategias para reducir la carga contaminante que aportan los diferentes procesos al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.

6.2.1. Caracterización de efluentes en los procesos de producción de azúcar: molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinería. La caracterización de efluentes en los diferentes procesos de producción de azúcar en el Ingenio del Cauca se realizó a partir de las siguientes fases:

Identificación de los puntos de toma de muestras. Para elegir los puntos de toma de muestra se contó con la colaboración del jefe de Gestión Ambiental Miriam Arango de INCAUCA S.A., quien fue la encargada de identificar los canales receptores de mezcla de todas las aguas de los diferentes procesos de producción de azúcar de la empresa. A continuación se describen los sitios de muestreo en cada proceso.

◆ Efluente del proceso molino fulton II: corresponde a un canal que está ubicado después de la trampa de grasa del molino fulton II, por este canal pasan las aguas de lavado y limpieza del sitio de trabajo, aguas de enfriamiento de las torres de circuito y aguas de enfriamiento de las coronas de los molinos (Foto 11).

Foto 11. Sitio de muestreo molino fulton II



◆ Efluente del proceso molino farrel: corresponde a un canal que está ubicado después de la trampa de grasa del molino fulton II, por este canal pasan las aguas de lavado y limpieza del sitio de trabajo, aguas de enfriamiento de las torres de circuito y aguas de enfriamiento de las coronas de los molinos (Foto 12).

Foto 12. Sitio de muestreo molino farrel



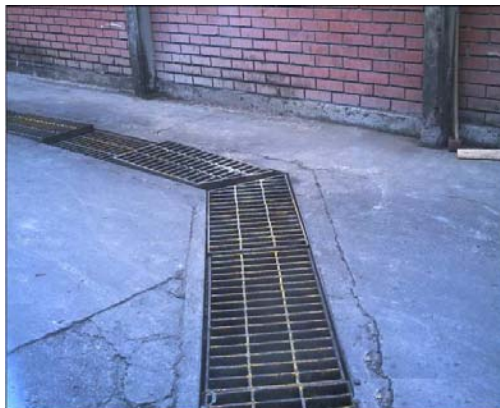
◆ Efluente del proceso de elaboración: corresponde a un canal que recoge el desagüe de lavado de pisos, lavado de calentadores de jugo, lavado de clarificadores, limpieza de evaporadores, entre otros (Foto 13).

Foto 13. Sitio de muestreo elaboración



◆ Efluente del proceso de refinería: corresponde a un canal que recoge el desagüe de lavado y limpieza del sitio de trabajo, los excedentes de condensados y/o por rebose de estanques de enfriamiento, lavado de plantas de azúcar refinado, limpieza de elevadores y gusanos, entre otros (Foto 14).

Foto 14. Sitio de muestreo refinería



Características Hidráulicas de los canales de aguas residuales en cada proceso. Una vez se identificaron los puntos de muestreo, se realizó la caracterización de cada uno de los canales de los diferentes procesos.

De acuerdo con Romero: " Se determinó la altura (cm), el ancho (cm) y la pendiente (%) de cada canal de aguas residuales, parámetros necesarios para estimar posteriormente el caudal "⁴⁸.

⁴⁸ ROMERO, Op. cit., p. 58.

Para determinar la altura (cm), el ancho (cm) y la pendiente (%) de cada canal de aguas residuales, se realizaron estudios topográficos. La medida de la altura de los canales, se obtuvo con una regla que se sumergió en el fondo de los canales de aguas residuales. El ancho de los canales de aguas residuales, se determinó con un metro y la pendiente con un teolodito.

Medición de lámina de agua: se utilizó un palo de madera, el cual fue sumergido en el punto de muestreo establecido para cada proceso y, con un metro se obtuvo la medida de la profundidad. Se realizaron mediciones durante 4 días, cada 30 minutos, durante operación normal. A partir de los datos obtenidos, se determinaron rangos de alturas de láminas de agua en cada proceso para calcular el volumen de la alícuota.

En los procesos molino Fulton II y molino farrel se determinó un rango de altura de lámina de agua, a partir de un valor mínimo de 5 cm hasta un valor de 40 cm. En el proceso de elaboración se determinó un rango de altura de lámina de agua, a partir de 5 cm hasta 40 cm y, en el proceso de refinería, se determinó un rango de altura de lámina de agua, a partir de un valor mínimo de 1 cm hasta un valor de 40 cm. El valor de 1 cm se determinó, por que en algunas ocasiones el canal de aguas residuales no presentaba flujo de agua.

Determinación del caudal (l/s). Romero dice que: " Para determinar el caudal en los diferentes procesos se utilizó la ecuación de Manning "⁴⁹. Según Romero⁵⁰, los canales de agua de los diferentes procesos del Ingenio se caracterizan por presentar pendiente, sección y rugosidad constante y no presentar flujo sumergido aguas abajo.

Según Romero:

A continuación se presenta la ecuación para flujos en canales:

$$V = [(1/n)] (S^{1/2})(R^{2/3})$$

n = coeficiente de rugosidad. En este caso se utilizó 0.016 para concreto (acero remachado)

S = pendiente del gradiente hidráulico, m/m

R = radio hidráulico (m), se determina:
$$R = \frac{by}{b+2y}$$

Donde:

b = ancho del canal (cm)

y = altura o tirante del canal (cm)

⁴⁹ Ibíd. p. 92.

⁵⁰ Ibíd. p. 93.

Posteriormente se reemplaza en la formula

$$Q = V \times A$$

Q = caudal (l/s)

V = velocidad (m/s)

Area = altura o tirante del canal (cm) x ancho del canal (cm)

Determinación de alícuotas (ml). Para determinar el volumen de las alícuotas en los diferentes procesos de producción de azúcar, se utilizó la siguiente formula.

$$\text{Volumen necesario} = \frac{\text{Volumen total de la muestra (ml)}}{\text{Q promedio (L/s) x número de muestras}}$$

Posteriormente, el volumen de cada muestra se multiplicó por el caudal correspondiente⁵¹. Los datos obtenidos para cada proceso se registraron en formato (Anexo A).

Medición de parámetros fisicoquímicos: pH, SST, DBO, DQO

Según Standard Methods:

Las aguas residuales provenientes de cada uno de los procesos de producción de azúcar en estudio se caracterizaron a partir de los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, DQO, DBO y SST.

Las muestras de agua se tomaron realizando un muestreo manual, tomando muestras compuestas en los puntos de muestreo preestablecidos en cada proceso. Las muestras se almacenaron en recipientes de plástico de 2 litros previamente lavados. Posteriormente, las muestras fueron etiquetadas, rotuladas y refrigeradas. Las muestras fueron colectadas por los operarios, quienes fueron adiestrados en la toma de muestras y métodos de preservación. La recolección y preservación de muestras, se realizó siguiendo el Manual "Standard Methods for the Examination of water and wastewater" (1995)⁵².

⁵¹ Ibid., p 77.

⁵² Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19 ed. New York: Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1995. p. 46-87.

Los muestreos se realizaron las 24 horas del día, durante los 7 días de la semana entre noviembre de 2006 y mayo de 2007. Se obtuvieron muestras compuestas (representativas) en turnos de 8 horas, con intervalos de recolección de 30 minutos en cada punto de muestreo.

Díaz de Santos dice que " Los análisis de los parámetros fisicoquímicos se realizaron siguiendo el manual de "Métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales "⁵³. En total se analizaron 12 muestras diarias (4 x turno) provenientes de los procesos: molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinería.

Las técnicas analíticas utilizadas fueron las siguientes:

- pH: pH metro Digital GLP 22 Grison
- DQO: combustión por el método de WALKLEY Black.
- DBO₅: combustión por el método de WALKLEY Black.
- SST: gravimetría.

6.3. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS QUE APORTAN CARGA CONTAMINANTE

Con el fin de identificar los equipos que aportan carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales del Ingenio del Cauca se realizaron recorridos diarios, durante 4 semanas, entre enero y febrero de 2007, durante operación normal, mantenimiento y emergencias (Tabla 3).

Para la identificación de equipos que aportan carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales se contó con la colaboración de los jefes y supervisores de cada proceso y, con la ayuda de los auxiliares del Departamento de Gestión Ambiental del Ingenio, quienes eran los encargados de informar acerca del funcionamiento de cada equipo y de los efluentes que se generan en los diferentes procesos.

Adicionalmente, se realizaron recorridos por los canales (efluentes) en cada uno de los procesos, con el fin de identificar los tratamientos preliminares que se realizaba a los efluentes antes de llegar al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.

⁵³ DÍAZ DE SANTOS. Métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. 17 ed. Madrid: McGraw-Hill, 1992. p. 56.

Tabla 3. Recorridos realizados en los diferentes procesos de producción de azúcar entre enero y febrero de 2007

PROCESO	SEMANAS			
	2	3	4	5
Molino fulton II				
Molino farrel				
Elaboración				
Refinería				

7.4. FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS

La formulación de estrategias para reducir la carga contaminante que aportan los diferentes procesos al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales se realizó, a partir de la caracterización de efluentes de los diferentes procesos de producción de azúcar (molino Fulton II, Molino Farrel, Elaboración y Refinería) y, la identificación de los equipos contaminantes, utilizando una matriz de situaciones ambientales.

En la matriz de situaciones ambientales se identificó el problema, se plantearon soluciones por el grupo de gestión ambiental y se consignó el nombre del supervisor o jefe responsable de solucionar el problema. De acuerdo al estado del problema, este se calificó de la siguiente manera:

- 1. no se ha implementado la solución propuesta
- 2. se esta implementando
- 3. ya se implementó

Las estrategias de mejoramiento se plantearon de manera participativa a partir de reuniones semanales que se realizaron con el personal del área de Gestión Ambiental, con los supervisores y jefes de cada proceso.

Después de haber planteado alternativas de mejoramiento en cada proceso, se realizaron recorridos diarios con el fin de observar las soluciones que se habían implementado para reducir la carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales en los procesos: molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinería.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS CANALES

De acuerdo a la caracterización realizada en los diferentes canales, se puede observar que el canal de aguas del proceso de refinería presentó los valores más bajos para la altura (55 cm) y el ancho del canal (38 cm). Mientras que, el canal de aguas del proceso de elaboración presentó valores mayores tanto para la altura (77 cm) como para el ancho (60 cm).

Con respecto a la pendiente, el canal de aguas correspondiente al molino fulton II presentó una pendiente de 1.21%, la del molino farrel fue de 0.53%, la del proceso de elaboración de 0.18% y la del proceso de refinería de 1.78% (Tabla 4).

Tabla 4. Caracterización de canales de agua en cada proceso.

CARACTERÍSTICAS	PROCESO			
	MOLINO FULTON II	MOLINO FARREL	ELABORACIÓN	REFINERÍA
Altura del canal (cm)	60	50	77	55
Ancho del canal (cm)	48	50	60	38
Pendiente (%)	0.0121	0.0053	0.0018	0.0178

7.1.1. Medición de láminas de agua. De acuerdo con los valores de altura en el molino fulton II durante el día 27 de noviembre, la altura de la lámina de agua aumentó de 6.0 cm a 8.50 cm, disminuyendo posteriormente a 6.0 cm. La altura presentó un valor promedio de 7.1 cm, un valor máximo de 7.5 cm y, un valor mínimo de 6.0 cm (Tabla 5). Los valores bajos están asociados a las horas de descanso de los trabajadores y cambios de turno y, los valores altos a horas de limpieza del sitio de trabajo.

