

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES (PFS)

EFFECTOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES DEL CAMBIO DE
SISTEMA DE LIMPIEZA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR,
DE HÚMEDO A SECO (2004-2008)
ESTUDIO DE CASO

EDGAR EDUARDO BONILLA DEL AGUILA
CARNET 43492-91

ESCUINTLA, DICIEMBRE DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES (PFS)

EFFECTOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES DEL CAMBIO DE
SISTEMA DE LIMPIEZA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR,
DE HÚMEDO A SECO (2004-2008)
ESTUDIO DE CASO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
EDGAR EDUARDO BONILLA DEL AGUILA

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, DICIEMBRE DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. LUIS FELIPE CALDERÓN BRAN

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

DRA. MARÍA ANTONIETA ALFARO VILLATORO
MGTR. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ
MGTR. RICARDO ARMANDO MORALES RAMÍREZ

Guatemala 25 de noviembre de 2015

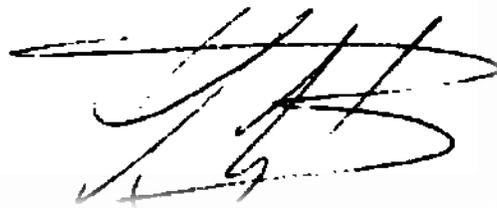
Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Edgar Eduardo Bonilla del Aguila, carné 43492-91, titulada: "Efectos financieros y ambientales del cambio de sistema de limpieza industrial de la caña de azúcar, de húmedo a seco (2004-2008)".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Luis Felipe Calderon Bran', written in a cursive style.

Ing. Luis Felipe Calderon Bran
Colegiado No. 1400
Código URL 4625



Universidad
Rafael Landívar
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06402-2015

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Estudio de Caso del estudiante EDGAR EDUARDO BONILLA DEL AGUILA, Carnet 43492-91 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES (PFS), de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06135-2015 de fecha 17 de octubre de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFFECTOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES DEL CAMBIO DE
SISTEMA DE LIMPIEZA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR,
DE HÚMEDO A SECO (2004-2008)

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 3 días del mes de diciembre del año 2015.



ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios

Por darme la vida, sabiduría, por estar siempre a mi lado y permitirme lograr esta meta.

Universidad Rafael Landívar,
Facultad de Ciencias
Ambientales y Agrícolas

Por ser parte de mi formación.

Ing. Luis Felipe Calderon Bran,

Por su apoyo en la asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

Dra. Maria Antonieta Alfaro Villatoro
MGTR. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
MGTR. Ricardo A. Morales R.
Ing. Juan Carlos Barrundia,

Por su apoyo en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo

Ing. Milton Lizandro Cifuentes H.
Ing. Sergio Augusto Cabrera Ortiz

Por su apoyo incondicional

DEDICATORIA

- A Dios** Por darme la vida y sabiduría, estar siempre a mi lado y permitirme lograr esta meta.
- A mi Padre** Arturo Bonilla (Q.E.P.D.)
Muchas gracias papá porque tus consejos me ayudaron a tomar las decisiones correctas, porque tu amor me enseñó a amar a los que me rodean. Gracias por haberme educado así. Estoy orgulloso de ser como soy y eso te lo debo a ti, que DIOS te tenga en su Gloria.
- A mi Madre** María Reyes de Bonilla
Por haber sembrado en mí, semilla de lucha y responsabilidad, por su amor, ejemplo y apoyo incondicional
- A mi Esposa** Astrid Ninett Avalos de Bonilla
Por todo su amor, confianza, comprensión y apoyo incondicional
- A mis hijos** Susy, Brittany Isabela, Luis Eduardo y Steve
Son el impulso que me motivó a seguir hasta alcanzar esta meta, gracias por todo su amor y comprensión.
- A mis Hermanos** Ana, Otto, Lorena, Eleazar, Ericka, Luis, Johana y Sara, por su cariño, gracias por creer en mí.
- A mis Tíos y Primos** Con especial cariño
- A mis compañeros** Por su amistad sincera, apoyo, compañía y formar parte de mi desarrollo integral, con mucho aprecio.

INDICE

	Página
RESUMEN.....	i
SUMARY.....	ii
I.INTRODUCCIÓN	1
II.REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	2
2.2 SISTEMAS DE COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	2
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA	2
2.3.1 Materia Extraña.....	2
2.3.2 Cogollos.....	3
2.3.3 Hojas.....	3
2.3.4 Tierra y raíces	3
2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUBPRODUCTOS Y DESECHOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA.....	4
2.4.1 Cachaza o torta del filtro	4
2.4.2 Aguas residuales	4
2.4.3 Calidad del agua utilizada en el proceso	5
2.4.4 Contaminación.....	5
2.4.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	6
2.4.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	6
III. CONTEXTO	7
3.1 SISTEMA DE LIMPIEZA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR	7
3.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	7
3.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	7

3.4	UBICACIÓN DEL INGENIO	8
3.5	VÍAS INTERNAS	8
3.6	FUENTES DE AGUA.....	8
3.7	PRODUCCIÓN.....	8
3.8	USO DE AGUA EN EL PROCESO	9
3.8.1	Muestreo para prueba de DBO.....	11
3.8.2	Muestreo para prueba de Trazas de azúcar en el agua de lavado de caña	13
3.8.3	Análisis del agua.....	14
3.8.4	Costo de mantenimiento y operación del sistema de abastecimiento de agua para el lavado de la caña	15
3.8.5	Uso de mano de obra	16
3.9	SISTEMAS DE LIMPIEZA.....	16
3.9.1	Sistema de limpieza manual	17
3.9.2	Sistema de limpieza húmedo.....	18
3.9.3	Sistema de limpieza en seco	19
3.10	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LIMPIEZA	20
3.10.1	Pérdida de caña por efecto del proceso	21
3.10.2	Medición de los desechos sólidos en el sistema de limpieza húmedo....	21
3.10.3	Medidas de mitigación	22
IV.	JUSTIFICACION	24
V.	OBJETIVOS	25
5.1	OBJETIVO GENERAL.....	25
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
VI.	METODOLOGIA.....	26
6.1	DISEÑO DE INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS	26

6.2	PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	26
6.3	VARIABLES DE ESTUDIO.....	27
6.3.1	Toneladas de caña recuperadas.....	27
6.3.2	Cantidad de agua para el lavado de la caña.....	27
6.3.3	Cargas de DBO y DQO en el agua residual	27
6.3.4	Toneladas de basura extraídas por el sistema de limpieza industrial	27
6.3.5	Determinación de los Costos del proyecto.....	27
6.4	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	28
VII.	RESULTADOS Y DISCUSION	29
7.1	OPCIONES ANTE EL REGLAMENTO DE AGUA.....	29
7.1.1	Selección del proyecto ante el reglamento de agua	29
7.2	PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	29
7.2.1	Ventajas que ofrece el proyecto.....	30
7.2.2	Diseño y Descripción del Proyecto	31
7.2.3	Costo del Proyecto.....	34
7.2.4	Beneficios financieros que ofrece el proyecto.....	34
7.2.5	Primeros Resultados.....	34
7.2.6	Factores que favorecieron o dificultaron el proyecto.....	35
7.3	VARIABLES RESPUESTA.....	35
7.3.1	Descripción del proceso de limpieza.....	36
7.3.2	Pérdida de caña por efecto del proceso de limpieza	37
7.3.3	Productividad de la caña.....	37
7.4	USO DE AGUA EN EL PROCESO	38
7.4.1	Actividades de Muestreo.....	39
7.4.2	Recuperación de Material Azucarado	40

7.5	COSTO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO	41
7.5.1	Uso de mano de obra	42
7.6	PRODUCCIÓN TOTAL Y MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS	42
7.6.1	Componentes de los desechos sólidos.....	43
7.6.2	Eliminación de la Basura	43
7.6.3	Manejo de los desechos sólidos	45
7.7	RECUPERACIÓN DE MATERIALES AZUCARADOS	46
7.8	ANÁLISIS FINANCIERO	47
7.8.1	Beneficio financiero del proyecto	47
7.8.2	Valor Actual Neto	47
7.8.3	Relación beneficio / costo	48
7.8.4	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	48
VIII.	CONCLUSIONES	49
IX.	RECOMENDACIONES.....	50
X.	BIBLIOGRAFÍA	51
XI.	ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de las cargas contaminantes de DBO promedio (kg/día), en la entrada y salida así como el incremento por el uso del agua en el proceso, zafra 2005-2006.....	11
Cuadro 2. Pérdida por derrame de materiales azucarados en el sistema de limpieza industrial húmedo, zafra 2005 – 2006	14
Cuadro 3. Costos de operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua para el lavado de la caña.....	15
Cuadro 4. Captación y distribución de agua.....	16
Cuadro 5. Costo de la mano de obra	16
Cuadro 6. Pérdidas de toneladas de caña por día y su impacto económico.....	21
Cuadro 7. Ensayos de medición para encontrar porcentajes de desechos sólidos en la caña recibida.	22
Cuadro 8. Toneladas de caña recuperada por cambio del sistema de limpieza.....	37
Cuadro 9. Cuencas para captación de agua, antes y después del cambio de sistema de limpieza de la caña	38
Cuadro 10. Comparación de cargas al efluente fase inicial – fase final (kg DBO /día)	40
Cuadro 11. Pérdidas y recuperación de kilogramos de azúcar y melaza por tonelada métrica de caña.....	41
Cuadro 13. Comparación del uso y costo de mano de obra.....	42
Cuadro 14. Componentes de los desechos sólidos.....	43
Cuadro 15. Eliminación de basura zafra 2005 – 2006 vrs. 2006 – 2007	44

Cuadro 16. Comparación de las pérdidas y recuperación de materiales azucarados 46

Cuadro 17. Evaluación financiera del proyecto. 47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Entrada de agua para el servicio de la fábrica.....	9
Figura 2.	Diagrama de captación, distribución y retorno del agua, antes del cambio del sistema de limpieza.	10
Figura 3.	Medición en la entrada y salida de agua del contenido de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (kg/día) y su incremento, zafra 2005-2006.....	12
Figura 4.	Valores obtenidos en la medición de las cargas kg/día de DBO vertidas al efluente durante la zafra 2004 – 2005 y 2005 – 2006 en el sistema de limpieza húmedo.....	12
Figura 5.	Pérdidas por derrame de material azucarado en el sistema de limpieza húmedo, zafra 2005-2006	14
Figura 6.	Vista lateral del diseño de la mesa de caña, usando el sistema de limpieza húmedo, zafra 2005 – 2006.....	31
Figura 7.	Vista lateral de la mesa de caña con modificaciones para el sistema de limpieza en seco, zafra 2006-2007.....	32
Figura 8.	Vista de planta del tamiz móvil para implementar en la mesa de caña, en el sistema de limpieza en seco	32
Figura 9.	Vista de planta del nuevo diseño de la mesa de caña propuesta para el proyecto de limpieza en seco, mayo del 2006.....	33
Figura 10.	Vista de perfil del nuevo diseño de la mesa de caña y ruta a seguir por la caña en el proceso de limpieza en seco	33
Figura 11.	Tamiz móvil funcionando como separador de material sólido .	36
Figura 12.	Diagrama modificado de captación, uso y recirculación del agua para eliminar el sistema de limpieza húmedo.....	39
Figura 13.	Reducción de las cargas inorgánicas entre la zafra 2005-2006 y zafra 2006-2007	40

Figura 14. Estructura de la banda transportadora de basura y material sólido extraído.....	44
Figura 15. Aprovechamiento de la basura en los campos de cultivo	45
Figura 16. Comparación de pérdidas y recuperación de material azucarado, zafra 2005-2006 y 2006-2007	46

EFFECTOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES DEL CAMBIO DE SISTEMA DE LIMPIEZA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR, DE HÚMEDO A SECO (2004-2008)

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo documentar los efectos financieros y ambientales del cambio de sistema de limpieza industrial de la caña de azúcar periodo 2004 – 2008 en Ingenio La Unión, S.A. El Estudio de Caso se realizó debido a la importancia que tiene el recurso hídrico en las actividades agrícolas y procesos industriales, así como las alteraciones a las que es sometido por el agregado de desechos industriales que le impactan negativamente. En Ingenio La Unión para el lavado de la caña se consumían 45 m³/min de agua que se captaban del afluente Cristóbal y Madre Tierra con carga de DBO de 13,968 kg/día, el proceso industrial en promedio le agregaba 32,004 kg/día de DBO equivalente al 229%, Se registraban pérdidas de material azucarado de 1.61 kg de azúcar y 1.77 kg de melaza por tonelada de caña, la basura y tierra que ingresaba junto con la caña al proceso industrial se vertían al efluente. En el año 2006, se realizó el montaje del proyecto para eliminar el agua en la limpieza industrial de la caña, la implementación de éste proyecto permitió recuperar 87% de los materiales azucarados, se redujo 76% de 33,800 kg/día de cargas de DBO, en su totalidad se eliminó el uso del agua en la limpieza de la caña. En la zafra 2006-2007 se recuperaron 9,052 toneladas métricas de caña y por medios mecánicos se logró retirar 23,021 toneladas métricas de basura que se incorporó como materia orgánica en campos con renovación de cultivo.

FINANCIAL AND ENVIRONMENTAL EFFECTS DERIVED FROM CHANGING THE SUGAR CANE INDUSTRIAL CLEANING SYSTEM, FROM HUMID TO DRY (2004-2008)

SUMMARY

The objective of this research study was to document the financial and environmental effects derived from changing the sugar cane industrial cleaning system during the 2004 – 2008 period in La Unión, S.A. mill. The case study was carried out because of the importance that the hydric resource has in agricultural activities and industrial processes, as well as the alterations that it undergoes due to the industrial waste that negatively impacts the same. In La Unión mill, 45 m³/min of water was used to clean sugarcane; the water was obtained from the Cristóbal and Madre Tierra river branch, with a biochemical oxygen demand (BOD) burden of 13,968 kg/day, and the industrial process added a BOD average of 32,004 kg/day, equivalent to 229%. Sugary content losses were registered, 1.61 kg of sugar and 1.77 kg of molasses per sugarcane ton; the waste and soil that came with the sugarcane went straight to the waste water. In 2006, this project was implemented to remove the use of water in the sugarcane industrial cleaning; the implementation of this project allowed recovering 87% of the sugary content, the BOD burden of 33,800 kg/day was reduced by 76%, and the use of water was completely eradicated from the sugarcane cleaning process. In the 2006-2007 harvest, 9,052 metric tons of sugarcane was recovered and 23,021 metric tons of waste was removed by using mechanical means, incorporating the same as organic matter in fields with renewed crops.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar ocupa un lugar importante en el ingreso de divisas para el país. De acuerdo con ASAZGUA (2011), se cultivan 232 mil hectáreas con caña de azúcar y se producen 2.32 millones de toneladas métricas de azúcar. De esta producción se exporta el 75%, contribuyendo con US\$ 650 millones para el país; el 25% restante, se destina al consumo local. La industria azucarera guatemalteca genera el 24% de la energía eléctrica total del país y crea 60 mil empleos directos, beneficiando a más de 250 mil guatemaltecos.

El constante crecimiento que la industria azucarera ha registrado a lo largo de su existencia, exige la optimización de sus procesos. A medida que ésta crece, demanda el uso de mayor cantidad de insumos entre los que se encuentra el recurso hídrico. El agua es indispensable para realizar diferentes procesos a nivel industrial. En Ingenio La Unión, hasta la zafra 2005 – 2006, se utilizaba 0.75 m³/s de agua para el lavado de la caña y eliminación de la biomasa, tierra y piedras que ingresaba junto con la caña. Esta actividad generaba toneladas de lodo y basura, así como trozos de caña que se conducían hasta el efluente provocando cierto grado de contaminación

Ingenio La Unión, consciente del impacto que este proceso provocaba al medio ambiente, realizó el montaje de un proyecto para realizar la limpieza industrial de la caña de azúcar sin la utilización de agua, en el periodo de mayo a octubre del año 2006. El sistema consiste en un tamiz rotativo, formado por dos juegos de nueve ejes a los que están colocados una serie de discos con aperturas de media pulgada entre uno y otro, por donde hace pasar la biomasa, tierra y pequeñas piedras. Estos residuos se trasladan por medio de camiones de volteo a los campos donde se renueva el cultivo incorporándolos al suelo como abono orgánico.

El presente estudio tiene como finalidad analizar y documentar los efectos de la implementación de este nuevo sistema de limpieza industrial de la caña de azúcar en Ingenio La Unión S.A., así como las ventajas y desventajas en la eliminación de impurezas y mejora en la calidad de las aguas servidas

I. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es un cultivo de elevada relevancia a nivel mundial. De sus tallos se extrae la sacarosa que es uno de los principales suplidores energéticos en la alimentación humana; de origen asiático llega a América alrededor del año 1530. Fue hasta en 1590 que los frailes dominicos fundaron en Centroamérica el primer ingenio en San Jerónimo, Baja Verapaz, de donde inicia su expansión hacia la costa sur de Guatemala. A lo largo del siglo XX se fundan los primeros cinco ingenios que impulsaron su desarrollo y mejoras en las tecnologías del cultivo (Gómez, 1983).

2.2 SISTEMAS DE COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El proceso inicia con el corte de la caña que puede hacerse de diferentes tipos, por su rendimiento y eficiencia. Los que más se utilizan son el corte manual con alce mecanizado y el corte y alce mecanizado. Para facilitar la labor del cortador y eliminar en buena proporción la biomasa formada por las hojas, se procede a la quema de los cañaverales. También se realiza, aunque en mínima parte, corte en verde que también puede hacerse en forma manual o mecanizada.

La práctica de la cosecha con corte y alce mecanizado en verde ocasiona un aumento de la materia extraña a nivel de las fábricas, lo que incrementa las pérdidas de sacarosa en el proceso de molienda (Humbert, 1976).

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

2.3.1 Materia Extraña

Se entiende como materia extraña, todo aquel material contenido en la caña y que no aporta sacarosa en el proceso de obtención de azúcar. (Palacio, 1986, citado por Buenaventura, 1986), describe con los términos hojarasca, paja, basura, materia extraña o desperdicios, en el idioma castellano lo equivalente a la palabra del idioma

inglés “trash”. Con esta palabra se indica todo aquello que no es el tallo de la caña, apto para la molienda.

El ISSCT (Internacional Society of Sugar cane technologists, 1990) define materia extraña o “trash” como: Las hojas, despuntes, tallos secos, tierra, malezas, etc., enviados al ingenio conjuntamente con la caña limpia. Es decir, la caña moledera, como lo definen muchos expertos, es “aquella porción del tallo de la caña de azúcar que contiene jugo portador de sacarosa, la cual es financieramente extraíble por el ingenio”

2.3.2 Cogollos

De acuerdo con TECNICAÑA (1996) los cogollos componen hasta un 60% de la materia extraña que acompaña a la caña de azúcar. Estos contienen alta cantidad de azúcares reductores, incrementan las melazas, disminuyen el azúcar recuperable. Buena proporción de las cenizas que los cogollos aportan se va con el azúcar crudo, lo que exige mayor control en el proceso. Para minimizar estos inconvenientes es necesario mejorar la calidad de la cosecha.

2.3.3 Hojas

Las hojas secas aumentan la fibra y actúan como una esponja que toma azúcar, aumentando la cantidad de ésta en el bagazo. Las hojas verdes tienen similar efecto que los cogollos, como baja pureza y alto contenido de cenizas (TECNICAÑA, 1986).

2.3.4 Tierra y raíces

Los problemas que puede causar la tierra en las fábricas dependen, no solo de la cantidad que entra, sino también de la composición física de las mismas. La humedad excesiva de los suelos durante la cosecha empeora más esta situación. El contenido de tierra incrementa en proporción al incrementarse la mecanización de la cosecha. El alce mecanizado es el que más incide en el contenido de tierra en la caña, cuyos efectos en la recuperación del azúcar son negativos. Su presencia en la caña provoca

desgaste por fricción en los equipos de la fábrica; jugos turbios, que ocasionan problemas en el proceso de tratamiento; atascos en los clarificadores, incrementando el contenido de cachaza y por ende las pérdidas en este residuo del proceso. Las raíces, ya sean aéreas o de base en la cepa, es material fibroso que no contiene azúcar, es por eso que se clasifican juntamente con la tierra como parte de la materia extraña (ATAGUA, 1985).

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUBPRODUCTOS Y DESECHOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

En la industria azucarera los subproductos y desechos líquidos o fangosos, las diversas aguas residuales y la cachaza, que resultan de la elaboración del azúcar, poseen características fisicoquímicas que les dan posibilidades para su aprovechamiento en la agricultura (ATAGUA, 1985).

2.4.1 Cachaza o torta del filtro

Es una mezcla fungosa de fibras de caña molida, sacarosa, coloides como cera, fosfato de calcio y otras sustancias minerales, así como arena y tierra. El contenido de agua puede ascender hasta el 75%, además contiene aproximadamente un 2% de nitrógeno (ATAGUA, 1985).

2.4.2 Aguas residuales

Están compuestas por las aguas de lavado de caña molida y las aguas residuales de la fábrica; estas aguas contienen gases orgánicos, productos residuales del azúcar, y por eso tiene olores muy desagradables. Su influencia en el medio ambiente es negativo si lleva consigo la conducción de aguas residuales en las aguas naturales (Buenaventura, 1987).

2.4.3 Calidad del agua utilizada en el proceso

El concepto de calidad del agua es usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua. La determinación de la calidad del agua depende del uso que se le va a dar. En la atmósfera durante la condensación y precipitación, la lluvia o la nieve absorben cantidades variables de dióxido de carbono y otros gases, así como pequeñas cantidades de material orgánico e inorgánico. Además, la precipitación arrastra sustancias radiactivas a la superficie de la Tierra (UNESCO, 2008).

El agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas. Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio. Las mayores fuentes de nutrientes provienen de la escorrentía agrícola, de las aguas residuales domésticas, de efluentes industriales y emisiones a la atmósfera procedentes de la combustión de combustibles fósiles y de los incendios forestales (UNESCO, 2008).

Los acuíferos poco profundos pueden contener grandes cantidades de compuestos de nitrógeno y de cloruros, derivados de la agricultura intensiva, los desechos humanos y animales. Generalmente, las aguas de los pozos profundos sólo contienen minerales en disolución. A nivel global, el principal problema relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización, que es el resultado de un aumento de los niveles de nutrientes (generalmente fósforo y nitrógeno) (UNESCO, 2008).

2.4.4 Contaminación

Se entiende por contaminación a la presencia de sustancias químicas o de otra naturaleza en concentraciones superiores a las condiciones naturales. Entre los contaminantes más importantes se encuentran los microbios, nutrientes, metales pesados, químicos orgánicos, aceites y sedimentos; el calor también puede ser un agente contaminante, al elevar la temperatura del agua.

Los contaminantes constituyen la principal causa de la degradación de la calidad de agua en el mundo (UNESCO, 2008).

2.4.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Mide la cantidad de oxígeno consumida en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios, se suele referir al consumo en 5 días (DBO₅). Se mide en ppm de O₂ que se consume. Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm, un contenido superior es sinónimo de contaminación por infiltración freática. En las aguas superficiales es muy variable y depende de las fuentes contaminantes aguas arriba. En aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm. En aguas industriales alcanza varios miles de ppm (CIDECALLI, 2006).

2.4.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, dicromato, permanganato, etc. Por el total de materias oxidables orgánicos e inorgánicos. Es un parámetro más rápido que el anterior ya que es la medición casi inmediata, la unidad de medida es ppm de O₂. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm. Las aguas residuales domésticas están entre 260 y 600 ppm. Hay un índice que indica que tipo de aguas se están analizando y se obtiene con la relación (DBO/DQO) si es menor de 0.2 el vertido será de tipo inorgánico y si es mayor de 0.6 se interpretará como un vertido orgánico (CIDECALLI, 2006).

III. CONTEXTO

3.1 SISTEMA DE LIMPIEZA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR

El impacto que produce el alto consumo de agua en regiones donde este recurso es limitado, alimenta la búsqueda, desarrollo y aplicación de nuevas técnicas que permiten administrar eficientemente el uso del agua en los procesos agroindustriales.