El día 28 de noviembre, la altura de lámina de agua disminuyó de 10.0 cm a 7.0 cm, aumentando nuevamente a 10.0 cm. La altura de la lámina de agua presentó un valor promedio de 8.7 cm, un valor máximo de 10.0 cm y, un valor mínimo de 7.0 cm. Los valores bajos están asociadas a las horas de descanso de los trabajadores y, los valores altos a los desbordes de agua del tanque de enfriamiento de 3.000 gpm del molino fulton II.

El día 29 de noviembre, la altura de lamina de agua varió entre 7.5 cm y 9.0 cm presentando un valor promedio de 8.8 cm, un valor máximo de 9.5 cm y, un valor mínimo de 7.5 cm. Los valores bajos están asociados a la suspensión del uso de mangueras en el sitio de trabajo y, los valores altos a la limpieza del carcamo del molino.

El día 30 de noviembre, la altura de lamina de agua varió entre 6.5 cm 7.0 cm a las 4:05 pm, presentando un valor promedio de 6.8 cm, un valor máximo de 8.0 cm y, un valor mínimo de 6.5 cm. Los valores bajos están asociados a la disminución del volumen de agua por el uso de mangueras y, los valores altos al uso de mangueras en la limpieza de pisos.

Tabla 5. Medición de láminas de agua en el molino fulton II noviembre 27-30/06

Nov. 27 Hora	Altura (cm)	Area (cm²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm³/s)	Caudal (l/s)
1:35	6,00	288	4,80	19,56	5634,12	5,63
2:05	7,50	360	5,71	21,97	7910,73	7,91
2:35	7,50	360	5,71	21,97	7910,73	7,91
3:05	8,00	384	6,00	22,70	8717,09	8,72
3:35	8,50	408	6,28	23,39	9544,74	9,54
4:05	6,00	288	4,80	19,56	5634,12	5,63
4:35	6,00	288	4,80	19,56	5634,12	5,63
Promedio	7,1					7,28
Nov. 28 Hora	Altura (cm)	Área (cm²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm³/s)	Caudal (l/s)
8:35	10,00	480	7,06	25,30	12143,27	12,14
9:05	9,50	456	6,81	24,69	11258,94	11,26
9:35	9,50	456	6,81	24,69	11258,94	11,26
10:05	8,50	408	6,28	23,39	9544,74	9,54
10:35	7,50	360	5,71	21,97	7910,73	7,91
11:05	7,00	336	5,42	21,21	7127,06	7,13
11:35	7,00	336	5,42	21,21	7127,06	7,13
1:35	7,00	336	5,42	21,21	7127,06	7,13
2:05	9,00	432	6,55	24,06	10392,41	10,39
2:35	8,00	384	6,00	22,70	8717,09	8,72
3:05	10,00	480	7,06	25,30	12143,27	12,14
3:35	10,00	480	7,06	25,30	12143,27	12,14
4:05	9,50	456	6,81	24,69	11258,94	11,26
Promedio	8,7					9,86
Nov. 29 Hora	Altura (cm)	Área (cm²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm³/s)	Caudal (l/s)
9:05	7,50	360	5,71	21,97	7910,73	7,91
9:45	8,50	408	6,28	23,39	9544,74	9,54
10:15	8,50	408	6,28	23,39	9544,74	9,54
10:45	9,50	456	6,81	24,69	11258,94	11,26
11:15	9,50	456	6,81	24,69	11258,94	11,26
2:05	7,50	360	5,71	21,97	7910,73	7,91
2:35	9,50	456	6,81	24,69	11258,94	11,26
3:05	9,50	456	6,81	24,69	11258,94	11,26
3:35	9,00	432	6,55	24,06	10392,41	10,39
4:05	9,00	432	6,55	24,06	10392,41	10,39
4:35	9,00	432	6,55	24,06	10392,41	10,39
Promedio	8,8					10,10
Nov. 30 Hora	Altura (cm)	Área (cm²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm³/s)	Caudal (l/s)
8:25	6,50	312	5,11	20,41	6367,62	6,37
8:55	7,00	336	5,42	21,21	7127,06	7,13
9:25	7,00	336	5,42	21,21	7127,06	7,13
9:55	6,50	312	5,11	20,41	6367,62	6,37
10:25	7,00	336	5,42	21,21	7127,06	7,13
10:55	6,50	312	5,11	20,41	6367,62	6,37
11:25	6,50	312	5,11	20,41	6367,62	6,37
1:35	7,00	336	5,42	21,21	7127,06	7,13
2:05	8,00	384	6,00	22,70	8717,09	8,72
2:35	6,50	312	5,11	20,41	6367,62	6,37
3:05	7,00	336	5,42	21,21	7127,06	7,13
3:35	6,50	312	5,11	20,41	6367,62	6,37
4:05	7,00	336	5,42	21,21	7127,06	7,13
Promedio	6,8					6,90

Para el molino farrel, durante el día 27 de noviembre, la altura de la lámina de agua varió entre 7.0 cm y 8.0 cm, presentando un valor promedio de 8.8 cm, un valor máximo de 11.5 cm y, un valor mínimo de 7.0 cm (Tabla 6). Los valores bajos están asociados a los regueros de agua de enfriamiento de las coronas del molino y, los valores altos a la limpieza de pisos.

El día 28 de noviembre, la altura de lámina de agua varió entre 9.0 cm y 11.0 cm, presentando un valor promedio de 10.4 cm, un valor máximo de 12.0 cm y un valor mínimo de 9.0 cm. Los valores bajos están asociados al desperdicio de agua de enfriamiento de las coronas del molino y, los valores altos al uso de mangueras para la limpieza del carcamo del molino.

El día 29 de noviembre, la altura de lámina de agua varió entre 10.0 cm y 8.0 cm, presentando un valor promedio de 8.2 cm, un valor máximo de 10 cm y, un valor mínimo de 5.0 cm. Los valores bajos están asociados a las horas de descanso de los trabajadores y, los valores altos al aumento de los desbordes de agua de enfriamiento de las coronas del molino.

El día 30 de noviembre, la altura de lámina de agua varió entre 9.0 cm y 11.0 cm, presentando un valor promedio 10.7 cm, un valor máximo de 13.0 cm y, un valor mínimo de 7.5 cm. Los valores bajos están asociados a la disminución del volumen de agua por el uso de mangueras y, los valores altos a la limpieza de pisos.

**Tabla 6. Medición de láminas de agua en el molino farrel
noviembre 27-30/06**

Nov. 27 Hora	Altura (cm)	Área (cm²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm³/s)	Caudal (l/s)
1:30	7,00	350	5,47	14,12	4943,24	4,94
2:00	11,00	550	7,64	17,65	9706,61	9,71
2:30	9,50	475	6,88	16,47	7821,22	7,82
3:00	11,50	575	7,88	18,01	10357,36	10,36
3:30	7,00	350	5,47	14,12	4943,24	4,94
4:00	7,50	375	5,77	14,64	5488,59	5,49
4:30	8,00	400	6,06	15,12	6050,00	6,05
Promedio	8,8					7,04
Nov. 28 Hora	Altura (cm)	Área (cm²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm³/s)	Caudal (l/s)
8:30	9,00	450	6,62	16,04	7217,16	7,22
9:00	10,00	500	7,14	16,88	8437,93	8,44
9:30	9,50	475	6,88	16,47	7821,22	7,82
10:00	10,50	525	7,39	17,27	9066,60	9,07
10:30	11,50	575	7,88	18,01	10357,36	10,36
11:00	10,00	500	7,14	16,88	8437,93	8,44
11:30	10,50	525	7,39	17,27	9066,60	9,07
1:30	10,00	500	7,14	16,88	8437,93	8,44
2:00	11,50	575	7,88	18,01	10357,36	10,36
2:30	10,00	500	7,14	16,88	8437,93	8,44
3:00	12,00	600	8,11	18,36	11018,32	11,02
3:30	10,00	500	7,14	16,88	8437,93	8,44
4:00	11,00	550	7,64	17,65	9706,61	9,71
Promedio	10,4					8,98
Nov. 29 Hora	Altura (cm)	Área (cm²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm³/s)	Caudal (l/s)
9:00	10,00	500	7,14	16,88	8437,93	8,44
9:40	10,00	500	7,14	16,88	8437,93	8,44
10:10	9,50	475	6,88	16,47	7821,22	7,82
10:40	9,00	450	6,62	16,04	7217,16	7,22
11:10	5,00	250	4,17	11,78	2945,44	2,95
11:40	5,00	250	4,17	11,78	2945,44	2,95
2:00	9,50	475	6,88	16,47	7821,22	7,82
2:30	9,50	475	6,88	16,47	7821,22	7,82
3:00	8,00	400	6,06	15,12	6050,00	6,05
3:30	7,00	350	5,47	14,12	4943,24	4,94
4:00	7,50	375	5,77	14,64	5488,59	5,49
4:30	8,00	400	6,06	15,12	6050,00	6,05
Promedio	8,2					6,33

Continuación Tabla 6.

Nov. 30 Hora	Altura (cm)	Área (cm ²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm ³ /s)	Caudal (l/s)
8:20	9,0	450	6,62	16,04	7217,16	7,22
8:50	9,5	475	6,88	16,47	7821,22	7,82
9:20	12,0	600	8,11	18,36	11018,32	11,02
9:50	11,0	550	7,64	17,65	9706,61	9,71
10:20	11,5	575	7,88	18,01	10357,36	10,36
10:50	10,0	500	7,14	16,88	8437,93	8,44
11:20	11,5	575	7,88	18,01	10357,36	10,36
1:30	7,5	375	5,77	14,64	5488,59	5,49
2:00	13,0	650	8,55	19,03	12368,9	12,37
2:30	11,5	575	7,88	18,01	10357,36	10,36
3:00	10,0	500	7,14	16,88	8437,93	8,44
3:30	12,0	600	8,11	18,36	11018,32	11,02
4:00	11,0	550	7,64	17,65	9706,61	9,71
Promedio	10,7					9,41

En el proceso de refinería, durante el día 27 de noviembre, la altura de la lámina de agua varió entre 22.5 cm y 21.0 cm, presentando un valor promedio de 22.0 cm, un valor máximo de 24.0 cm y, un valor mínimo de 21.0 cm (Tabla 7). Los valores bajos están asociados a las horas de descanso de los trabajadores y cambios de turno y, los valores altos a la limpieza de pisos que contenían material azucarado.

El día 28 de noviembre, la altura de lámina de agua varió entre 16.0 cm y 13.0 cm, presentando un valor promedio de 16.0 cm, un valor máximo de 20.5 cm y, un valor mínimo de 12.0 cm. Los valores bajos están asociados a las horas de descanso de los trabajadores, cambios de turno y a la disminución del volumen de agua por el uso de mangueras y, los valores altos a horas de limpieza del sitio de trabajo.