Cada día se incrementa el uso del vital líquido y con el crecimiento de las áreas de plantación del cultivo de caña, las exigencias que naturalmente éste cultivo tiene respecto al recurso hídrico para su germinación y crecimiento, así como el uso que le dan otras industrias, se convierten en una amenaza para el abastecimiento del vital líquido al Ingenio La Unión (Ingenio La Unión 2008)

De la zafra 2005-2006 hacia atrás, en Ingenio La Unión la limpieza industrial de la caña de azúcar se realizaba con el uso de agua, este sistema fue muy eficiente ya que permitía eliminar casi en su totalidad toda la basura que ingresaba junto con la caña al proceso de molienda. Este proceso, demandaba volúmenes hasta de 12,000 galones por minuto que posteriormente se vertían al efluente, llevándose con él toneladas de material sólido y azucarado los cuales ocasionaban impactos negativos en el ambiente. El presente Estudio de Caso, permitirá recabar la información necesaria para documentar el cambio de sistema de limpieza industrial de la caña de azúcar (Ingenio La Unión 2008)

3.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Ingenio La Unión S.A. está localizado al sur de la ciudad de Guatemala, en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, con las siguientes coordenadas: Latitud 14°16' Norte y Longitud 91°05' Oeste.

3.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Ingenio La Unión S. A. cuenta con 20,000 ha cultivadas con caña de azúcar que se extienden a partir de 5 a 900 metros sobre el nivel del mar. La precipitación anual va de 1,500 a 3,000 mm anuales distribuidos en los meses de abril a octubre. La temperatura

máxima es de 34° C, la mínima es 21° C, con una media de 27° C, y una humedad relativa del 85%, que es representativa de un área tropical (Holdridge, 1958)

3.4 UBICACIÓN DEL INGENIO

Está ubicado hacia el suroccidente de la capital de Guatemala en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla Km 101.5 carretera al Cerro Colorado, su acceso es totalmente asfaltado, cuenta con un área residencial para su personal técnico y sus familias, así como instalación de hotel para personal soltero, cuenta con un club para recreación de su personal.

3.5 VÍAS INTERNAS

El acceso principal y alrededores son asfaltados, las rutas hacia las diferentes fincas de la empresa la conforman 200 km de terracería en muy buenas condiciones.

3.6 FUENTES DE AGUA

El Ingenio se abastece del recurso hídrico a través de dos afluentes principales que son: río Cristóbal y río Petaya

3.7 PRODUCCIÓN

El Ingenio cultiva anualmente 3 millones 350 mil toneladas de caña y produce más de 340 mil toneladas métricas de azúcar, de las cuales el 70% es exportado a los países de Corea, Taiwán, Rusia, Indonesia, Egipto, Chile, Islas del Caribe, Canadá y Estados Unidos. También se genera electricidad a partir del bagazo llegando a vender hasta 33,000 kilovatios hora al sistema eléctrico nacional.

Las actividades agroindustriales del Ingenio La Unión, S.A. se desarrollan en coherencia con la legislación del país y para cumplir con ésta, se han emprendido proyectos en busca de opciones que ayuden a minimizar el impacto ambiental, incrementar la recuperación de azúcar, así como la reducción de costos operativos, ejecutando procesos con la misma eficiencia que usando recursos naturales, como el agua.

El crecimiento de las áreas con plantaciones del cultivo de caña, las exigencias que el cultivo naturalmente tiene respecto al recurso hídrico para su germinación y crecimiento así como el uso que le dan al agua otras industrias ubicadas en el área del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, han sido una amenaza para el abastecimiento del vital líquido a Ingenio La Unión, que año con año se ve cada vez más limitado.

3.8 USO DE AGUA EN EL PROCESO

Ingenio La Unión, S.A. contaba con dos afluentes, una Toma de agua de finca Madre Tierra con un caudal de $37 \text{ m}^3/\text{min}$ y la Cuenca del Río Cristóbal con $31 \text{ m}^3/\text{min}$. El total de agua recolectada era de $68 \text{ m}^3/\text{min}$ más $48 \text{ m}^3/\text{min}$ que se mantenían de reserva y se recirculaban para unirse con el caudal de entrada y tener un caudal de trabajo de $116 \text{ m}^3/\text{min}$ (Ingenio La Unión 2008)



Figura 1. Entrada de agua para el servicio de la fábrica
(Ingenio La Unión, 2005)

La distribución del uso del agua se realizaba de la siguiente manera, $45 \text{ m}^3/\text{min}$ para el lavado de la caña de azúcar, $48 \text{ m}^3/\text{min}$ se mantenían en recirculación, $22 \text{ m}^3/\text{min}$ para utilizarlos en el proceso industrial que luego se vertían al efluente y $0.38 \text{ m}^3/\text{min}$ que se retornaban al río Petaya.

Previo a utilizar el agua en el proceso, pasa por un tiempo de retención de 48 horas en lagunas de sedimentación de sólidos, con esto inicia un proceso de tratamiento del agua; de éstas lagunas el agua sale por rebalse se utiliza para enfriamiento de equipos y para ejercer el efecto de vacío mediante el cual se realiza el movimiento de materiales dentro de los equipos de fábrica (Ingenio La Unión 2008).

Situación antes del cambio, 13,000 toneladas de caña por día

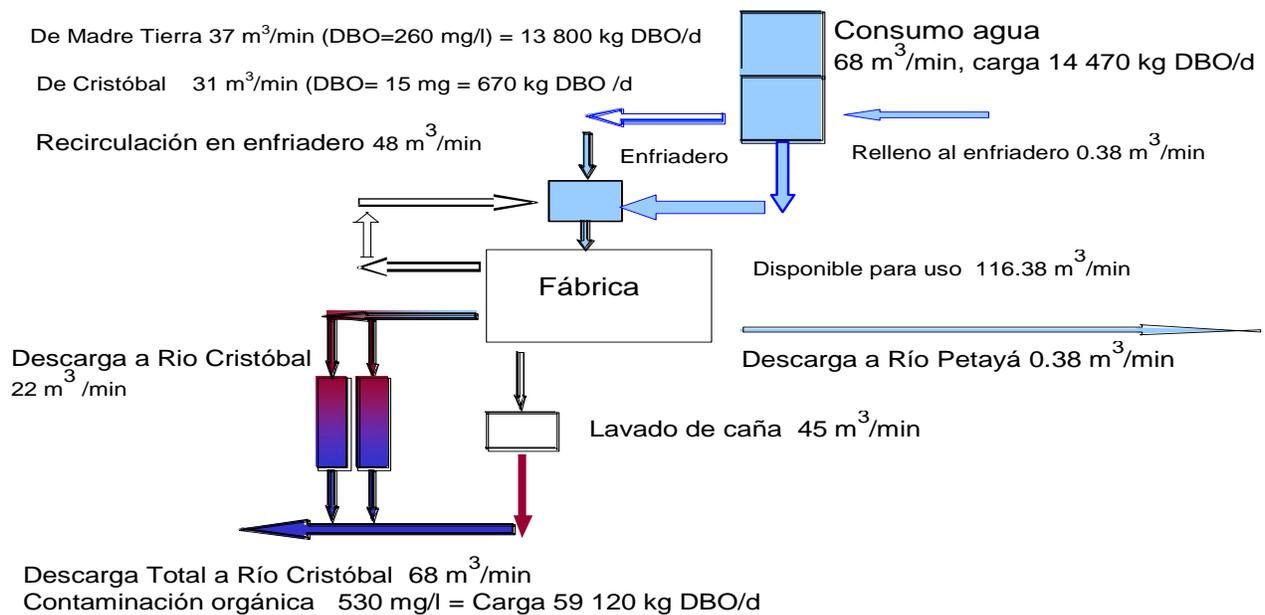


Figura 2. Diagrama de captación, distribución y retorno del agua, antes del cambio del sistema de limpieza.

(Ingenio La Unión, 2005)

Dentro de los procesos de Ingenio La Unión existe el Área de Control de Calidad, ente encargado de auditar los procesos industriales, la calidad con que entra y sale el agua del ingenio y la medición de los desechos del proceso.

Para llevar a cabo las mediciones del caudal de agua utilizada en el lavado de la caña se contaba con medidores de flujo en línea que estaban colocados en la tubería que conduce el agua hasta las mesas de caña. Se realizaban mediciones de trazas de azúcar y de la degradación de la calidad del agua mediante muestreos en la entrada y salida del agua al ingenio.

3.8.1 Muestreo para prueba de DBO

Los efluentes de Ingenio La Unión, S.A., eran principalmente los siguientes: (i) aguas residuales de los procesos de producción de azúcar, (ii) aguas residuales del proceso de lavado de la caña de azúcar.

La muestra para hacer los análisis de la Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno, se tomaban en la entrada y salida de agua del ingenio, el volumen aproximado de la muestra era de 3 litros, los resultados se muestran a continuación en el cuadro No. 1.

Cuadro 1. Contenido de las cargas contaminantes de DBO promedio (kg/día), en la entrada y salida así como el incremento por el uso del agua en el proceso, zafra 2005-2006

Mes	Agua en la entrada	Agua en la salida	Incremento de carga	% de incremento
Diciembre	864	40,800	39,936	4,622
Enero	20,736	31,500	10,764	52
Febrero	14,280	31,920	11,832	83
Marzo	20,088	29,376	9,288	46
Abril	13,872	35,424	21,552	155

(Ingenio La Unión, 2005)

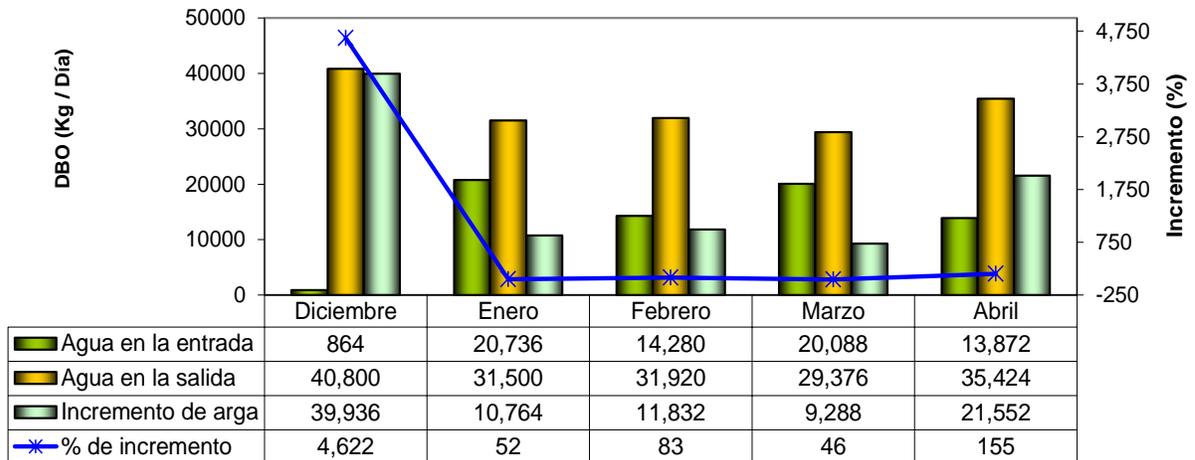


Figura 3. Medición en la entrada y salida de agua del contenido de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (kg/día) y su incremento, zafra 2005-2006 (Ingenio La Unión, 2005)

En el mes de diciembre se registró el valor más alto de la carga kg/día de DBO, debido al uso del agua en el lavado de la caña. Se pretende que con la eliminación del uso del agua, estos valores puedan ser muy parecidos a los obtenidos en el agua de entrada al ingenio (afluente).

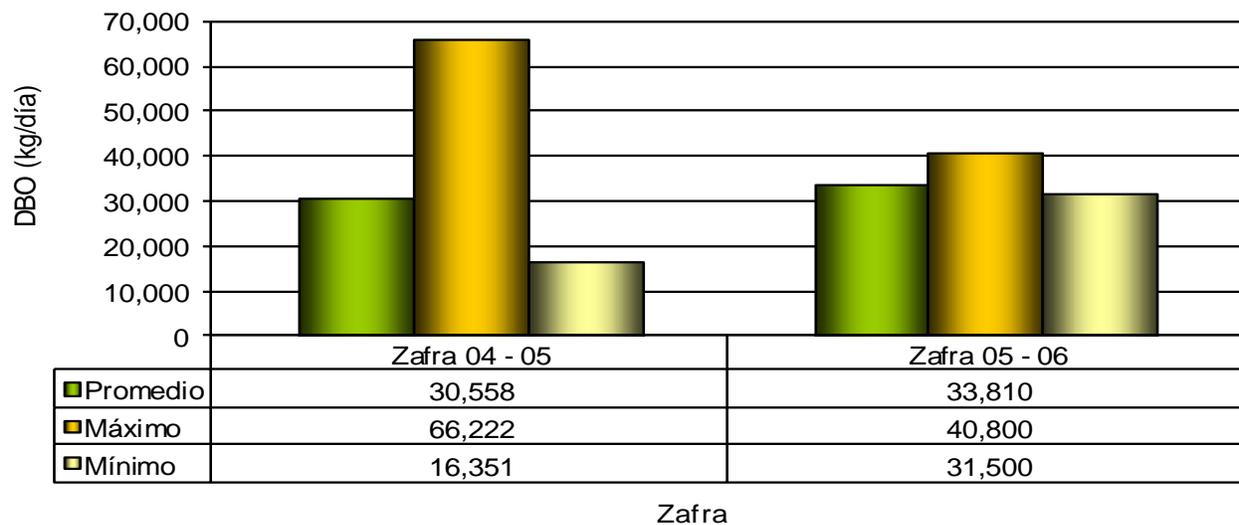


Figura 4. Valores obtenidos en la medición de las cargas kg/día de DBO vertidas al efluente durante la zafra 2004 – 2005 y 2005 – 2006 en el sistema de limpieza húmedo

(Ingenio La Unión, 2005)

En la figura anterior se muestra los valores promedio kg/día de las cargas de DBO vertidas al efluente con el sistema de limpieza húmedo de la caña de azúcar durante las dos últimas zafras. En la zafra 2004-2005 se observa un valor máximo arriba de 66,000 kg/día originados por derrames accidentales de materiales azucarados del proceso, mismos que ya no se observan en la zafra 2005-2006 debido a mejoras que se realizaron en los diferentes puntos donde ocurrían derrame de materiales.

Cuando se aplicaba lavado a la caña en la mesa alimentadora para eliminar parte de la basura, tierra, piedras pequeñas y otros agentes extraños, junto a esto se eliminan exudaciones con contenido de azúcar que se da por el efecto de la quema, también se solubilizan los carbohidratos que se encuentran en las celdas al descubierto en los cortes de los extremos de la caña, en las heridas y rajaduras que ésta tenga, razón por la cual, esta operación genera pérdidas de azúcar (Ingenio La Unión 2008) .

Las pérdidas por el uso del agua de lavado, según mediciones realizadas llegaban a valores promedio de 1.61 kilos por tonelada de caña, como se muestra en el cuadro 2 y figura 5, relacionando esta pérdida con 1.666.286 toneladas de caña molida durante la zafra obtenemos un total de 2,683 toneladas métricas de azúcar durante toda la zafra.

3.8.2 Muestreo para prueba de Trazas de azúcar en el agua de lavado de caña

El muestreo para cuantificar las trazas de azúcar en el agua de lavado se realizaba en dos diferentes puntos, cada una de las muestras con un volumen no menor de un litro, se tomaba antes y después de lavar la caña. El contenido de azúcar se determina cuantitativamente por el método espectrofotométrico de antrona a base de ácido sulfúrico al 76%.

De la diferencia de concentración de azúcar en el agua de salida y entrada, se obtiene la cantidad de azúcar eliminada de la caña por efecto de lavado, para esto era necesario conocer los caudales de agua que salían de las mesas (Ingenio La Unión 2008).

3.8.3 Análisis del agua

Los pasos a seguir en cada una de éstas pruebas para medir el azúcar contenido en el agua y determinar la demanda química y biológica de oxígeno del efluente se describen en los anexos 1, 2 y 3 (Ingenio La Unión 2008).

Los resultados de las mediciones realizadas en el efluente se presentan a continuación.

Cuadro 2. Pérdida por derrame de materiales azucarados en el sistema de limpieza industrial húmedo, zafra 2005 – 2006

Zafra	Azúcar (Kg / tonelada / Día)	Azúcar (US\$)	Melaza (Kg / tonelada / Día)	Melaza (US\$)	Pérdidas totales (US\$)
2005 - 2006 (Ingenio La Unión, 2005)	1.61	583,200	1.77	235,946	819,146

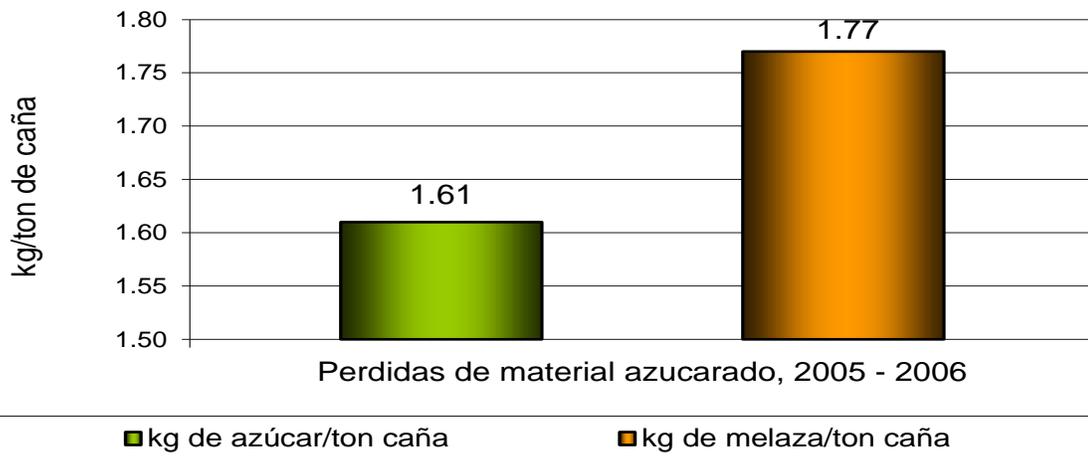


Figura 5. Pérdidas por derrame de material azucarado en el sistema de limpieza húmedo, zafra 2005-2006

(Ingenio La Unión, 2005)

En el cuadro No. 2 se observa que la cantidad de material azucarado que se derramaba por la utilización de agua en la limpieza de la caña llegó a valores de 1.61 y

1.77 kg de azúcar y melaza respectivamente por tonelada métrica de caña, representando una pérdida monetaria de US\$ 819,146.

3.8.4 Costo de mantenimiento y operación del sistema de abastecimiento de agua para el lavado de la caña

En el mes de octubre se solicitaba al departamento de Ingeniería Agrícola de la Empresa el servicio de una retroexcavadora para dar mantenimiento a la toma de agua que conducía el afluente Madre Tierra, este trabajo duraba 21 días, la maquinaria trabajaba 16 horas diarias a un costo de US\$ 45.00 / hora; el monto total de este servicio ascendía a US\$ 15,077, a un tipo de cambio de Q7.8 por US\$ 1.00. El trabajo consistía básicamente en limpieza y mantenimiento de la borda a lo largo de la toma de agua el cual tenía una longitud de 8 kilómetros. Esta actividad aunque era en terrenos de fincas particulares, le corresponde a Ingenio La Unión cubrir los gastos correspondientes.

Los costos de limpieza, mantenimiento y operación del sistema de abastecimiento de aguas industriales se presentan en el cuadro 3 (Ingenio La Unión 2008).

Cuadro 3. Costos de operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua para el lavado de la caña

Cuenta	Costo US\$
Maquinaria	15,077
Mano de obra	47,652
Costo total	62,729

(Ingenio La Unión, 2005)

En el proceso de industrialización de la caña se hacía necesario el uso del recurso hídrico, por lo que la distribución del costo que se presenta en el cuadro anterior corresponde al total del agua captada para todo el proceso, de esto el 38.79% correspondía al lavado de la caña. En el cuadro 4 se presenta un desglose de captación y distribución del agua.

Cuadro 4. Captación y distribución de agua

Afluente	Caudal de entrada (m3)
Madre Tierra	37
Rio Cristobal	31
Recirculación	48
Caudal de relleno por perdidas de evaporación	0.38
Total para el proceso y lavado de caña	116
Agua para lavado de caña	45
Uso para el proceso de fabricación	71

(Ingenio La Unión, 2005)

3.8.5 Uso de mano de obra

En el proceso de la limpieza de caña no se utiliza mano de obra, esta actividad se realiza de forma automática. El costo de la mano de obra lo representa el personal del departamento de abastecimiento de aguas industriales que está conformado por un grupo de 39 personas entre las que hay 30 de carácter temporal y 9 permanentes que se encargaban de la limpieza, mantenimiento y operación del sistema (Ingenio La Unión 2008).

En el cuadro No. 5, se muestra la cantidad y costo de la mano de obra contratada que mantenía en operación el sistema de abastecimiento de agua durante una zafra.

Cuadro 5. Costo de la mano de obra

Cantidad	Puesto	Costo US\$
1	Operador de retroexcavadora	646
1	Supervisor de aguas industriales	5,385
7	Operadores permanentes	20,094
10	Operadores temporales	14,365
20	Peones temporales	7,162
39	Costo total	47,652

(Ingenio La Unión, 2005)

3.9 SISTEMAS DE LIMPIEZA

El sistema de limpieza de la caña se ha hecho indispensable en toda fábrica donde predominan los métodos mecánicos de recolección de la caña. En algunos lugares

donde las piedras son escasas, se somete la caña a un transportador que atraviesa debajo de una cortina de agua conducente desde un afluente, o agua caliente que se recircula, procedente del sistema de condensación, aplicada a alta presión a través de toberas. El agua producto de éste lavado, con alto contenido de lodo y hojarasca, es conducida al sistema de drenajes para luego devolverla a un efluente (Spencer y Meade, 1967).

De acuerdo con Chen (1991) en algunos países como Hawái, esta práctica produce algunas complicaciones, ya que del 25 al 40% del peso bruto de la caña entregada está formada por piedras, tierra y hojarasca, bajo estas condiciones la limpieza de la caña exige plantas complejas que cuestan cientos de miles de dólares. En el proceso industrial de los ingenios azucareros se realizan actividades de limpieza que se clasifican como:

- Manuales
- Húmedos
- Secos

3.9.1 Sistema de limpieza manual

La caña de azúcar debe llegar al molino fresca y limpia para asegurar la máxima obtención de azúcar. La mejor calidad de caña, en cuanto a su limpieza se refiere, se puede obtener solamente realizando el corte y carga manual en el campo; con el inconveniente de que si la cosecha se realiza bajo éste sistema, el mismo no garantiza un eficiente abastecimiento de caña para la molienda, haciendo necesaria una combinación con el sistema de corte y alce mecanizado. Son prácticas que se realizan cuando la cantidad y tamaño de piedra son muy grandes, en esos momentos se requiere de personal para colocarlos entre los conductores auxiliar y principal de tal manera que de forma visual ubiquen las piedras y den la voz de alarma para extraerla, esto provoca atrasos ya que para sacar la piedra debe pararse por algunos minutos el proceso (Lewinski, 1993).

Ventajas

- Eliminación del 99% de la piedras
- Cero costo de mantenimiento
- Mayor aprovechamiento de rodillos en los molinos

Desventajas

- Únicamente se eliminan piedras con peso mayor a una libra.
- Para eliminar tierra, piedras pequeñas y hojarasca se necesita del recurso hídrico.
- Incrementa el costo operativo ya que por cada piedra que se extrae se paga el equivalente a una hora extra de trabajo.

3.9.2 Sistema de limpieza húmedo

Según Lewinski (1993), el lavado de la caña se realiza con equipos estacionarios ubicados en el Ingenio. La operación de lavado permite remover de la caña, los componentes de *trash* que no están unidos a los tallos, las piedras y tallos se pueden separar por diferencia de densidades, haciendo flotar la caña en grandes depósitos de agua. La corriente generada por sistemas de bombeo transportan la caña sobre la superficie del agua y todos los componentes más pesados se precipitan al fondo del depósito. Otro sistema más común es el lavado de caña por asperjamiento de agua directamente sobre los transportadores inclinados, con este método se separa eficientemente la tierra y hojas ya desprendidas. Actualmente el lavado de caña comienza a ser reemplazado por sistemas de limpieza en seco, debido a las leyes de protección del medio ambiente.