El día 29 de noviembre, la altura de lámina de agua varió entre 20.0 cm y 16.0 cm, presentando un valor promedio de 17.0 cm, un valor máximo de 20.0 cm y, un valor mínimo de 15.0. Los valores bajos están asociados a la disminución del volumen de agua por el uso de mangueras y cambios de turno y, los valores altos a la pérdida de agua industrial por pruebas hidrostáticas en los tachos.

El día 30 de noviembre, la altura de lamina de agua varió entre 22.0 cm y 24.0 cm, presentando un valor promedio 25.3 cm, un valor máximo de 32.5 cm y, un valor mínimo de 18.0 cm. Los valores bajos están asociados a la disminución del volumen de agua por el uso de mangueras y los cambios de turno de los trabajadores y, los valores altos a la limpieza de pisos que contenían material azucarado.

Tabla 7. Medición de láminas de agua en refinería noviembre 27-30/06

Nov. 27 Hora	Altura (cm)	Area (cm ²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm ³ /s)	Caudal (l/s)
1:45	22,50	855	10,30	39,48	33753,19	33,75
2:15	23,00	874	10,40	39,74	34734,11	34,73
2:45	24,00	912	10,60	40,25	36707,02	36,71
3:15	22,00	836	10,20	39,21	32776,15	32,78
3:45	21,00	798	9,98	38,64	30834,35	30,83
4:15	21,00	798	9,98	38,64	30834,35	30,83
4:45	21,00	798	9,98	38,64	30834,35	30,83
Promedio	22,0					32,92
Nov. 28 Hora	Altura (cm)	Area (cm ²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm ³ /s)	Caudal (l/s)
8:45	16,00	608	8,69	35,23	21422,19	21,42
9:15	14,00	532	8,06	33,52	17833,92	17,83
9:45	16,00	608	8,69	35,23	21422,19	21,42
10:15	18,00	684	9,24	36,73	25120,54	25,12
10:45	20,00	760	9,74	38,04	28910,10	28,91
11:15	20,50	779	9,86	38,34	29869,94	29,87
11:45	19,00	722	9,50	37,40	27004,92	27,00
1:45	18,00	684	9,24	36,73	25120,54	25,12
2:15	12,00	456	7,35	31,54	14380,38	14,38
2:45	12,00	456	7,35	31,54	14380,38	14,38
3:15	17,00	646	8,97	36,00	23258,90	23,26
3:45	13,00	494	7,72	32,57	16088,48	16,09
4:15	13,00	494	7,72	32,57	16088,48	16,09
Promedio	16,0					21,61
Nov. 29 Hora	Altura (cm)	Area (cm ²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm ³ /s)	Caudal (l/s)
9:15	20,00	760	9,74	38,04	28910,10	28,91
9:55	19,00	722	9,50	37,40	27004,92	27,00
10:25	16,00	608	8,69	35,23	21422,19	21,42
10:55	17,00	646	8,97	36,00	23258,90	23,26
11:25	15,00	570	8,38	34,41	19612,92	19,61
2:15	17,00	646	8,97	36,00	23258,90	23,26
2:55	17,00	646	8,97	36,00	23258,90	23,26
3:15	16,00	608	8,69	35,23	21422,19	21,42
3:55	16,50	627	8,83	35,63	22337,28	22,34
4:15	16,00	608	8,69	35,23	21422,19	21,42
Promedio	17,0					23,19

Continuación Tabla 7.

Nov. 30 Hora	Altura (cm)	Area (cm ²)	R (m)	Velocidad (cm/s)	Caudal (cm ³ /s)	Caudal (l/s)
8:35	22,0	836	10,2	39,21	32776,15	32,78
9:05	27,0	1026	11,15	41,62	42704,84	42,7
9:35	25,0	950	10,8	40,73	38693,76	38,69
10:05	28,0	1064	11,32	42,04	44727,45	44,73
10:35	26,0	988	10,98	41,19	40693,33	40,69
11:05	26,5	1007	11,07	41,41	41697,65	41,7
11:35	26,0	988	10,98	41,19	40693,33	40,69
1:45	18,0	684	9,24	36,73	25120,54	25,12
2:15	32,5	1235	11,99	43,68	53948,18	53,95
2:45	26,0	988	10,98	41,19	40693,33	40,69
3:15	24,0	912	10,6	40,25	36707,02	36,71
3:45	24,0	912	10,6	40,25	36707,02	36,71
4:15	24,0	912	10,6	40,25	36707,02	36,71
Promedio	25,3					39,37

7.1.2. Diseño de formato para alícuotas. De acuerdo con los formatos para alícuotas en los diferentes procesos de producción de azúcar, el proceso molino fulton II presento un volumen de alícuota mayor con respecto a los otros procesos, por presentar valores de caudal más altos y, una pendiente mayor en el canal de aguas residuales. A diferencia del proceso de elaboración que presento un volumen de alícuota menor, valores de caudal más bajos y una pendiente menor en los canales.

El proceso de refinería, presento un valor de altura menor con respecto a los otros procesos. A partir de una altura de 5 cm, se observa que el volumen de la alícuota es mayor con respecto al proceso de elaboración.

A continuación se presentan los resultados de la altura (cm), el caudal (l/s) y alícuotas (ml) para los procesos: molino fulton II, molino farrel, elaboración y refinería (Tabla 8, 9, 10 y 11).

Tabla 8. Formato de alícuotas para el molino fulton II.

Altura (cm)	Caudal (l/s)	Volumen alícuota (ml)	Altura (cm)	Caudal (l/s)	Volumen alícuota (ml)
5,00	4,3	66	23,00	39,2	613
5,50	4,9	77	23,50	40,4	630
6,00	5,6	88	24,00	41,5	648
6,50	6,4	99	24,50	42,7	667
7,00	7,1	111	25,00	43,8	685
7,50	7,9	124	25,50	45,0	703
8,00	8,7	136	26,00	46,2	721
8,50	9,5	149	26,50	47,3	739
9,00	10,4	162	27,00	48,5	758
9,50	11,3	176	27,50	49,7	776
10,00	12,1	190	28,00	50,9	795
10,50	13,0	204	28,50	52,1	813
11,00	14,0	218	29,00	53,3	832
11,50	14,9	233	29,50	54,5	851
12,00	15,8	247	30,00	55,7	870
12,50	16,8	262	30,50	56,9	888
13,00	17,8	278	31,00	58,1	907
13,50	18,8	293	31,50	59,3	926
14,00	19,8	309	32,00	60,5	945
14,50	20,8	324	32,50	61,7	964
15,00	21,8	340	33,00	62,9	983
15,50	22,8	356	33,50	64,2	1002
16,00	23,8	373	34,00	65,4	1021
16,50	24,9	389	34,50	66,6	1041
17,00	26,0	405	35,00	67,8	1060
17,50	27,0	422	35,50	69,1	1079
18,00	28,1	439	36,00	70,3	1098
18,50	29,2	456	36,50	71,6	1118
19,00	30,3	473	37,00	72,8	1137
19,50	31,4	490	37,50	74,0	1157
20,00	32,5	507	38,00	75,3	1176
20,50	33,6	524	38,50	76,5	1195
21,00	34,7	542	39,00	77,8	1215
21,50	35,8	559	39,50	79,0	1235
22,00	36,9	577	40,00	80,3	1254
22,50	38,1	595			

Tabla 9. Formato de alícuotas para molino farrel.

Altura (cm)	Caudal (l/s)	Volumen alícuota (ml)	Altura (cm)	Caudal (l/s)	Volumen alícuota (ml)
5,00	2,9	49	23,00	27,4	460
5,50	3,4	57	23,50	28,2	473
6,00	3,9	66	24,00	29,0	487
6,50	4,4	74	24,50	29,8	501
7,00	4,9	83	25,00	30,6	514
7,50	5,5	92	25,50	31,5	528
8,00	6,0	102	26,00	32,3	542
8,50	6,6	111	26,50	33,1	556
9,00	7,2	121	27,00	33,9	570
9,50	7,8	131	27,50	34,8	584
10,00	8,4	142	28,00	35,6	598
10,50	9,1	152	28,50	36,4	612
11,00	9,7	163	29,00	37,3	626
11,50	10,4	174	29,50	38,1	640
12,00	11,0	185	30,00	39,0	654
12,50	11,7	196	30,50	39,8	668
13,00	12,4	208	31,00	40,7	683
13,50	13,1	219	31,50	41,5	697
14,00	13,8	231	32,00	42,4	711
14,50	14,5	243	32,50	43,2	726
15,00	15,2	255	33,00	44,1	740
15,50	15,9	267	33,50	44,9	754
16,00	16,6	279	34,00	45,8	769
16,50	17,4	291	34,50	46,7	783
17,00	18,1	304	35,00	47,5	798
17,50	18,8	316	35,50	48,4	813
18,00	19,6	329	36,00	49,3	827
18,50	20,4	342	36,50	50,1	842
19,00	21,1	354	37,00	51,0	856
19,50	21,9	367	37,50	51,9	871
20,00	22,7	380	38,00	52,8	886
20,50	23,4	393	38,50	53,6	901
21,00	24,2	407	39,00	54,5	915
21,50	25,0	420	39,50	55,4	930
22,00	25,8	433	40,00	56,3	945
22,50	26,6	446			

Tabla 10. Formato de alícuotas para el proceso de elaboración.

Altura (cm)	Caudal (l/s)	Volumen alícuota (ml)	Altura (cm)	Caudal (l/s)	Volumen alícuota (ml)
5,0	2,1	14	23,0	20,3	130
5,5	2,4	16	23,5	20,9	134
6,0	2,8	18	24,0	21,5	138
6,5	3,2	20	24,5	22,1	142
7,0	3,5	23	25,0	22,7	146
7,5	3,9	25	25,5	23,3	150
8,0	4,3	28	26,0	23,9	154
8,5	4,8	31	26,5	24,6	158
9,0	5,2	33	27,0	25,2	162
9,5	5,6	36	27,5	25,8	166
10,0	6,1	39	28,0	26,5	170
10,5	6,6	42	28,5	27,1	174
11,0	7,0	45	29,0	27,7	178
11,5	7,5	48	29,5	28,4	183
12,0	8,0	51	30,0	29,0	187
12,5	8,5	55	30,5	29,7	191
13,0	9,0	58	31,0	30,3	195
13,5	9,5	61	31,5	31,0	199
14,0	10,0	64	32,0	31,6	203
14,5	10,5	68	32,5	32,3	208
15,0	11,1	71	33,0	32,9	212
15,5	11,6	75	33,5	33,6	216
16,0	12,2	78	34,0	34,3	220
16,5	12,7	82	34,5	34,9	225
17,0	13,3	85	35,0	35,6	229
17,5	13,8	89	35,5	36,2	233
18,0	14,4	92	36,0	36,9	237
18,5	14,9	96	36,5	37,6	242
19,0	15,5	100	37,0	38,3	246
19,5	16,1	104	37,5	38,9	250
20,0	16,7	107	38,0	39,6	255
20,5	17,3	111	38,5	40,3	259
21,0	17,9	115	39,0	41,0	263
21,5	18,4	119	39,5	41,6	268
22,0	19,0	123	40,0	42,3	272
22,5	19,6	126			

Tabla 11. Formato de alícuotas para el proceso de refinería.