Ventajas

- Elimina en un 100% el contenido de tierra y piedras de menor tamaño
- Cero costo de mantenimiento en el equipo de lavado
- Eliminación del desgaste en equipos de fábrica
- Baja considerablemente los costos de mantenimiento en los equipos de fábrica

Desventajas

- Alto porcentaje de la hojarasca continúa su recorrido hasta el proceso de molienda, incidiendo en la baja del rendimiento de la fábrica
- Descarga de materia orgánica al efluente
- Descarga de materiales azucarados al efluente
- Altos volúmenes de consumo del recurso hídrico
- Incremento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) al efluente
- Pérdidas de sacarosa por el lavado de la caña troceada

3.9.3 Sistema de limpieza en seco

La limpieza industrial de caña en el Ingenio se realiza con equipos estacionarios, el uso de éstos facilita la remoción de hojas, piedras y tierra que viene unida a los tallos de la caña. El sistema de limpieza industrial en seco se encuentra instalado en la entrada al proceso de producción, consiste en dos juegos de mesas de caña en las que se encuentra instalado un juego de 9 ejes con discos espaciados entre sí, por cada mitad de la superficie de la mesa, los ejes trabajan paralelamente girando en la misma dirección, el espacio que existe entre discos permite que se forme un tamiz que deja pasar hojas, tierra, arena y piedras pequeñas, los cuales son removidos por una banda transportadora que descarga directamente a una tolva y de allí a camiones de palangana los cuales transportan los desechos sólidos a los campos con renovación de cultivo, logrando la reconversión de los desechos del proceso de la industrialización de la caña de azúcar en subproductos incorporándolos al suelo como materia orgánica (Lewinski, 1993).

Ventajas del sistema

- Eliminación del uso de agua
- Eliminación de las descargas de materia orgánica al efluente
- Eliminación de las descargas de materiales azucarados al efluente
- Disminución de la descarga de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) al efluente

- Bajo costo de mantenimiento del equipo
- Mejor calidad del agua del efluente
- Minimiza los riesgos de desborde del efluente en las zonas bajas en época lluviosa

Desventajas del sistema

- Implementación de una rueda en el apilador de la máquina alzadora
- Requiere una nueva forma de operar las mesas de caña, en el sistema húmedo se alimenta por bloques, El nuevo método requiere una alimentación continua
- En épocas muy secas, se da emanación de partículas de polvo al ambiente
- Se requiere que el personal utilice equipo de protección personal (EPP) consistente en lentes y mascarilla para evitar daños por partículas de polvo en el aire

(Ingenio La Unión 2008)

3.10 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LIMPIEZA

De la zafra 2005-2006 hacia atrás, en Ingenio La Unión la limpieza de la caña de azúcar se realizaba con el uso de agua. Este sistema fue muy eficiente, permitía eliminar casi en su totalidad la basura que ingresaba junto con la caña al proceso de molienda. Para llevar a cabo este proceso, se hacía conducir agua con volúmenes hasta de 45 m³/min, por medio de tuberías con diámetros de 18 pulgadas, hasta llegar a las mesas receptoras de caña.

La caña se depositaba y distribuía a lo ancho de la cama de la mesa la cual estaba formada por un conductor de tablillas metálicas que trasportaba la caña y la hacía pasar por debajo de una cascada de agua para realizar la limpieza.

En Ingenio La Unión, en esta zafra 2005-2006 se produjeron 1, 666,286 toneladas métricas de caña que se molieron a razón de 11,902 toneladas por día; el rendimiento promedio por tonelada fue 112 kg de azúcar, lo que significó una producción promedio de 1,330.4 toneladas métricas de azúcar por día.

El 100% de la caña molida era pasada por el proceso de limpieza húmedo, en este sistema quedaban residuos de basura que no se lograban eliminar y ocasionaban

pérdidas en el proceso de molienda. La basura viene junto con la caña y al pasar a báscula para ser pesada, se toma como si fuera caña pero al ser procesada no contribuye con azúcar, más bien absorbe parte de ésta al homogenizarse con el bagazo de la caña llevándose parte del azúcar consigo (Ingenio La Unión 2008).

3.10.1 Pérdida de caña por efecto del proceso

En el sistema húmedo de limpieza de caña, las pérdidas de trozos de caña moledera por el arrastre hacia los drenajes por el efecto de la fuerza y turbulencia del caudal que se manejaba en esa actividad, llegaba a valores que se calculaban entre 50 y 60 toneladas de caña por día (ver cuadro No. 6). Se tomaron acciones para medir esas pérdidas pero no se logró dado a que las condiciones del área ponían en riesgo la integridad de los trabajadores; el rendimiento promedio estaba en 112 kg de azúcar por tonelada de caña, el valor de la tonelada se cotizaba en US\$ 19.00 (tipo de cambio Q7.90 por US\$ 1.00), (Ingenio La Unión 2008).

Cuadro 6. Pérdidas de toneladas de caña por día y su impacto económico

Descripción	Zafra 2005 - 2006
Pérdida de toneladas de caña por día	55
Valor tonelada de caña (US\$)	19
Perdida por día (US\$)	1,045
Perdidas totales en la zafra (US\$)	146,300

(Ingenio La Unión, 2005)

3.10.2 Medición de los desechos sólidos en el sistema de limpieza húmedo

El cultivo y procesamiento de la caña de azúcar se caracteriza por su impacto ambiental. La aplicación de tecnologías de punta en los procesos productivos ha motivado el alcance de una industria sostenible y amigable con el ambiente, a través de ella se puede minimizar, tratar y controlar el uso de los efluentes y el manejo de los desechos sólidos tanto en el campo como en las fábricas (Ingenio La Unión 2008).

En la zafra 2005-2006, se realizaron ensayos para determinar la cantidad de basura, tierra y otros residuos sólidos que se trasladaban junto con la caña desde los campos de cultivo hasta el ingenio; para lograr esto se determinó que las pruebas se realizarían tomando como muestra el 100% del viaje de un camión aproximadamente 50 toneladas métricas de caña; se colocaron lonas en el suelo y sobre ellas se colocó la caña con todo su contenido y se procedió a clasificar en sus diferentes componentes, la actividad la realizó un grupo de 8 personas. Se realizaron en total 5 mediciones y con los resultados en valores porcentuales se pudo determinar con un valor aproximado cuanto era la carga de material sólido que podría estar recibiendo el efluente (Ingenio La Unión 2008).

Cuadro 7. Ensayos de medición para encontrar porcentajes de desechos sólidos en la caña recibida.

Componente	Valores
Molida por día (tonelada métrica)	11,960.00
Tamaño de la muestra (tonelada métrica)	55.00
Porcentaje de tierra	0.69
Porcentaje de basura (hojas y raíces de caña)	1.16
Toneladas métricas de tierra	82.52
Toneladas métricas de basura	138.74
Total de material sólido por día (tonelada métrica)	221.26

(Ingenio La Unión, 2005)

El cuadro anterior muestra que en un solo día, podría enviarse más de 221 toneladas métricas de material sólido al efluente.

3.10.3 Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación empleadas para reducir el impacto ambiental negativo se basó en una serie de factores, entre los cuales destacan: las características del proyecto, tecnología usada, condiciones climáticas y de operación.

La recuperación y el aprovechamiento agrícola de los desechos sólidos producto de la limpieza de la caña en seco es una etapa clave para reducir la carga orgánica y desechos sólidos de las aguas de los efluentes.

Los desechos sólidos al igual que la cachaza, pueden aplicarse en los campos con renovación de cultivo y utilizarlos como abono orgánico mejorando la textura de los suelos, el desarrollo y crecimiento radicular de la planta e incrementando la retención del agua en el suelo.

El manejo de los desechos puede entonces contribuir con la reducción de los costos en el manejo del cultivo minimizando el uso de fertilizantes agroquímicos (Ingenio La Unión 2008).

IV. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de las áreas con plantaciones de cultivo de caña, las exigencias que el cultivo naturalmente tiene respecto al recurso hídrico para su germinación y crecimiento, así como el uso que la industria ubicada en el área del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa hacía de este recurso en el pasado, se convirtió en una amenaza para el abastecimiento del vital líquido a Ingenio La Unión.

En el año 2006 el Congreso de la República, publicó el Acuerdo Gubernativo 236-2006, que tiene como objetivo regular el consumo de agua, así como el pago por el uso de éste recurso, Ingenio La Unión para no ser considerado como ente generador de cargas contaminantes a los efluentes, y evitar presiones no deseadas en el futuro, consideró oportuno iniciar con la búsqueda de opciones que concluyeran con el saneamiento del recurso hídrico a través de la incorporación de tecnologías limpias, en el año 2006 se realizó el montaje del sistema de limpieza industrial en seco de la caña con el objetivo de eliminar el consumo del recurso hídrico en el proceso de limpieza.

Con la implementación del sistema de limpieza industrial en seco, en las últimas cinco zafas se eliminó el uso de 11 millones de metros cúbicos de agua por zafra, se redujo el daño por abrasión a los equipos de fabricación que ocasionaba el arrastre de tierra y arena reduciendo considerablemente los costos de mantenimiento, se recuperó 1.40 kilogramos de azúcar por tonelada métrica de caña molida por derrames de materiales azucarados, recuperación de caña que se tiraba a los efluentes y en promedio se han extraído 27,000 toneladas métricas de basura equivalentes al 1.14% de la caña molida que con el sistema anterior se enviaban al efluente. Con éste sistema se ha logrado la reconversión de los desechos del proceso de la industrialización de la caña de azúcar en subproductos incorporándolos al suelo como materia orgánica.

V. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los efectos financieros y ambientales como resultado del proceso de sustitución del sistema tradicional de limpieza húmeda de la caña de azúcar por un sistema de limpieza industrial en seco, en Ingenio La Unión, S. A., durante el periodo 2004 – 2008.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Cuantificar el porcentaje de recuperación de materiales azucarados y su valor financiero en el nuevo sistema de limpieza industrial de la caña de azúcar
2. Estimar los beneficios financieros obtenidos por la eliminación del agua en el proceso de limpieza industrial de la caña de azúcar.
3. Determinar la reducción de las cargas de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), producto de la sustitución del sistema de lavado.
4. Determinar las toneladas de material sólido producido por el sistema de limpieza industrial en seco de la caña de azúcar su utilización en los campos de cultivo e incorporación de toneladas por hectárea.

VI. METODOLOGÍA

Para la realización del presente trabajo, se utilizó la metodología de estudio de caso la cual se basa en el método de evidencia documental, que contempla el ordenamiento de cuatro pasos fundamentales, que se describen a continuación:

6.1 DISEÑO DE INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS

Para recabar la información necesaria, y obtener respuesta de las variables de estudio, fue necesario buscar la información en registros electrónicos que se encuentran en el proceso de Aseguramiento de la Calidad en el departamento de Laboratorio quien es el encargado de realizar las mediciones analíticas así como otras fuentes de información que se mencionan a continuación:

- Base de datos del Área de Control de Calidad
- Documentos técnicos de la agroindustria azucarera
- Biblioteca del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar (CENGICAÑA)

6.2 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El proceso consistió en revisar información de las dos últimas de zafras 2004 – 2005 y 2005 – 2006 en las que la limpieza industrial de la caña se realizó con el uso de agua. Se recopiló la siguiente información:

- Consumo de metros cúbicos de agua por minuto en el lavado de la caña
- Cargas de DBO y DQO en las aguas servidas

Posteriormente se consultó información generada en el periodo 2006 – 2007 que fue la primera zafra con el nuevo sistema de limpieza en seco. Se le dio mayor énfasis a la información relacionada con las siguientes variables:

- Consumo de metros cúbicos de agua por minuto en el lavado de la caña
- Cargas de DBO y DQO en las aguas servidas
- Toneladas de caña recuperadas por día
- Toneladas o porcentaje (%) de basura extraída por día

- Costos por implementación del sistema de limpieza en seco

La información recabada en los registros, fue objeto de ordenamiento, análisis y elaboración de gráficas para facilitar la interpretación de los resultados, con los cuales se realizó la conclusión del estudio de casos.

6.3 VARIABLES DE ESTUDIO

6.3.1 Toneladas de caña recuperadas

La recuperación de la caña se realiza de forma manual con 3 personas en turnos rotativos de 8 horas, esta actividad se basa en extraer la caña que pasa en el tamiz móvil junto con la basura y llega a la banda transportadora de esta, para determinar la cantidad, se extrae y se pesa.

6.3.2 Cantidad de agua para el lavado de la caña

Se determinó tomando lecturas en los medidores de flujo colocados en las tuberías que conducen el agua a las mesas de caña.

6.3.3 Cargas de DBO y DQO en el agua residual

Se realizaron muestreos semanales del agua de los afluentes y efluentes para determinar analíticamente la carga adicional por el proceso industrial.

6.3.4 Toneladas de basura extraídas por el sistema de limpieza industrial

Este material se extrae por medios mecánicos con la ayuda de camiones de volteo, para determinar las toneladas se pesa cada uno de los viajes en la báscula pesa camiones.

6.3.5 Determinación de los Costos del proyecto

Los costos del montaje del tamiz móvil se determinaron en base a un presupuesto realizado, considerando los siguientes rubros:

- a. Materiales
Se incluye todo lo relacionado a perfiles, motores, rodamentos, tracción y material eléctrico
- b. Obra Civil
Se refiere a la obra terminada donde incluye los materiales y mano de obra relacionada a este rubro
- c. Mano de obra
Se refiere al personal que participo en el montaje y puesta en marcha del proyecto
- d. Costo de operación
En este rubro se incluyó el personal que tubo bajo su responsabilidad la operación del tamiz móvil.

6.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Con la información de los registros electrónicos se obtuvo un histórico del comportamiento del consumo de agua en el proceso industrial, cargas de DBO y DQO en el agua residual, toneladas de basura extraídas por el sistema de limpieza industrial y relación costo beneficio. Se realizaron gráficas que permitieron comparar diferentes años del periodo en estudio, estableciendo las diferencias entre el antes y el después, determinando así el comportamiento de las diferentes variables objeto de estudio.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cambio de limpieza industrial en seco de la caña de azúcar en Ingenio La Unión, se implementó debido a las limitaciones y escases hídrica la cual se agudiza año con año. Esto se consideró como una amenaza para la operación industrial del ingenio lo que motivo a la búsqueda de alternativas e incorporación de tecnologías que ayudaran a minimizar el uso del recurso hídrico en el proceso de limpieza.

7.1 OPCIONES ANTE EL REGLAMENTO DE AGUA

En el año 2006 el Congreso de la República, publicó el Acuerdo Gubernativo 236-2006 que tiene como objetivo regular el consumo de agua así como el pago por el uso de éste. En vista de ello, Ingenio La Unión consideró oportuno iniciar con la búsqueda de opciones que concluyeran con un proyecto de saneamiento del recurso hídrico a través de la incorporación de tecnologías limpias y lograr la reconversión de los desechos del proceso de la industrialización de la caña de azúcar en subproductos.

Las alternativas presentadas para evitar que Ingenio La Unión fuera considerado “ente generador de cargas contaminantes” son las siguientes:

- Utilización de aguas de lavado de caña en proyectos de riego del cultivo de la caña de azúcar (costo aprox. US\$ 1,500,000)
- Recuperación de agua en lagunas de decantación y tratamiento para reducción de DBO (costo aprox. US\$ 1,500,000)
- Limpieza industrial de la caña en seco (costo aprox. US\$ 500,000).

7.1.1 Selección del proyecto ante el reglamento de agua

Después de evaluar las 3 opciones, se optó por la que ofrecía más conveniencia y economía, por lo que se decidió por el sistema de limpieza en seco, fue así como surgió el proyecto, y al finalizar la zafra 2005-2006 se dio inicio a éste, con el fin de minimizar o eliminar el consumo del recurso hídrico en la limpieza de la caña de azúcar.

7.2 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

En el año 2006 con la asesoría de la Compañía Consultores de Ingenios, S.A. (CIASA), en el periodo de junio a octubre se llevó a cabo la modificación de la estructura de las

mesas receptoras de caña y la implementación de un innovador sistema de limpieza en seco de la caña de azúcar, el proyecto estuvo a cargo del área de Maquinaria. La propuesta del proyecto la realizó el jefe de maquinaria a la Gerencia Industrial, donde se resaltó la necesidad del cambio del sistema de limpieza de la caña de azúcar húmedo a un innovador sistema en seco, eliminando de ésta manera la utilización de agua en éste proceso.

El planteamiento del proyecto se hizo en base a la siguiente agenda:

- Opción ante el reglamento de aguas residuales
- Impacto en el medio ambiente
- Diseño mesas de caña para lavar en seco
- Costo del proyecto
- Beneficios / costo

7.2.1 Ventajas que ofrece el proyecto

Las ventajas competitivas identificadas en el proyecto son:

- Eliminación del material sólido en el efluente
- Mejoramiento en la textura del suelo por incorporación de material sólido
- Recuperación de áreas arenosas por desborde de ríos aplicando material sólido
- Eliminación del uso del agua en el lavado de la caña
- Impacto en el Medio Ambiente, adoptando el sistema de limpieza en seco, se eliminaron las cargas de material sólido y de materiales azucarados al efluente.
- Incremento en el rendimiento de azúcar por tonelada métrica de caña
- Con el sistema de limpieza húmedo se corría el riesgo de que el Ministerio de Salud cancelara la licencia operativa del ingenio por el impacto negativo que se ocasionaba al Medio Ambiente.

7.2.2 Diseño y Descripción del Proyecto

La operación en éste sistema se da de la siguiente manera: el camión descarga la caña sobre la primera mesa, ésta la transporta y la deja caer sobre una especie de tamiz formado por ejes con discos giratorios colocado antes de la segunda mesa (como se muestra en la figura No. 3 y 4), la caña limpia sigue su camino hacia el conductor principal de caña. Este sistema consiste básicamente en 18 ejes con discos espaciados entre sí donde se utilizan dos series de 9 ejes por cada mitad de la superficie de la mesa, ubicada al inicio de la segunda mesa alimentadora, los ejes trabajan paralelamente girando en la misma dirección, los discos se traslapan entre sí de manera que el espacio existente entre ambos permite que se forme un tamiz que deja pasar hojas, tierra, arena y piedras pequeñas, que se transportan por una banda de hule descargando directamente a una tolva elevada y de ésta a un camión de palangana para luego conducirlo a los campos con renovación de cultivo para ser aprovechado como abono orgánico.

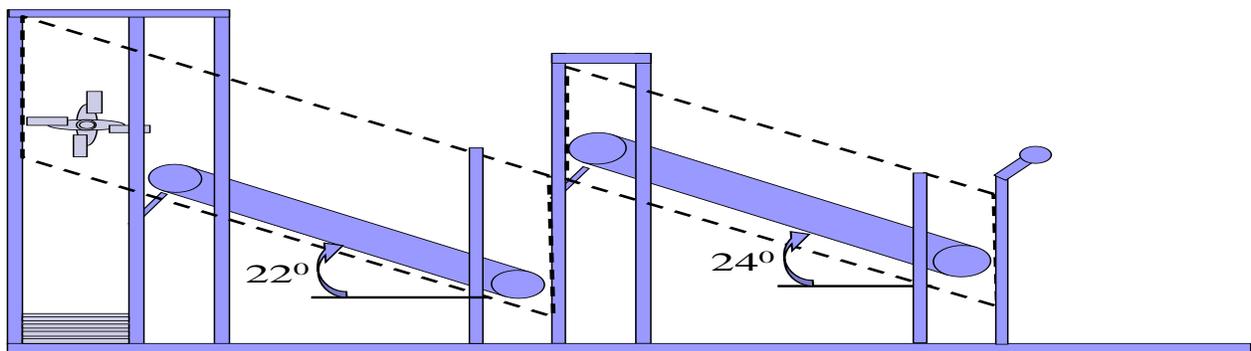


Figura 6. Vista lateral del diseño de la mesa de caña, usando el sistema de limpieza húmedo, zafra 2005 – 2006

(Ingenio La Unión, 2005)

La figura 6, muestra la forma de cómo estaba la mesa inicialmente, el ángulo de inclinación era de 22° a 24° con una sola mesa que alimentaba directamente al conductor de caña, en ésta mesa se realizaba la limpieza con agua y se llegaba a consumir hasta 45 m³ por minuto.

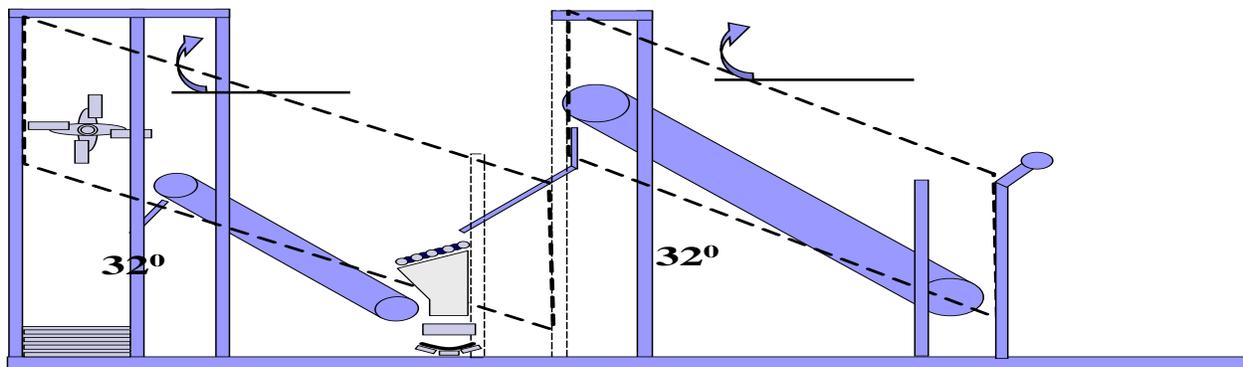


Figura 7. Vista lateral de la mesa de caña con modificaciones para el sistema de limpieza en seco, zafra 2006-2007

(Ingenio La Unión, 2005)

La figura 7, muestra una estructura muy parecida a una que se observó en una visita que personal técnico del área de Maquinaria hiciera a ingenios de Brasil, quienes aprovecharon la oportunidad para trasladar la idea a Ingenio La Unión. Este diseño es de una mesa con doble estructura y tamiz móvil por medio del cual y por estar compuesto por un juego de ejes y discos rotativos y traslapados entre sí, facilitaban la separación de basura, tierra y piedras pequeñas que vienen del campo junto con la caña, lo que resultaría ser una opción para la eliminación del agua en la limpieza de la caña.

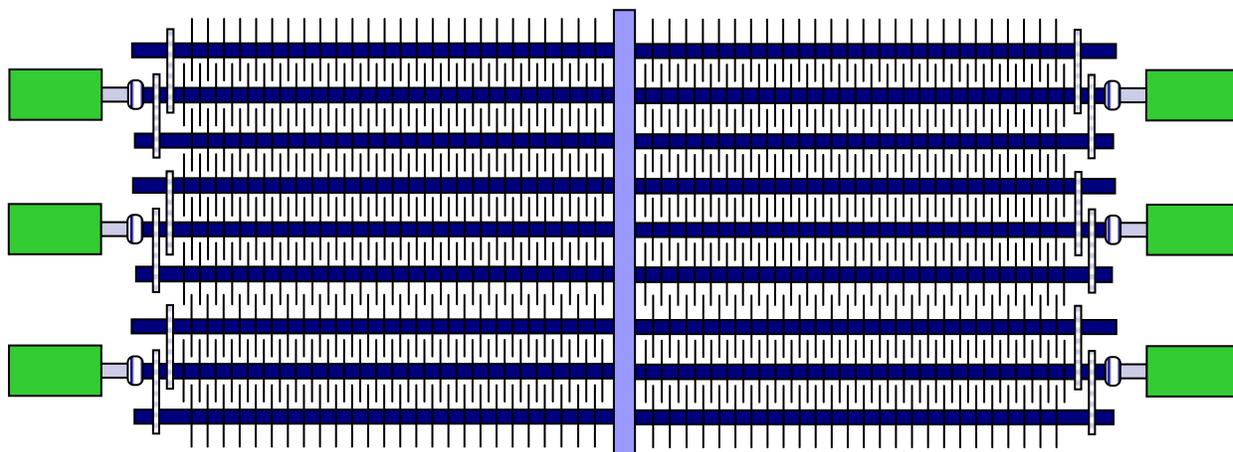


Figura 8. Vista de planta del tamiz móvil para implementar en la mesa de caña, en el sistema de limpieza en seco

(Ingenio La Unión, 2005)

La Figura anterior muestra el juego de ejes con sus respectivos discos traslapados entre sí, que sirven de tamiz para la separación de la basura, tierra y piedras.