Altura (cm)	Caudal (l/s)	Volumen alícuota (ml)	Altura (cm)	Caudal (l/s)	Volumen alícuota (ml)
1,00	0,3	1	21,00	30,8	140
1,50	0,6	3	21,50	31,8	145
2,00	0,9	4	22,00	32,8	149
2,50	1,3	6	22,50	33,8	154
3,00	1,8	8	23,00	34,7	158
3,50	2,3	10	23,50	35,7	163
4,00	2,8	13	24,00	36,7	167
4,50	3,4	15	24,50	37,7	172
5,00	4,0	18	25,00	38,7	176
5,50	4,6	21	25,50	39,7	181
6,00	5,2	24	26,00	40,7	185
6,50	5,9	27	26,50	41,7	190
7,00	6,6	30	27,00	42,7	195
7,50	7,3	33	27,50	43,7	199
8,00	8,0	37	28,00	44,7	204
8,50	8,8	40	28,50	45,7	208
9,00	9,5	43	29,00	46,8	213
9,50	10,3	47	29,50	47,8	218
10,00	11,1	51	30,00	48,8	222
10,50	11,9	54	30,50	49,8	227
11,00	12,7	58	31,00	50,9	232
11,50	13,5	62	31,50	51,9	236
12,00	14,4	66	32,00	52,9	241
12,50	15,2	69	32,50	53,9	246
13,00	16,1	73	33,00	55,0	250
13,50	17,0	77	33,50	56,0	255
14,00	17,8	81	34,00	57,1	260
14,50	18,7	85	34,50	58,1	265
15,00	19,6	89	35,00	59,1	269
15,50	20,5	93	35,50	60,2	274
16,00	21,4	98	36,00	61,2	279
16,50	22,3	102	36,50	62,3	284
17,00	23,3	106	37,00	63,3	288
17,50	24,2	110	37,50	64,4	293
18,00	25,1	114	38,00	65,4	298
18,50	26,1	119	38,50	66,5	303
19,00	27,0	123	39,00	67,5	308
19,50	28,0	127	39,50	68,6	312
20,00	28,9	132	40,00	69,6	317
20,50	29,9	136			

7.1.3. Parámetros físico-químicos y de calidad.

◆ **Caudal.** De acuerdo con los resultados obtenidos, para el molino Fulton II, los valores de caudal entre diciembre (06) y mayo (07) aumentaron de 7.0 l/s a 16.9 l/s, con un valor promedio de caudal de 10.4 l/s. El valor máximo de caudal se registró en el mes de mayo con 16.9 l/s y el valor mínimo en el mes de febrero con 6.4 l/s.

En el molino Farrel, los valores de caudal entre diciembre (06) y mayo (07) aumentaron de 7.0 l/s a 13.5 l/s, con un valor promedio de caudal de 9.8 l/s. El valor máximo de caudal se registró en el mes de mayo con 13.5 l/s y el valor mínimo en el mes de diciembre con 7.0 l/s

En el proceso de elaboración, los valores de caudal entre diciembre (06) y mayo (07) aumentaron de 7.5 l/s a 10.7 l/s con un valor promedio de caudal de 10.2 l/s. El valor máximo de caudal se registró en el mes de marzo con 13.4 l/s y el valor mínimo en el mes de enero con 6.9 l/s

Para el proceso de refinería, los valores de caudal entre diciembre (06) y mayo (07) disminuyeron de 21.1 l/s a 9.1 l/s, con un valor promedio de caudal de 12.1 l/s. El valor máximo de caudal se registró en el mes de diciembre con 21.1 l/s y el valor mínimo en el mes de marzo con 8.0 l/s.

El molino farrel, presentó los valores de caudal más bajos debido al uso restringido de mangueras para la limpieza del sitio de trabajo. En este proceso a diferencia del molino fulton II no se dejaba secar la suciedad y se recogían constantemente los sólidos mediante el barrido, disminuyendo el uso de mangueras en el sitio de trabajo. Por otro lado, el proceso de refinería presenta valores de caudal más altos, excepto en el mes de marzo. Los valores altos de caudal que se presentan en este proceso se deben a la generación de vertimientos líquidos por las continuas actividades de lavado y limpieza que se realizan en los diferentes equipos (tanques de licor fundido y clarificado, filtros, etc.) durante operación normal, de mantenimiento o emergencias. Estas actividades de lavado y limpieza consisten en retirar residuos (carbón, mугre, etc.) o sacarosa que se quedan adheridos en los equipos.

Los resultados de caudal muestran que en los procesos: molino farrel, molino fulton II y elaboración a medida que transcurren los meses los valores aumentan. Los aumentos de caudal se deben al excesivo uso de mangueras para la limpieza de equipos y pisos que contenían material azucarado por los continuos desbordes que se presentaron en situaciones de emergencia. Estas situaciones de emergencia se presentaron por falta de una comunicación oportuna entre operarios y jefes de cada sección. En la tabla 12 se presentan los valores de pH, SST, DBO, DQO y Q para cada uno de los procesos.

◆ **pH.** Las aguas residuales provenientes del molino Fulton II, presentaron valores de pH que variaron entre 5.9 en diciembre (06) y 6.9 en mayo (07), con un valor promedio 6.4. El valor máximo de pH fue de 6.8 en el mes de abril y el valor mínimo fue de 5.7 en el mes de enero.

En el molino Farrel, los valores de pH entre diciembre (06) y mayo (07) variaron de 9.6 a 6.3, con un valor promedio de pH de 8.5. El valor máximo de pH se registró en el mes de enero y febrero con 9.7 y el valor mínimo en el mes de diciembre con 6.3.

En el proceso de elaboración, los valores de pH entre diciembre (06) y mayo (07) variaron de 7.5 a 6.7, con un valor promedio de pH de 7.2. El valor máximo de pH se registro en el mes de febrero con 7.7 y el valor mínimo en el mes de diciembre con 6.7.

Para el proceso de refinería, los valores de pH entre diciembre (06) y mayo (07) variaron de 6.5 a 6.0, con un valor promedio de 6.3. El valor máximo de pH se registro en el mes de abril con 6.8 y el valor mínimo en el mes de marzo con 5.9.

El molino farrel, presentó los valores más altos de pH con respecto a los otros procesos, entre diciembre y febrero se registraron valores de pH mayores a 9.0 unidades, debido a las continuas mezclas de material azucarado con aguas grasas provenientes de las coronas del molino.

◆ **SST.** Las aguas residuales provenientes del molino Fulton II, presentaron valores de SST que variaron entre 8.529 mg/l en diciembre (06) y 646 mg/l en mayo (07), con un valor promedio 2.737 mg/l. El valor máximo de SST se registró en el mes de diciembre con 8.529 mg/l y el valor mínimo en el mes de mayo con 646 mg/l.

En el molino Farrel, los valores de SST variaron entre 1.222 mg/l en diciembre (06) y 1.417 en mayo (07), con un valor promedio de 1.374 mg/l. El valor máximo de SST se registró en el mes de febrero con 1.676 mg/l y un valor mínimo de 989 mg/l en el mes de enero.

En el proceso de elaboración, los valores SST variaron entre 2.579 mg/l en diciembre (06) y 955 mg/l en mayo (07), con un valor promedio de 1.734 mg/l. El valor máximo de SST se registro en el mes de marzo con 2.958 mg/l y un valor mínimo de 955 mg/l en el mes mayo.

Para el proceso de refinería, los valores de SST variaron entre 2.028 mg/l en diciembre (06) y 1.055 mg/l en mayo, con un valor promedio de 2.118 mg/l. El valor máximo se registró en el mes de marzo con 3.727 mg/l y un valor mínimo de 1.055 mg/l en mayo.

El proceso molino fulton II, presento los valores de SST más altos con respecto a los otros procesos. En el mes de diciembre se registró un valor máximo de

SST, debido al aumento en la producción de azúcar y los continuos desbordes de bagazo proveniente de las coronas de los molinos, que finalmente se mezclaban con el agua de los canales. El valor de SST registrado durante este mes, también fue generado por la cantidad de arena, bagacillo y jugo que salía del tanque de jugo pesado del molino fulton II durante operación de mantenimiento. Se observa una disminución en los valores de SST a partir del mes de enero hasta mayo, por la implementación de soluciones para reducir la contaminación de aguas.

El molino farrel a diferencia del molino fulton II, presento los valores de SST más bajos, por que no se presentaron regueros continuos de bagazo en el carcamo y en los canales que transportan el agua de enfriamiento que se utiliza en las coronas del molino.

◆ **DBO₅**. Las aguas residuales provenientes del molino Fulton II, presentaron valores de DBO₅ que variaron entre 1.813 mg/l en diciembre (06) y 1.235 mg/l en mayo (07), con un valor promedio de 2.079 mg/l. El valor máximo de DBO₅ se registró en el mes de marzo con 2.523 mg/l y el valor mínimo en el mes de mayo con 1.235 mg/l.

En el molino Farrel, los valores de DBO₅ variaron entre 4.459 mg/l en diciembre (06) y 2.322 mg/l en mayo (07), con un valor promedio de 3.540 mg/l. El valor máximo de DBO₅ se registró en el mes de marzo con 5.343 mg/l y el valor mínimo en el mes de mayo con 2.322 mg/l.

En el proceso de elaboración, los valores DBO₅ variaron entre 10.362 mg/l en diciembre (06) y 4.877 mg/l en mayo (07), con un valor promedio de 7.946 mg/l. El valor máximo de DBO₅ se registró en el mes de abril con 12.312 mg/l y el valor mínimo en el mes de enero con 4.576 mg/l.

Para el proceso de refinería, los valores de DBO₅ variaron entre 15.545 mg/l en diciembre (06) y 18.572 mg/l en mayo (07), con un valor promedio de 15.591 mg/l. El valor máximo de DBO₅ se registró en el mes de mayo con 18.572 mg/l y el valor mínimo en el mes de febrero con 12.413 mg/l.

Los diferentes procesos de producción de azúcar presentaron valores altos de DBO₅ por que las aguas residuales están constituidas por todos los desechos líquidos originados en las operaciones y en los procesos de fabricación.

El proceso de refinería presentó los valores más altos de DBO₅, por la generación de agua dulce por el lavado de equipos, generación de vertimientos líquidos por derrame de licor, remoción de sacarosa de los tubos y cuerpo del evaporador, entre otros.

El molino fulton II presento valores de DBO₅ más bajos con respecto a los otros procesos. Entre los meses de diciembre a marzo, se registraron valores altos de DBO₅ debido a la contaminación de aguas generada por los derrames de material azucarado de los tanques de maceración, por la mezcla de material

azucarado con grasas de las coronas de los molinos y por los desechos originados por la limpieza de equipos.

◆ **DQO.** Las aguas residuales provenientes del molino Fulton II, presentaron valores de DQO que variaron de 4.601 kg/día en diciembre (06) a 2.475 kg/día en mayo (07), con un valor promedio de 2.877 kg/día. El valor máximo de DQO se registró en el mes de diciembre 4.601 kg/día y el valor mínimo en el mes de febrero con 1.985 kg/día.

En el molino Farrel, los valores DQO variaron entre 7.301 kg/día en diciembre (06) y 7.400 kg/día en mayo (07), con un valor promedio de 6.079 kg/día. El valor máximo de DQO se registró en el mes de mayo con 7.400 kg/día y un valor mínimo en el mes de febrero con 3.838 kg/día.

En el proceso de elaboración, los valores DQO variaron entre 12.891 kg/día en diciembre (06) y 6.680 kg/día en mayo (07), con un valor promedio de 12.491 kg/día. El valor máximo de DQO se registró en el mes de abril con 20.792 kg/día y el valor mínimo en el mes de mayo con 6.680 kg/día.

Para el proceso de refinería, los valores de DQO variaron entre 144.445 kg/día en diciembre (06) y 46.826 kg/día en mayo (07), con un valor promedio de 76.255 kg/día. El valor máximo de DQO se registró en el mes de diciembre con 144.445 kg/día y un valor mínimo de en el mes de mayo con 46.826 kg/día.

El proceso de refinería presentó valores de DQO más altos, durante los meses de diciembre y abril, por los desechos de carbón activado provenientes de los filtros que se arrojaban a los canales de aguas residuales, por las perdidas de sacarosa por efluente y, por las actividades de lavado y limpieza de equipos.

En el mes de mayo los valores de DQO disminuyeron por que se suspendió el uso del carbón activado en los filtros para la clarificación del jugo debido a la contaminación de aguas que se generaba por los residuos provenientes de los filtros.

Los valores de DQO en el molino fulton II y el molino farrel, se encontraron por fuera del rango histórico para INCAUCA S.A (molino fulton II y el molino farrel 500-1.000 kg/día y, proceso de elaboración y refinería 1.000-2.000 kg/día).

El proceso molino fulton II presentó valores de DQO más bajos con respecto a los otros procesos. Durante los meses de diciembre y enero, se observa que el molino fulton II registró valores de DQO altos, por que se presentaron problemas de contaminación de agua por la perdida de material azucarado del carcamo del molino, perdida de material azucarado del tanque de jugo pesado, presencia de grasas de torres de enfriamiento del tanque de 3.000 gpm, desborde de material azucarado en la parte inferior de los platos del molino, etc. Entre los meses de febrero a mayo, los valores de DQO disminuyeron por que se comenzaron a implementar soluciones en el proceso para reducir la contaminación de aguas.

El molino fulton II y el molino farrel, presentaron valores de DQO más bajos con respecto a los procesos de refinería y elaboración, por que estos procesos disponen de pocos equipos y no están conformados por subprocesos, los cuales aportan alta carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.

Tabla 12. Medición de parámetros físico-químicos y de calidad en los diferentes procesos.

MESES DE MUESTREO	MOLINO FULTON II						MOLINOFARREL						ELABORACIÓN						REFINERÍA					
	Q (l/s)	pH	SST (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	Carga DQO (Kg/dia)	Q (l/s)	pH	SST (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	Carga DQO (Kg/dia)	Q (l/s)	pH	SST (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	Carga DQO (Kg/dia)	Q (l/s)	pH	SST (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	Carga DQO (Kg/dia)
Diciembre	7,0	5,9	8.529	1.813	7.607	4.601	7,0	9,6	1.222	4.459	12.072	7.301	7,5	7,5	2.579	10.362	19.893	12.891	21,1	6,5	2.028	15.545	79.233	144.445
Enero	7,3	5,7	2.086	2.356	4.889	3.084	7,3	9,7	989	3.124	10.546	6.652	6,9	7,3	1.543	4.576	14.316	8.535	8,3	6,3	1.112	14.663	93.990	67.402
Febrero	6,4	6,6	2.081	1.823	3.589	1.985	9,0	9,7	1.676	3.465	4.936	3.838	10,9	7,7	1.148	6.723	19.269	18.147	9,6	6,5	3.473	12.413	77.939	64.646
Marzo	9,7	6,4	1.089	2.523	3.263	2.735	10,9	7,3	1.525	5.343	7.197	6.778	13,4	7,0	2.958	4.823	6.825	7.902	8,0	5,9	3.727	18.528	85.573	59.148
Abril	15,2	6,8	1.990	1.723	1.815	2.384	11,0	8,2	1.413	2.527	4.740	4.505	11,7	6,9	1.222	12.312	20.568	20.792	16,5	6,8	1.314	13.827	52.652	75.061
Mayo	16,9	6,9	646	1.235	1.695	2.475	13,5	6,3	1.417	2.322	6.344	7.400	10,7	6,7	955	4.877	7.226	6.680	9,1	6,0	1.055	18.572	59.557	46.826
PROMEDIO	10,4	6,4	2.737	1.912	3.810	2.877	9,8	8,5	1.374	3.540	7.639	6.079	10,2	7,2	1.734	7.279	14.683	12.491	12,1	6,3	2.118	15.591	74.824	76.255

7.2. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS CONTAMINANTES

Proceso Molino Fulton II. En el proceso molino fulton II los equipos que aportan carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales son: el foso de aguas grasas y azucaradas, tanques de jugo pesado, tanque de maceración, turbinas, molinos y torres de enfriamiento.

El foso de aguas grasas y azucaradas, turbinas, molinos y torres de enfriamiento, contaminan el agua durante operación normal. En operación de mantenimiento el tanque de jugo pesado y en operación de emergencia el tanque de maceración. Las aguas residuales provenientes de estos equipos presentan material azucarado, arena, agua dulce y grasas (Tabla 13).

Proceso Molino Farrel. En el proceso molino farrel los equipos que aportan carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales son: el foso de aguas grasas y azucaradas, bomba de trampa grasa, tanque de maceración, turbinas y molinos.

El foso de aguas grasas y azucaradas, las turbinas y molinos, contaminan el agua durante operación normal. En operación de emergencia la bomba de trampa grasas y tanque de maceración. Las aguas residuales provenientes de estos equipos presentan material azucarado, agua dulce y grasas (Tabla 14).

Proceso Elaboración. En el proceso de elaboración los equipos que aportan carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales son: torres de sulfitación, tanques dosificadores, tanques de jugo de alcalizado, tanques flash, clarificadores, bombas de vacío, filtros, bateas, bandas, tanques de cachaza, tanque de jugo filtrado, clarificador, evaporador, calandrias de los evaporadores, cristalizadores de masas A, B y C, centrifugas y tolvas de 50 y 25 kg.

El tanques de jugo de alcalizado, bombas de vacío, tanque de jugo filtrado, clarificador y los cristalizadores de masas A, B y C, contaminan el agua durante operación normal. En operación de mantenimiento las torres de sulfitación, tanques dosificadores, filtros, bateas, bandas, tanques de jugo filtrado, evaporador, calandrias de los evaporadores, clarificador, cristalizadores de masas A, B y C y tolvas de 50 y 25 kg. Y, en operación de emergencias los tanques flash, clarificador, tanques de cachaza, tanque de jugo filtrado, cristalizadores de masas A, B y C y las centrifugas. Las aguas residuales provenientes de estos equipos presentan material azucarado, espuma, bagazo, lodos de cachaza, soda cáustica y partículas en suspensión (Tabla 15).

Proceso refinería. En el proceso de refinería los equipos que aportan carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales son: el tanque de licor fundido, tanque de reacción, tanque de licor clarificado, filtros, estanques de enfriamiento, evaporador, calandrias de los evaporadores, centrifugas y mezcladores.

El tanque de licor fundido, tanque de licor clarificado, el estanque de enfriamiento, contaminan el agua durante operación normal. En operación de mantenimiento el tanque de licor fundido, filtros, evaporador, calandria de los evaporadores y las centrífugas y, en operación de emergencia el tanque de reacción y los agua dulce, condensados, sacarosa, soda cáustica y masa cocida o sirope (Tabla 16).

Tabla 13. Equipos que aportan carga contaminante en el molino fulton II.

PROCESO: MOLINO FULTON II					
SUBPROCESO	EQUIPOS	CONTAMINACIÓN DE AGUA	ESTADO DE OPERACIÓN		
			NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
Molienda de caña de azúcar	Foso de material Azucarado	Vertimientos de material azucarado	X		
	Foso de aguas grasas	Vertimientos de aguas con grasa	X		
	Tanque de jugo pesado	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza del sitio de trabajo (arena y agua dulce)		X	
	Tanques de maceración	Vertimientos de material azucarado por desborde de los tanques de maceración			X
	Turbinas y molinos	Generación de vertimientos líquidos con grasa por el uso de lubricantes en el sistema de turbinas y molinos	X		
	Torres de enfriamiento	Generación de vertimientos líquidos con grasa, provenientes de las torres de enfriamiento	X		

Tabla 14. Equipos que aportan carga contaminante en el molino farrel.

PROCESO: MOLINO FARREL					
SUBPROCESO	EQUIPOS	CONTAMINACIÓN DE AGUA	ESTADO DE OPERACIÓN		
			NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
Molienda de caña de azúcar	Foso de aguas grasas y azucaradas	Vertimientos de material azucarado	X		
	Bomba de trampa de grasas	Contaminación con grasa de las aguas de enfriamiento tratadas por deficiencia de la bomba de trampa de grasa			X
	Tanques de maceración	Vertimientos de material azucarado por desborde de los tanques de maceración			X
	Turbinas y molinos	Generación de vertimientos líquidos con grasa por el uso de lubricantes en el sistema de turbinas y molinos	X		

Tabla 15. Equipos que aportan carga contaminante en elaboración.

PROCESO: ELABORACIÓN					
SUBPROCESO	EQUIPOS	CONTAMINACIÓN DE AGUA	ESTADO DE OPERACIÓN		
			NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
Sulfatación de jugo	Torres de sulfatación	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza de las torres de sulfatación		X	
Preparación de lechada de Cal	Tanques Dosificadores	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza de tanques dosificadores		X	
Alcalización de jugo	Tanques de jugo alcalizado	Generación de vertimientos líquidos en la limpieza del sitio de trabajo y sistema de enfriamiento	X		
	Tanques de jugo alcalizado	Derrame de jugo por falla de las bombas en el tanque de jugo alcalizado, por falla en el sistema eléctrico			X
	Tanques de jugo alcalizado	Generación de vertimiento líquido por formación de espuma	X		
	Tanques de jugo alcalizado	Derrame de jugo en el tanque de alcalización por taponamiento con bagazo en los tubos de los calentadores primarios			X
	Tanques de jugo alcalizado	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza de equipos		X	

Continuación Tabla 15.