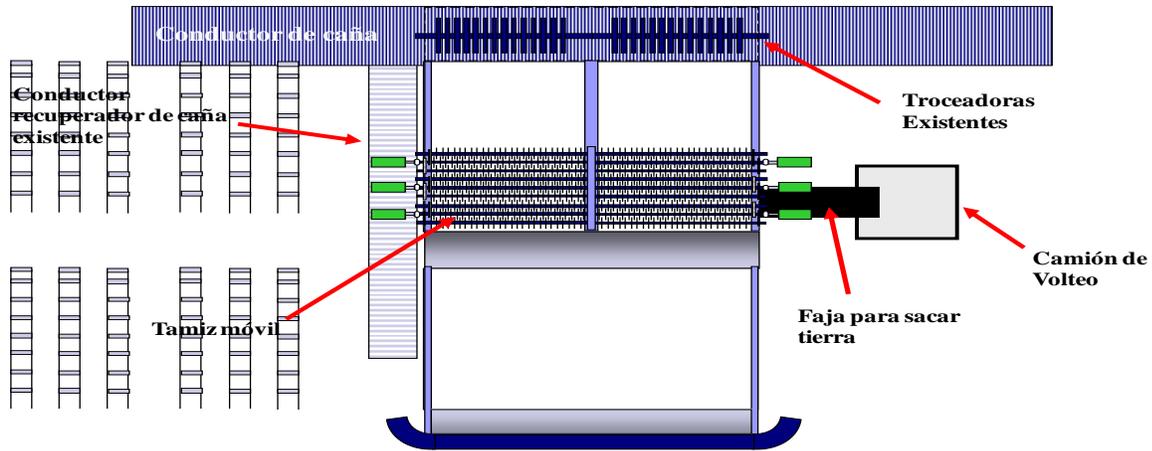


Figura 9. Vista de planta del nuevo diseño de la mesa de caña propuesta para el proyecto de limpieza en seco, mayo del 2006

(Ingenio La Unión, 2005)

La figura 9, muestra la estructura completa de cómo quedaría la mesa al final del proyecto.

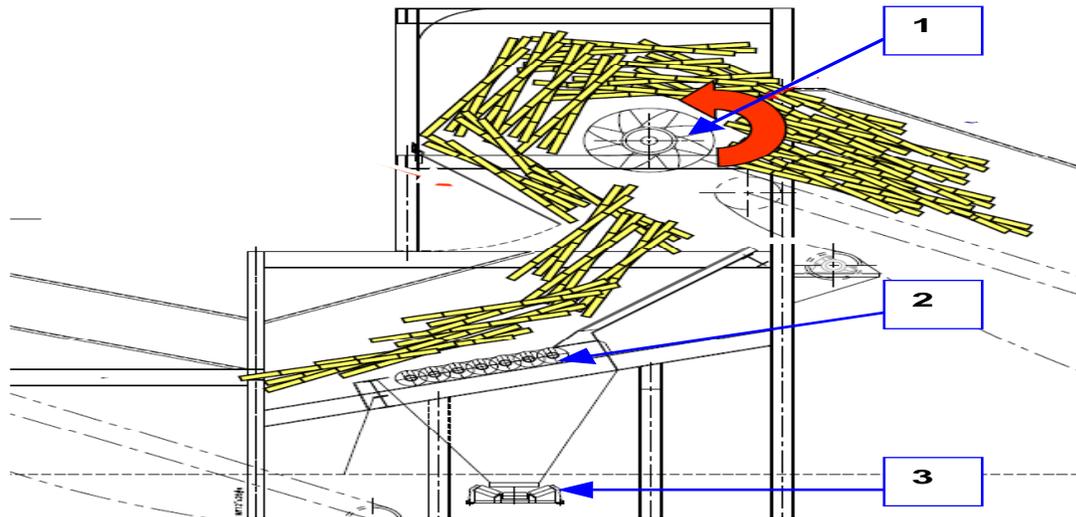


Figura 10. Vista de perfil del nuevo diseño de la mesa de caña y ruta a seguir por la caña en el proceso de limpieza en seco

(Ingenio La Unión, 2005)

La figura 10, muestra la ruta que sigue la caña en el proceso de limpieza en seco.

1 El eje pateador impulsa la caña hacia arriba para ayudar a sacudir la caña y desprender la tierra húmeda que pudiera venir adherida a la caña.

2 Tamiz móvil donde se separa el material sólido y basura que viene junto con la caña.

3 Conductor que conduce la basura hasta el punto de acopio donde es depositada para que posteriormente se carguen los camiones de volteo para trasladar a los campos de cultivo.

7.2.3 Costo del Proyecto

El costo aproximado del cambio de sistema de limpieza de la caña es de US\$ 500,000, el cual se construirá en 90 días con personal técnico y operativo del Área de maquinaria.

7.2.4 Beneficios financieros que ofrece el proyecto

El proyecto ofrece eliminar el uso del agua en la limpieza de la caña, se espera una baja en las pérdidas de azúcar, debido a que cuando la caña se quema se da el fenómeno de exudación y parte de la sacarosa sale a la superficie de la corteza, además al transportarse sufre golpes que hacen salir jugo, y al aplicar agua en la limpieza de la caña se pierde el azúcar que fácilmente representa 1.61kg de azúcar 1.77 kg de melaza por tonelada de caña.

7.2.5 Primeros Resultados

El proyecto se llevó a cabo en el periodo de junio a octubre del año 2006. La zafra 2006 - 2007 fue el periodo de prueba, el cual sirvió para determinar la eficiencia del proyecto, los resultados fueron muy alentadores se comparó con los datos de zafra anterior y se pudo comprobar una baja en los derrames de materiales azucarados así como una disminución de las cargas al efluente, al finalizar este periodo de pruebas se aprovechó para hacer algunos cambios en los accesorios y considerar algunas observaciones realizadas por personal operativo y de supervisión con miras a mejorar el sistema.

7.2.6 Factores que favorecieron o dificultaron el proyecto

Dentro del desarrollo del proyecto hubo varios factores que ayudaron a que éste se llevara a cabo en el menor tiempo, que fuera fácilmente adaptado por su diseño y que el personal operativo adquiriera la destreza para operarlo en el menor tiempo posible. Cabe mencionar aquí, los factores favorables que resaltaron en la realización y operación del proyecto:

- A. Diseño original fácilmente adaptable a la infraestructura existente, lo que permitió hacerlo sin especificaciones especiales.
- B. Un sistema simple y sencillo en cuanto al equipamiento necesario para su operación, por el tiempo disponible los materiales fueron fácilmente obtenibles.
- C. Prácticamente en 10 días el personal adquirió la destreza para la operación del nuevo sistema de limpieza en seco.
- D. La disposición de la Gerencia Industrial en cuanto a la asignación de recursos físicos y de personal para la implementación y operación del nuevo sistema.
- E. La innovación permitió a INGENIO LA UNION, S.A., la operación de un proyecto de reutilización de agua que permitirá para la próxima zafra disminuir la CANTIDAD DE AGUA que se capta del AFLUENTE con una reducción de hasta el 70 % del FLUJO DE AGUA

7.3 VARIABLES RESPUESTA

Inicialmente en Ingenio La Unión, la limpieza de la caña de azúcar se realizaba utilizando agua, a partir de la zafra 2006 – 2007 se implementó un innovador sistema de limpieza en seco que funciona a base de un tamiz móvil que permitió la fácil remoción de sólidos, minimizando la pérdida de materiales azucarados. En esta fase se hace una comparación de los resultados entre la fase inicial y la actual a manera de determinar cuáles fueron las variables competitivas así como los efectos ambientales por el cambio del sistema de limpieza en el proceso.

7.3.1 Descripción del proceso de limpieza

En Ingenio La Unión, actualmente se utiliza el sistema de limpieza industrial en seco de la caña de azúcar que permite la fácil remoción de desechos sólidos, minimizando la pérdida de materiales azucarados y caña que se conducían al efluente. Este es un modelo que empezó a funcionar en la zafra 2006 – 2007 y que ha permitido extraer por medios mecánicos hasta 129 toneladas métricas de basura por día, de las 138 toneladas métricas que se obtuvieron en el ensayo que se realizó de forma manual, la diferencia que representa un 7% puede ser el resultado de diferentes causas tales como:

- Material muy adherido a la superficie del tallo por contenido de miel que la planta exuda al momento de la quema y que por medios mecánicos no es posible separar.
- Por las condiciones climáticas específicamente de lluvia que en una época de la cosecha pueda incrementar el peso por humedad de los desechos orgánicos.

A continuación se presenta una vista del sistema en operación.



Figura 11. Tamiz móvil funcionando como separador de material sólido

(Ingenio La Unión, 2005)

La figura anterior muestra la parte interna de la mesa con tamiz móvil, operando en la zafra 2006 – 2007, puede notarse 9 juegos de discos por cada mitad de la mesa (señalados dentro de los círculos), que sirve para separar basura, tierra y piedras,

éstos residuos se depositan sobre una banda transportadora que se puede visualizar en la figura 14 de la página 53.

7.3.2 Pérdida de caña por efecto del proceso de limpieza

Con la implementación del nuevo sistema de limpieza de la caña de azúcar, se logró recuperar 9,052 toneladas métricas de caña.

El cuadro 9 muestra los valores en tonelada métrica de caña recuperada, eliminando las pérdidas que se tenían con el sistema tradicional.

Cuadro 8. Toneladas de caña recuperada por cambio del sistema de limpieza

Mes	Sistema de limpieza	Sistema de limpieza en
	Húmedo Zafra 05 - 06	Seco Zafra 06 - 07
Diciembre	0	1923
Enero	0	1760
Febrero	0	1340
Marzo	0	1605
Abril	0	2424
Total	0	9,052

(Ingenio La Unión, 2005)

En el cuadro 8 también se observan los resultados del nuevo sistema que entro a trabajar en la zafra 2006-2007 con el que se recuperó en promedio 9,052 toneladas métricas de caña durante esta zafra, lo que equivale a una diferencia positiva anual de US\$ 186,943 por este concepto. En el sistema anterior únicamente se podía estimar la cantidad de caña que se perdía.

7.3.3 Productividad de la caña

En Ingenio La Unión, en la zafra 2006-2007 se produjeron 1, 983,713 toneladas métricas de caña que se molieron a una razón de 11,144 toneladas por día, el rendimiento promedio por tonelada fue 112.2 Kg de azúcar lo que significó una producción promedio de 1,251 toneladas métricas de azúcar por día.

El nuevo sistema de limpieza permitió procesar 464 toneladas métricas por hora equivalentes al 100% de la caña recibida.

7.4 USO DE AGUA EN EL PROCESO

En esta fase ya no se utilizó la toma Madre Tierra, siendo reemplazada por la cuenca del Río Petaya. La captación de agua para los procesos en Ingenio La Unión, se realizó de dos cuencas; Río Cristóbal con 4 m³/min y Río Petaya con 17 m³/min, el total de captación de agua era de 21 m³/min, la recirculación se incrementó en 66 m³/min para formar un caudal de trabajo de 135 m³/min.

En el cuadro 9 existe un incremento de 65 m³/min en la recirculación, esta demanda de agua se da solo al inicio de la zafra que es donde se necesitaba llenar una laguna y de allí en adelante únicamente se hacían rellenos de 0.38 m³/min debido a las pérdidas por evaporación y derrames.

Cuadro 9. Cuencas para captación de agua, antes y después del cambio de sistema de limpieza de la caña

Afluente	Caudal de entrada (m3)	
	Zafra 05-06	Zafra 06-07
Madre Tierra	36.57	
Rio Cristobal	30.58	3.79
Rio Petaya		17.03
Recirculación	48.45	113.55
Caudal de relleno por perdidas de evaporación	0.38	0.38
Total	115.97	134.75
Agua para lavado de caña	45.42	0.00
Uso para el proceso de fabricación	70.55	134.75

(Ingenio La Unión, 2005)

En el diagrama de la figura 12, se aprecian los cambios realizados para eliminar el lavado de la caña, adicionalmente se instaló una torre de enfriamiento para incrementar la recirculación y aprovechamiento del agua. Este cambio optimizó el uso de agua minimizando la captación de éste recurso en los afluentes, se redujo de 67.5 m³/min a

0.38 m³/min el caudal que se devolvía al efluente cuando se utilizaba el sistema de limpieza húmedo.