PROCESO: ELABORACIÓN					
SUBPROCESO	EQUIPOS	CONTAMINACIÓN DE AGUA	ESTADO DE OPERACIÓN		
			NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
	Tanques flash	Derrame de jugo por la parte superior de los tanques flash ocasionada por exceso de flujo hacia los clarificadores			X
	Clarificadores	Generación de vertimiento líquido por la liquidación de un clarificador debido a problemas de agitación por altos niveles de cachaza			X
Filtración de cachaza	Bombas de vacío	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza del sitio de trabajo, bombas de vacío	X		
	Filtros, bateas, bandas	Generación de vertimientos líquidos durante el lavado de filtros, bateas, bandas		X	
	Tanques de cachaza	Desborde de lodos al suelo por el taponamiento de la tubería de cachaza o por falla en las bombas del mezclador de cachaza			X
Clarificación de jugo filtrado	Tanque de jugo filtrado	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza del sitio de trabajo, preparación de floculante y en sistemas de enfriamiento	X		
	Tanque de jugo filtrado	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza de equipos		X	

Continuación Tabla 15.

PROCESO: ELABORACIÓN					
SUBPROCESO	EQUIPOS	CONTAMINACIÓN DE AGUA	ESTADO DE OPERACIÓN		
			NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
	Tanque de jugo filtrado	Vertimiento de jugo por desborde en el tanque de jugo filtrado por falla en las bombas			X
Clarificación de jugo filtrado	Clarificador	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza del lodo acumulado en el fondo del clarificador	X		
Evaporadores de jugo	Evaporador	Generación de vertimientos líquidos por enjuague y remoción de sacarosa de los tubos y cuerpo del evaporador		X	
	Evaporador	Vertimiento de soda cáustica líquida por la limpieza química de los evaporadores		X	
	Calandrias de los evaporadores	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza mecánica de las calandrias de los evaporadores (contiene partículas en suspensión)		X	
Clarificación de jarabe	Clarificador	Generación de vertimientos líquidos por limpieza del sitio de trabajo	X		
	Clarificador	Generación de vertimientos líquidos por lavado del clarificador		X	
	Clarificador	Derrame de material caliente por rotura de la tubería que lo transporta			X

Continuación Tabla 15.

PROCESO: ELABORACIÓN					
SUBPROCESO	EQUIPOS	CONTAMINACIÓN DE AGUA	ESTADO DE OPERACIÓN		
			NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
Cristalización	Cristalizadores de masa A, B y C	Fuga de masa por los ejes de cristalizadores de masa A, B y C	X		
	Cristalizadores de masa A, B y C	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza mecánica de equipos		X	
	Cristalizadores de masa A, B y C	Desborde de la masa al piso, por falla en el sistema eléctrico y/o hidráulico de la válvula de descargue del tacho			X
	Cristalizadores de masa A, B y C	Fuga de magma o material azucarado	X		
	Cristalizadores de masa A, B y C	Derrame de miel por falla en bombas			X
	Centrifugas	Desborde de masa o magma por falla en centrifugas, gusano o banda transportadora de azúcar, elevadores de azúcar a secadoras			X
Envase de azúcar	Tolvas de 50 y 25 Kg	Generación de vertimientos líquidos por limpieza de tolvas de 50 y 25 Kg		X	

Tabla 16. Equipos que aportan carga contaminante en refinería.

PROCESO: REFINERIA					
SUBPROCESO	EQUIPOS	CONTAMINACIÓN DE AGUA	ESTADO DE OPERACIÓN		
			NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
Fundido de azúcar	Tanques de licor fundido	Generación de vertimientos por desborde de los tanques de licor fundido	X		
	Tanques de licor fundido	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza del sitio de trabajo		X	
	Tanques de licor fundido	Generación de agua dulce por lavado de los equipos		X	
	Tanques de reacción	Generación de vertimientos líquidos por desborde de los tanques de reacción			X
Clarificación de Licor Fundido	Tanques de licor clarificado	Generación de vertimientos de licor por desborde de los tanques	X		
Decoloración del licor	Filtros	Generación de agua dulce por el lavado del tanque y del carbón contenido en el tanque		X	

Continuación Tabla 16.

PROCESO: REFINERIA					
SUBPROCESO	EQUIPOS	CONTAMINACIÓN DE AGUA	ESTADO DE OPERACIÓN		
			NORMAL	MANTENIMIENTO	EMERGENCIA
Evaporadores de licor fino	Estanques de enfriamiento	Generación de vertimiento por excedentes de condensados y/o por rebose de estanques de enfriamiento	X		
	Evaporador	Generación de vertimientos líquidos por enjuague y remoción de sacarosa de los tubos y cuerpo del evaporador		X	
	Evaporador	Vertimiento de soda cáustica líquida por la limpieza química de los evaporadores		X	
	Calandrias de los evaporadores	Generación de vertimientos líquidos por la limpieza mecánica de las calandrias de los evaporadores. El vertimiento lleva partículas en suspensión		X	
Centrifugación de azúcar	Centrifugas	Generación de vertimientos líquidos por el lavado del sitio de trabajo		X	
	Centrifugas	Generación de agua dulce durante el lavado de los equipos de las centrifugas		X	
	Mezcladores	Derrame de masa cocida o siropes por desborde en los mezcladores			X

7.3. FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS

• **Molino Fulton II.** En el molino Fulton II, se recomienda desarrollar las siguientes actividades:

◆ Conducir el agua con grasa que sale del carcomo del molino fulton Yacia la trampa de grasas, para evitar la mezcla con el material azucarado.

◆ Conducir los desbordes que se presentan en el tanque de jugo pesado hacia el tanque de maceración No 6, para reducir la contaminación de aguas por la perdida de material azucarado.

◆ Implementar el filtro rotativo tromel con el fin de extraer o separar el bagacillo del jugo, para evitar la mezcla con el material azucarado en el carcomo del molino,

◆ Poner en operación el sistema de recuperación de aguas azucaradas hacia el tanque de maceración No 6, con el fin de recuperar el material azucarado del carcomo del molino fulton II.

◆ Evaluar las modificaciones requeridas en el tanque de recuperación de aguas de enfriamiento, garantizando su revisión, control y mantenimiento, para reducir la contaminación de agua con grasa que se presenta por los continuos desbordes.

◆ Empaquetar bombas No 1 del tanque de jugo pesado, para evitar la contaminación de aguas por fugas de jugo por la prensaestopas.

◆ De las estrategias propuestas, se implementaron: conducción de los desbordes que se presentan en el tanque de jugo pesado hacia el tanque de maceración No 6, conducción del agua con grasa que sale del carcomo del molino fulton II hacia la trampa de grasas y, operación del sistema de recuperación de aguas azucaradas hacia el tanque de maceración No 6. Las otras estrategias no se implementaron por que se requería de inversiones en cambios tecnológicos.

Tabla 17. Matriz de situaciones ambientales para el molino fulton II.

PROCESO	SEM	Fecha de identificación	Problema	Solución propuesta	Solución implementada	Responsable	Estado
Molino Fulton II	2	05/01/2007	Perdida de material azucarado por mezcla con grasa en el carcamo del Molino Fulton II	Conducir el agua con grasa que sale del carcamo del molino Fulton II hacia la trampa de grasas	Solicitud de bomba sumergible para repuesto de los dos sistemas Aumento de pendiente hacia el foso de aguas con aceites Se cambiara lubricante de bronces y coronas	F. García	2
Molino Fulton II	2	04/01/2007	Perdida de material azucarado de tanques de jugo pesado del Molino Fulton II	Conducir los desbordes que se presentan en el tanque de jugo pesado hacia el tanque de maceración No 6.	Se sellaron las tolvas del tanque de jugo pesado, para hacer un nuevo piso al fondo del tanque y no arrojar más jugo ni arena cuando haya liquidación	F. García	3
Molino Fulton II	7	12/02/2007	Presencia de bagacillo en el carcamo del molino fulton II	Implementar filtro rotativo tropel con el fin de extraer o separar el bagacillo del jugo		F. García	1
Molino Fulton II	7	12/02/2007	Continua la perdida de material azucarado del carcomo del molino fulton II hacia las lagunas	Poner en operación el sistema de recuperación de aguas azucaradas hacia el tanque de maceración No 6	Aumento de pendientes hacia el foso de aguas azucaradas Bombeo con vapor para recuperar aguas dulces hacia el tanque No 6	F. García	3

Continuación Tabla 17.

PROCESO	SEM	Fecha de identificación	Problema	Solución propuesta	Solución implementada	Responsable	Estado
Molino Fulton II	10	05/03/2007	Presencia de grasas en torres de enfriamiento de 3.000 gpm	Evaluar modificaciones requeridas en el tanque de recuperación de aguas de enfriamiento, garantizando su revisión, control y mantenimiento		F. García R. Uchima	1
Molino Fulton II	16	18/04/2007	Envío de material azucarado hacia las lagunas por fugas de jugo por la prensaestopas en la bomba No 1 de jugo pesado	Empaquetar bombas No 1 del tanque de jugo pesado		F. García	1

- **Molino Farrel.** En el molino Farrel, se recomienda implementar las siguientes estrategias:

- ◆ Recubrir en acero inoxidable las paredes de los carcamos de elevadores de azúcar, para evitar la pérdida de material azucarado.

- ◆ Independizar el foso de aguas con grasas del foso de material azucarado, con el fin de reducir la contaminación de aguas que se presenta por la mezcla de material azucarado de los desbordes del tanque de maceración con las aguas grasas provenientes de las coronas de los molinos.

- ◆ Colocar una flota a nivel de la motobomba eléctrica para retornar el material azucarado hacia el tanque de jugo crudo, para evitar la contaminación de aguas por la pérdida de material azucarado.

- ◆ Revisar bomba de evacuación de grasa e instalar bomba de repuesto, con el fin de reducir la contaminación con grasa de las aguas de enfriamiento tratadas.

- ◆ Reparación o cambio de válvula de tubería de retorno en el tanque de la trampa de grasas y evaluar cambio de tubería de salida de las bombas de la trampa de grasas en un mismo diámetro, con el fin de reducir la pérdida de aguas de enfriamiento.

- ◆ Establecer controles para garantizar el funcionamiento del sistema de recuperación de material azucarado, con el fin de reducir la contaminación de aguas por los desbordes de material azucarado en los tanques de jugo crudo.

- ◆ Revisar y reparar la bomba de la trampa de grasas de agua de enfriamiento del molino farrel, instalación de bomba de repuesto e implementar práctica para recuperación de grasas, con el fin de reducir la contaminación de aguas con grasas.

- ◆ En este proceso a diferencia del molino Fulton II, no se implementaron las estrategias propuestas debido a la falta de presión por parte de la alta gerencia con el jefe del molino farrel.

Tabla 18. Matriz de situaciones ambientales para el molino farrel.

PROCESO	SEM	Fecha de identificación	Problema	Solución propuesta	Solución implementada	Responsable	Estado
Molino Farrel	1	04/01/2007	Mezcla de material azucarado con agua que contienen grasas en el carcamo del molino.	Independizar foso de manejo de grasas del foso de material azucarado		R. Rivera	1
Molino Farrel	7	04/01/2007	Perdida de material azucarado del carcamo del Molino Farrel	Colocar flota a nivel de la motobomba eléctrica para retornar el material azucarado hacia el tanque de jugo crudo	Se instalo flota de nivel de la motobomba eléctrica para retornar el material azucarado hacia el tanque de jugo crudo	R. Rivera	3
Molino Farrel	7	14/02/2007	Contaminación con grasa de las aguas de enfriamiento tratadas por deficiencia de la bomba de la trampa de grasas.	Revisar bomba de evacuación de grasa Instalar bomba de repuesto		R. Rivera R. Uchima A. Lorza R. Ordoñez	1
Molino Farrel	9	02/03/2007	Perdida de agua de enfriamiento en el tanque de la trampa de grasa.	Reparación o cambio del válvula de tubería de retorno en el tanque de la trampa de grasas Evaluar cambio de tubería de salida de las bombas de un mismo diámetro	Se cambio la válvula de la tubería de retorno	R. Rivera R. Uchima A. Lorza R. Ordoñez R. Rivera	2

Continuación Tabla 18.

PROCESO	SEM	Fecha de identificación	Problema	Solución propuesta	Solución implementada	Responsable	Estado
Molino Farrel	10	05/04/2007	Perdida de material azucarado por desborde del tanque de jugo crudo	Establecer los controles para garantizar el funcionamiento del sistema de recuperación de material azucarado		R. Rivera E. Reina	1
Molino Farrel	10	05/05/2007	Envío de grasas hacia el sistema de aguas residuales	Revisar y reparar la bomba de la trampa de grasas de aguas de enfriamiento del molino farrel Instalación de bomba de repuesto Implementar practica para la recuperación de grasas		R. Rivera R. Uchima	1
Molino Farrel	10	05/04/2007	Perdida de material azucarado por desborde del tanque de jugo crudo	Establecer los controles para garantizar el funcionamiento del sistema de recuperación de material azucarado		R. Rivera E. Reina	1
Molino Farrel	10	05/05/2007	Envío de grasas hacia el sistema de aguas residuales	Revisar y reparar la bomba de la trampa de grasas de aguas de enfriamiento del molino farrel Instalación de bomba de repuesto Implementar practica para la recuperación de grasas		R. Rivera R. Uchima	1

• **Elaboración.** Para el proceso de elaboración, se realizaron las siguientes recomendaciones:

◆ Conectar el canal que se encuentra entre centrifugas A y antigua repurga hacia el canal de aguas dulces para recuperar desbordes de masa y miel de centrifugas A, ubicar compuertas movibles para conducir los desbordes de los sellos de evaporadores y tachos hacia las lagunas, para evitar la pérdida de material azucarado.

◆ Recubrir en acero inoxidable las paredes de los carcamos de elevadores de azúcar, para evitar la pérdida de material azucarado.

◆ Evaluar el sistema de recuperación de los desbordes de tanque de cachaza y fugas de bombas de cachaza para independizarlo del sistema de recuperación de aguas dulces, con el fin de reducir la carga orgánica en las lagunas.

◆ Conducir desborde del flash tank de clarificadores 1-4, 6-7 hacia canal de recuperación de aguas dulces, con el fin de reducir la pérdida de material azucarado y la contaminación de aguas.

◆ Conectar la tubería de liquidación de los coaguladores de los filtros de cachaza No 3,4,5,6,9 y 10 a la tubería de retorno hacia el tanque de la cachaza, con el fin de reducir la carga orgánica en las lagunas.

◆ Supervisión y control por parte del operario en la instalación de la lamina para recuperar el material azucarado, con el fin de reducir la pérdida de material azucarado en las centrifugas B hacia las lagunas.

◆ Revisión de funcionamiento de las bombas e instalación de compuerta para desvío de material azucarado hacia foso de recuperación de aguas dulces, para reducir la pérdida de material azucarado que se presentan por los desbordasen el tanque.

◆ Comunicar el canal que esta entre el tanque de condensado frío y la antigua repurga con el canal que va al tanque de aguas dulces, con el fin de reducir la pérdida de material azucarado en enjuagues de los tanques de mieles y jarabes en los niveles 42 y 45.

◆ Construir canal interna hacia el sistema de aguas dulces o construir un foso de recuperación para los desbordes del tanque de jugo alcalizado y clarificador No 5, con el fin de reducir la contaminación de aguas por la pérdida de material azucarado.

- ◆ Empaquetar prensaestopa de las bombas de cachaza 1y2, con el fin de reducir la contaminación de aguas.
- ◆ Empaquetar prensaestopas de las bombas de los tanques de jugo alcalizado y clarificador No 5, para reducir la contaminación de aguas por las fugas de material azucarado.
- ◆ Supervisión y limpieza de canales en los tanques de jugo alcalizado, con el fin de reducir la carga contaminante en las lagunas por la presencia de aguas estancadas.
- ◆ Establecer controles para mantener el nivel del tanque mezclador de cachaza, con el fin de reducir el envío de material azucarado y cachaza hacia las lagunas.
- ◆ Conectar tubería hacia maceración del molino fulton II, con el fin de reducir la carga contaminante en las lagunas.

De las recomendaciones anteriores, se implementaron dos: empaquetar prensaestopa de las bombas de cachaza 1y2 y, establecer controles para mantener el nivel del tanque mezclador de cachaza. No se implementaron las otras por que se requería de inversiones en cambios tecnológicos.

Tabla 19. Matriz de situaciones ambientales para elaboración.

PROCESO	SEM	Fecha de identificación	Problema	Solución propuesta	Solución implementada	Responsable	Estado
Elaboración	1	04/01/2007	Perdida de material azucarado hacia las lagunas entre centrifugas A y antigua repurga	Conectar el canal que se encuentra entre centrifugas A y antigua repurga hacia el canal de aguas dulces para recuperar desbordes de masa y miel de centrifugas A. Ubicar compuertas movibles para conducir los desbordes de los sellos de evaporadores y tachos hacia las lagunas.		F. Pérez P. Herrera	1
Elaboración	1	04/01/2007	Perdida de material azucarado hacia las lagunas en paredes de los carcamos de elevadores de azúcar	Recubrir en acero inoxidable las paredes de los carcamos de elevadores de azúcar		F. Pérez J. Libreros	1
Elaboración		04/01/2007	Desborde del tanque de cachaza hacia las lagunas	Evaluar el sistema de recuperación de los desbordes de tanque de cachaza y fugas de bombas de cachaza para independizarlo del sistema de recuperación de aguas dulces		P. Herrera J. Libreros	1

Continuación Tabla 19.

PROCESO	SEM	Fecha de identificación	Problema	Solución propuesta	Solución implementada	Responsable	Estado
Elaboración	1	04/01/2007	Perdida de material azucarado hacia las lagunas por desborde de los flash tank	Conducir desborde de los flash tank de clarificadores 1-4, 6-7 hacia canal de recuperación de aguas dulces		F. Pérez J. Libreros	1
Elaboración	1	04/01/2007	Envío de cachaza hacia las lagunas	Conectar la tubería de liquidación de los coaguladores de los filtros de cachaza No 3,4,5,6,9 y 10 a la tubería de retorno hacia el tanque de la cachaza		F. Pérez J. Libreros	1
Elaboración	7	12/02/2007	Perdida de material azucarado de centrifugas de B hacia las lagunas	Supervisión y control por parte del operario en la instalación de la lamina para recuperar el material azucarado		F. Pérez F. Uran S. Calpa R. López	1
Elaboración	9	03/03/2007	Perdida de material azucarado por desborde tanque de recirculación de clarificadores 1 al 4.	Revisión de funcionamiento de las bombas. Instalación de compuerta para desvío de material azucarado hacia foso de recuperación de aguas dulces		F. Pérez J. Libreros P. Herrera	1

Continuación Tabla 19.

PROCESO	SEM	Fecha de identificación	Problema	Solución propuesta	Solución implementada	Responsable	Estado
Elaboración	10	05/03/2007	Perdida de material azucarado en enjuagues de los tanques de mieles y jarabes de los niveles 42 y 45	Comunicar el canal que esta entre el tanque de condensado frío y la antigua repurga con el canal que va al tanque de aguas dulces		F. Pérez J. Libreros P. Herrera	1
Elaboración	10	05/03/2007	Perdida de material azucarado por desborde de tanques de alcalizado y clarificador N°5	Construir canal interna hacia el sistema de aguas dulces. Construir un foso de recuperación para los desbordes del tanque de jugo alcalizado		F. Pérez J. Libreros P. Herrera	1
Elaboración	16	16/04/2007	Perdida de cachaza por el prensaestopa de las bombas 1y2.	Empaquetar prensaestopa de las bombas de cachaza 1y2.	Se coloco mejor empaquetadura	F. Pérez J. Libreros J. Delgado	3
Elaboración	16	18/04/2007	Fugas en la prensaestopa de las bombas de tanque de jugo alcalizado y clarificador No 5	Empaquetar prensaestopas de las bombas de los tanques de jugo alcalizado y clarificador No 5	Se empaqueto la prensaestopa de la bomba Evaluar solución propuesta en cuanto al canal de desborde hacia el tanque de recuperación de aguas dulces	F. Pérez J. Libreros	2

Continuación Tabla 19.

PROCESO	SEM	Fecha de identificación	Problema	Solución propuesta	Solución implementada	Responsable	Estado
Elaboración	16	12/02/2007	Falta de limpieza de canales, presencia de aguas estancadas alrededor de tanques de jugo alcalizado	Supervisión y limpieza de canales en los tanques de jugo alcalizado		F. Pérez F. Uran S. Calpa R. López	1
Elaboración	17	24/04/2007	Envío de material azucarado y cachaza hacia las lagunas por desborde del tanque mezclador de cachaza N°2	Establecer controles para mantener el nivel del tanque mezclador de cachaza	Se instalo válvula para control de nivel y se bajo succión de la bomba	F. Pérez F. Uran S. Calpa R. López	3
Elaboración	17	28/04/2007	Drenaje de enjuague del lavado de la tela del filtro prensa, hacia el primer piso y luego al canal de los efluentes.	Conectar tubería hacia maceración del molino fulton II	Se esta conectando la tubería hacia maceración del molino fulton	F. Pérez J. Libreros	2

- **Refinería.** Para el proceso de refinería, se realizaron las siguientes recomendaciones:

- ◆ Poner en funcionamiento las bombas de los fosos de recuperación de aguas dulces y coordinar con los ingenieros de Elaboración el envío de aguas dulces de Refinería hasta Elaboración, con el fin de reducir la contaminación de aguas por la pérdida de material azucarado.

- ◆ Limpieza de la canal y chequeo periódico del canal especialmente debajo del elevador de azúcar, con el fin de reducir la carga contaminante por el represamiento de agua en la canal de conductores de azúcar de refinería hacia bodega.

En el proceso de refinería se plantearon soluciones a los problemas que generaron mayor contaminación de aguas. No se implementaron las soluciones propuestas debido a la falta de asignación de responsabilidades con el jefe del proceso e inversión en cambios tecnológicos.

Tabla 20. Matriz de situaciones ambientales para refinería.

PROCESO	SEM	Fecha de identificación	Problema	Solución propuesta	Solución implementada	Responsable	Estado
Refinería	17	24/04/2007	Perdida de material azucarado debido a que las bombas de los dos fosos de recuperación de aguas dulces no funcionan.	Poner en funcionamiento las bombas de los fosos de recuperación de aguas dulces. Coordinar con los ingenieros de Elaboración el envío de aguas dulces de Refinería hasta Elaboración		F. Cano	1
Refinería	17	24/04/2007	Represamiento de agua en la canal de conductores de azúcar de refinería hacia la bodega (ubicada en Refinería) por que hay un taco de azúcar en la canal por donde está el elevador de azúcar	Limpieza de la canal Chequeo periódico del canal especialmente debajo del elevador de azúcar		P. Herrera F. Cano	1

8. CONCLUSIONES

- ◆ El canal de aguas del proceso de elaboración presento valores más altos para altura y para el ancho, mientras que el canal de agua del proceso de refinería presento los valores más bajos tanto para altura como para el ancho del canal.
- ◆ Los valores más altos de láminas de agua representaron en el proceso molino Fulton II y, lo más bajos en el proceso de refinería.
- ◆ En general, los valores bajos de lámina de agua están asociados a las horas de descanso de los trabajadores, cambios de turno, suspensión del uso de mangueras, desborde de agua de enfriamiento de las coronas de los molinos y; los valores altos a actividades de limpieza del sitio de trabajo, limpieza de pisos (contenían material azucarado), desborde de tanque de enfriamiento de 3.000 gpm, limpieza del carcamo de los molinos, uso de mangueras y pérdida de agua industrial por pruebas hidrostáticas en los tachos.
- ◆ El molino farrel, presento los valores de caudal más bajos debido al uso restringido de mangueras para la limpieza del sitio de trabajo. Mientras que el proceso de refinería presento los valores de caudal más altos asociados a la generación de vertimientos líquidos por las continuas actividades de lavado y limpieza.
- ◆ Los procesos: molino fulton II y refinería presentaron los valores más altos de caudal, debido al excesivo uso de mangueras para la limpieza de equipos y pisos que contenían material azucarado por los continuos desbordes que se presentaron en situaciones de emergencia.
- ◆ Los valores de DQO para todos los procesos de producción de azúcar se encontraron por fuera del rango histórico para INCAUCA S.A. (molino fulton II y el molino farrel 500-1.000 kg/día y, proceso de elaboración y refinería 1.000 y 2.000 kg/día).
- ◆ El proceso molino fulton II, presento los valores de SST más altos con respecto a los otros procesos de producción de azúcar.
- ◆ De todos los procesos de producción de azúcar el que aporta mayor carga contaminante al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales es refinería.

- ◆ En el proceso de elaboración de azúcar se presentó la mayor cantidad de equipos que aporta carga contaminante durante operación normal, mantenimiento o emergencias.
- ◆ El proceso molino farrel es el que menor cantidad de equipos presentó aportando carga contaminante.
- ◆ De acuerdo con la matriz de situaciones ambientales, el proceso que presento más problemas de contaminación de agua fue elaboración.
- ◆ En el proceso de elaboración de azúcar se generaron más propuestas para reducirla contaminación de aguas mientras que, en el proceso molino fulton II fue el que más se implementaron.
- ◆ Para iniciar un programa de descontaminación en el ingenio del Cauca se debe capacitar el personal y, difundir el compromiso de la empresa frente al medio ambiente y la comunidad en general.
- ◆ La optimización del uso del agua constituye una tarea fundamental para reducir la contaminación, disminuye el caudal y reduce la carga orgánica de los efluentes de fábrica.

9. RECOMENDACIONES

- ◆ Es importante cuantificar las pérdidas de sacarosa en los diferentes procesos de producción de azúcar, mediante el análisis de laboratorio y registros medidores para poder implementar un programa de eliminación de pérdidas y reducción de contaminación.
- ◆ Con el fin de reducir la carga contaminante es importante recuperar los materiales sólidos antes relimpiar con agua.
- ◆ Es importante establecer un régimen de limpieza de los diferentes equipos que eviten la descomposición de la materia orgánica contenida en los sólidos que se sedimentan.
- ◆ En caso de incurrir algún tipo de fuga en lugar de limpiar con agua, regar bagazo seco para absorber las fugas y disponer posteriormente el mismo como un residuo sólido.
- ◆ Se recomienda continuar con el programa de muestreo en los diferentes procesos de producción de azúcar, con el fin de conocer la carga contaminante vertida al sistema de tratamiento de aguas residuales industriales y, poder así implementar las soluciones correspondientes con los jefes de cada proceso.
- ◆ Realizar modificaciones en el proceso y en los equipos para reducir los residuos, prioritariamente en el ciclo de producción. Estos cambios incluyen: cambios en los procesos de producción, cambios en los equipos, flujo de materiales o tuberías de conducción, uso de la automatización y cambios en las condiciones de operación de los procesos.
- ◆ Desarrollar procedimientos específicos de auditoria para la reducción de residuos dentro de la compañía y usarlos sobre una base regular para identificar, evaluar y eliminar residuos en cada etapa de los procesos de producción.
- ◆ Animar y recompensar los esfuerzos individuales y colectivos exitosos para implantar la producción más limpia (PML).
- ◆ Mantener la aplicación de las producciones limpias en todas las gestiones de la empresa.
- ◆ Incentivar el trabajo integral en función del saneamiento ambiental como tarea de todos los trabajadores.

BIBLIOGRAFÍA

ARANGO OSPINA, Miriam. Informe de identificación de impactos ambientales. El Ortigal, 2003. 1 archivo de computador.

_____ et al. Plan de Manejo Ambiental. El Ortigal: INCAUCA S.A., 1999. 86 p.

AREVALO, Guillermo. En los cañaduzales del Valle y el Cauca un ejército de cien mil proletarios [en línea]. Santiago de Cali: cañaduzales, 2006. [Consultado 04 de Noviembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.E:/trabajo.articulo/htm.com/articulo.php?id=22>

CARDONA, J.H.; BARBETTI, O.L. Programa de descontaminación en el Ingenio Manuelita S.A. En: Asociación de Técnicos Azucareros. Vol. 3, No. 1 (2-4 Septiembre., 1998); p 55.

CVC. Plan de Gestión Ambiental para el Valle del Cauca. En: Una visión de futuro. Vol 1, No. 1 (1998-2000); 114 p.

DÍAZ DE SANTOS. Métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. 17 ed. Madrid: McGraw-Hill, 1992. 225 p.

ENTREVISTA con Hermes Tobar. Ingeniero Químico INCAUCA. El Ortigal, 14 de febrero de 2006

ENTREVISTA con Miriam Arango Ospina, Jefe de Gestión ambiental. El ortigal, 20 de enero de 2006.

FAIR GEYER, Okun. Purificación de aguas de tratamiento y remoción de aguas residuales. México: Editorial Limusa, 1979. 325 p.

FLORES Romero, FLORES Rosas y GÓMEZ V. Diseño preliminar del Sistema de Tratamiento de Efluentes Contaminantes del Ingenio José María Martínez A. Madrid: McGraw-Hill, 1991. 260 p.

GONZALES, Jaime. Ingenios azucareros de Colombia [en línea]. Bogotá: Cámara Internacional de comercio, 1989. [Consultado 14 de marzo de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.camaradecomercio.org>

GORDILLO, D. Ecología y Contaminación Ambiental. México, D.F.: Editorial Interamericana, MacGraw Hill, 1995. 126 p.

Guía Ambiental para el Subsector de caña de azúcar. En: Desarrollo de la industria azucarera. Vol. 2, No. 1 (15, abr., 2002); 89 p.

J. ROIDER. Análisis de las aguas naturales, residuales y de mar. Barcelona: Ediciones Omega, S.A, 1996. 328 p.

JENSEN, C.R.C y SCHUMANN, G.T. Implementing a zero effluent philosophy at cane sugar factory. Brisbane, Australia, 2001. En: Ingeniería sanitaria. Vol. 5, No. 10 (1982); 86 p.

JUNCO HORTA, J.Z.; ESPI LACOMBA, N.; LÓPEZ RODRÍGUEZ, A y Alfonso, A. Filtración: una alternativa de eliminación de la contaminación por aguas residuales de refinerías en la industria azucarera, ATAC. En: Instituto Superior Agroindustrial Camilo Cienfuegos. Vol. 49, No. 1 (Ene. – Feb. 1990); 60 p.

LATORRE, E. Empresa y Medio Ambiente en Colombia. Santa Fe de Bogotá: Prisma Asociados y Ltda., 1996. 296 p.

MAZZA, J. A.; J.L.I. DEMATE AND O. FILHO. The effects of Repeated Applications of Vinasse on The Properties of some Solis. En: la protección del medio ambiente. Vol. 5, No. 1 (Sep. 1998); 140 p.

NEAI, L.L.; MELLOWES, W.A.; SMITH, W. Tratamiento biológico de aguas residuales en fábricas de azúcar. En: la caña de azúcar en el próximo siglo, Miami. Vol. 5, No 5 (11-13. Sep., 1996); 83 p.

PAZ González, Maria del Pilar. Auditoria interna al proceso de adquisición y administración de materiales y equipos del Departamento de suministros de la división de fabrica del Ingenio Cabaña S.A. Caloto, 2001. 114 p. Trabajo de grado (Administradora Ambiental). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ciencias Básicas.

PEÑA Maricel, FERNÁNDEZ Constanza. Revisión Ambiental Inicial como etapa previa a la estructuración de un sistema de Gestión ambiental en el Ingenio centro Castilla S.A. Florida, 2005. 128 p. Trabajo de grado (Administradora Ambiental). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ciencias Básicas.

RAMOS, J.; VALDÉS JIMÉNEZ, E.; OBAYA ABREU, M.C y LEÓN PÉREZ, O.L. Caracterización físico-química de las aguas residuales del Central Guatemala. En: ICIDCA sobre los Derivados de la caña de azúcar. Vol. 21, No. 2 (May.-Ago. 1987); 61 p.

ROMERO R J. Tratamiento de Aguas residuales; teoría y principios de diseño. 3 ed. Medellín: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. 326 p.

SANTACRUZ, Marino. Sueños de región. Santiago de Cali, 1999. 123 p. Trabajo de grado (Administrador de empresas). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ciencias Económicas y empresariales.

SALOMÓN ARANO, A.M. Tratamiento biológico de aguas residuales. Biotecnología Ultrateck de incremento microbiano y control de olores (productos ULTRAZIME AF-8 y ENVIRO-PLUS). En: Convención Nacional de Técnicos Azucareros de México. Vol. 46, No 1 (7-10. Ago.,1996); 65 p.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19 ed. New York: Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation., 1995. 246 p.

TOBAR, Hermes. Informe del proceso de producción de azúcar. El Ortigal, 2004. 1 archivo de computador.

TORRES GOMEZ, Julián. Estudio de caracterización de efluentes en INCAUCA S.A. El Ortigal, 2006. 1 archivo de computador.

URBANOSO, F.; SOMOSOT, P y RAMIREZ D. Ash disposal and boiler wastewater recovery system. Proceedings of the Philippine Sugar Technologists Association. Memoria: ATACORI, 1989. p. 128. En: Institute agroindustry. Vol. 3, No. 1 (Ene. – Feb. 1990); 58 p.

ANEXOS

Anexo A. Formato de alícuotas



Muestreo de agua residuales - Superintendencia de fábrica

Fecha:

Nombre del operario:

Proceso:

Hora	Altura (cm)	Caudal (l/s)	Alicuota (ml)	Observaciones