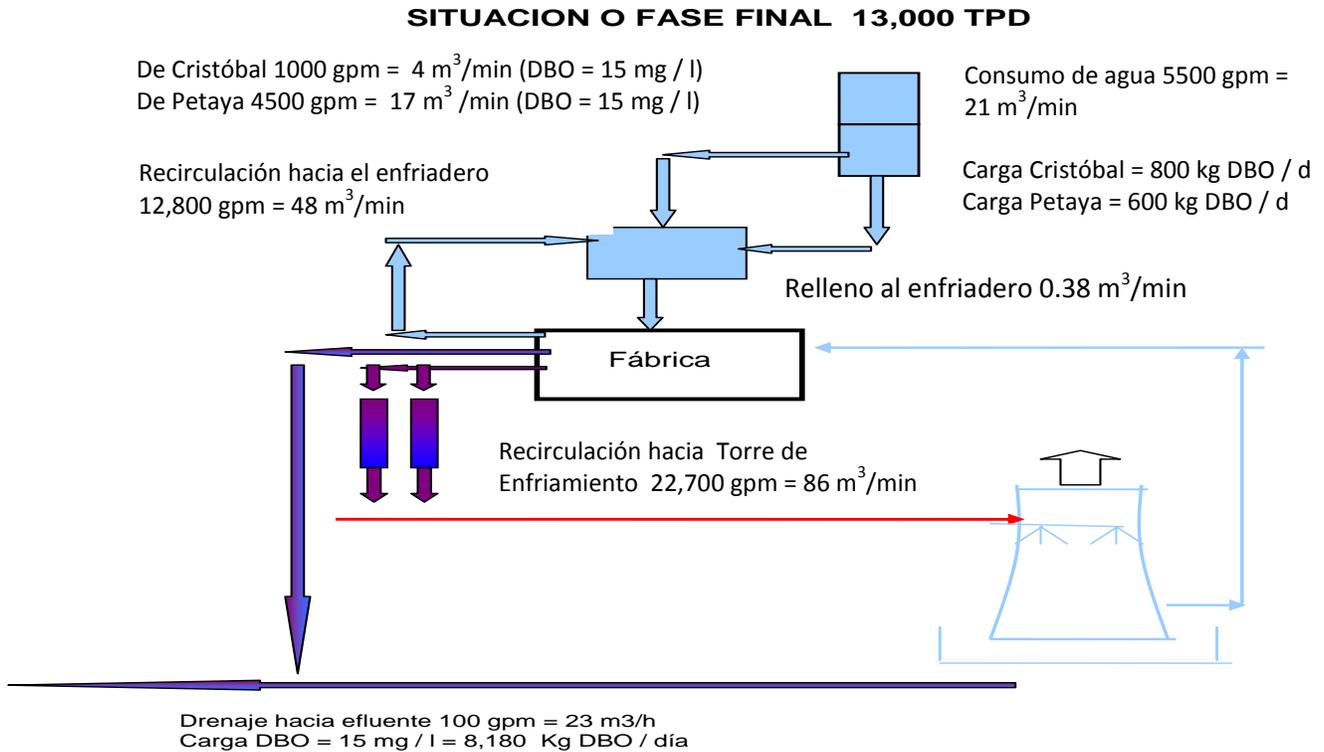


Figura 12. Diagrama modificado de captación, uso y recirculación del agua para eliminar el sistema de limpieza húmedo

(Ingenio La Unión, 2005)

7.4.1 Actividades de Muestreo

El programa de muestreo y análisis para verificar la calidad de los derrames que llegaban al efluente continuo realizándose en los mismos puntos de la fase inicial, de éstas actividades se obtuvo los resultados que se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 10. Comparación de cargas al efluente fase inicial – fase final (kg DBO /día)

	Sistema de limpieza Húmedo	Sistema de limpieza en Seco	
	Zafra 05 - 06	Zafra 06 - 07	% de mejora en la calidad del agua
Promedio	33,810	8,180	75.81
Máximo	40,800	12,960	68.24
Mínimo	31,500	1,200	96.19

(Ingenio La Unión, 2005)

En las mediciones realizadas para comparar el antes (zafra 2005-2006) y el después (zafra 2006-2007), se observa una reducción promedio de 75.81% en la concentración de DBO.

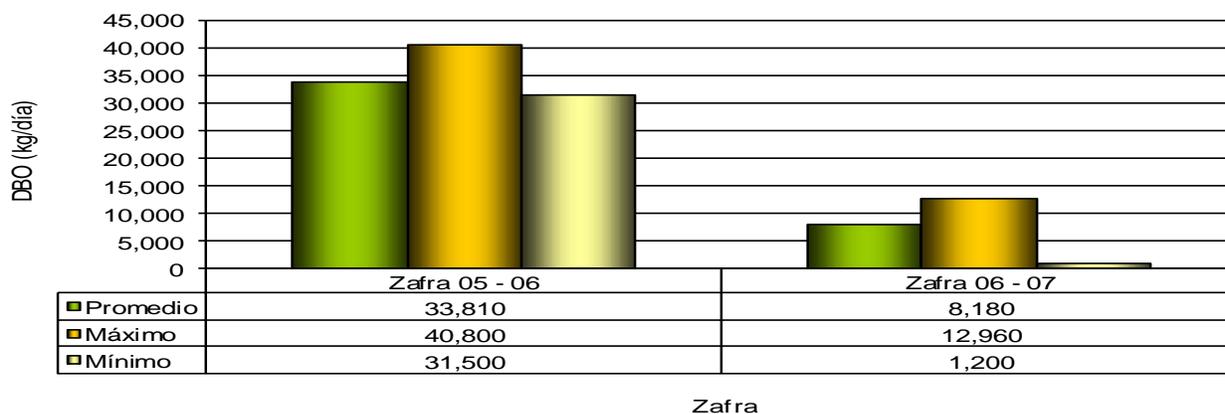


Figura 13. Reducción de las cargas inorgánicas entre la zafra 2005-2006 y zafra 2006-2007

(Ingenio La Unión, 2005)

7.4.2 Recuperación de Material Azucarado

Con la eliminación del agua, el nuevo sistema permitió recuperar el 87% de 1.61 kg de azúcar y el mismo porcentaje de 1.77 kg melaza. En el siguiente cuadro se muestran los valores de recuperación.

Cuadro 11. Pérdidas y recuperación de kilogramos de azúcar y melaza por tonelada métrica de caña

		Pérdidas de azúcar y melaza, Sistema de limpieza Húmedo Zafra 2005 / 2006	Recuperación de Azúcar y melaza Sistema de limpieza en Seco Zafra 2006 / 2007	Pérdida por el proceso
Promedio kg	Azúcar / TCM	1.61	1.40	0.21
Promedio kg	Melaza / TCM	1.77	1.54	0.23

(Ingenio La Unión, 2005)

7.5 COSTO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Durante el periodo de la zafra 2006-2007 se realizó una serie de mediciones con el objetivo de establecer la rentabilidad del proyecto comparando la información que se tenía cuando se realizaba la limpieza de la caña con el sistema húmedo con la información obtenida en el nuevo sistema. Para poder realizar ésta comparación fue necesario tener el monto de la inversión del proyecto, días zafra, toneladas de caña molida y los resultados de las mediciones.

A continuación se presenta el detalle del monto de la inversión.

Cuadro 12. Distribución del monto de la inversión

ITEM	COSTO (\$)
Materiales	220,000
Mano de obra	90,000
Obra civil	15,000
Costo de operación en zafra	100,000
Costo total	425,000

(Ingenio La Unión, 2005)

Se realizó un análisis financiero para establecer cuál era el costo por eliminar las impurezas de una tonelada métrica de caña, tomando en cuenta que para el sistema de limpieza húmedo era en base a la captación de agua y en el nuevo sistema era el

costo de operación del sistema de tamiz móvil donde se incluye la mano de obra por separar la caña moledera de la basura que extrae el sistema y el pago por renta de maquinaria pesada.

7.5.1 Uso de mano de obra

En el nuevo sistema se utilizan 38 personas, comparando con la fase inicial (zafra 2005-2006) se contrata una persona menos. En la fase final se trasladaron 9 personas para recolectar la caña moledera que el tamiz móvil deja pasar junto con la basura, quedando distribuido el personal como se muestra en el cuadro 13.

Cuadro 13. Comparación del uso y costo de mano de obra

Puesto	Zafra 2005 - 2006		Zafra 2006 - 2007	
	Cantidad	Costo US\$	Cantidad	Costo US\$
Operador de retroexcavadora	1	646	1	123
Supervisor de aguas industriales	1	5,385	1	5,385
Operadores permanentes	7	20,094	7	20,094
Operadores temporales	10	14,365	10	14,365
Peones temporales	20	7,162	10	3,581
Peones temporales (recuperadores de caña)			9	3,223
Costo total	39	47,652	38	46,770

(Ingenio La Unión, 2005)

En el cuadro 13 se observa que la cantidad de mano de obra se redujo en una persona, los costos por este rubro podría decirse que fueron los mismos, registrándose un pequeño ahorro de US\$ 880.

7.6 PRODUCCIÓN TOTAL Y MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS

La producción de material sólido se cuantificó tomando los pesos de las unidades de volteo que sacaban la basura desde los conductores de ésta. Al entrar en marcha el nuevo sistema de limpieza de la caña, se implementó desde el inicio de la zafra un programa de muestreo del material sólido que se recolectaba en el tamiz móvil, para

esto fue necesario formar tres grupos de trabajo de dos personas cada uno. Lo anterior fue con el objetivo de evaluar los componentes de la basura y mejorar posibles fallas.

7.6.1 Componentes de los desechos sólidos

El muestreo para clasificar el tipo de desechos sólidos recolectados por el tamiz móvil del sistema de limpieza en seco se realizaba tres veces por semana, se tomaba en la banda transportadora de basura una muestra de forma aleatoria con un tamaño aproximado de 40 a 50 Kg., obteniendo en promedio los siguientes resultados:

Cuadro 14. Componentes de los desechos sólidos

Componente	Zafra 2005-2006 Sistema Húmedo		Zafra 2006-2007 Sistema Seco	
	Porcentaje	Toneladas	Porcentaje	Toneladas
Caña	0	0	18	4,144
Hoja	0	0	24	5,525
Tierra	0	0	29	6,676
Humedad	0	0	29	6,676
Total	0	0	100	23,021

(Ingenio La Unión, 2005)

La información del cuadro 14, muestra que en la fase inicial no se tuvo información de los componentes de la basura separada con la utilización de agua, el nuevo sistema facilito esta actividad estableciendo que aun recuperando 9,052 toneladas métricas de caña durante la zafra, todavía se pierden 4,144 toneladas según esta clasificación.

7.6.2 Eliminación de la Basura

Con el cambio del sistema de limpieza se logró eliminar por medios mecánicos la mayor cantidad de material sólido que se enviaba al efluente.

En el cuadro 15 se registran los valores de la basura eliminada.

Cuadro 15. Eliminación de basura zafra 2005 – 2006 vrs. 2006 – 2007

Mes	Sistema de limpieza Húmedo	Basura eliminada en el Sistema de limpieza en Seco (Ton. Métricas)
	Zafra 05 - 06	Zafra 06 - 07
Diciembre	0	4,889
Enero	0	4,476
Febrero	0	3,410
Marzo	0	4,083
Abril	0	6,164
Total	0	23,021

(Ingenio La Unión. 2005)

En el cuadro 15 se observa que en la zafra 2005-2006 no había manera de cuantificar la cantidad de basura que se separaba de la caña y que al final llegaba al efluente, en la zafra 2006-2007 con el nuevo sistema, en el primer año se llegó a extraer por medios mecánicos más de 23,000 toneladas métricas de basura.

Vista de la banda transportadora de basura, donde se puede observar la cantidad de material sólido que se extrae del proceso de limpieza en seco.



Figura 14. Estructura de la banda transportadora de basura y material sólido extraído.

(Ingenio La Unión, 2005)

En la figura 14 se aprecia la cantidad de basura, tierra y algunas cañas producto de la limpieza en seco. Durante la zafra 2006 – 2007 se registraron valores hasta de 129 toneladas métricas de basura por día.

7.6.3 Manejo de los desechos sólidos

En la siguiente fotografía se aprecia los campos de cultivo que al finalizar la zafra 2006-2007 serían renovados, estos lotes fueron aprovechados para hacer una mezcla del material sólido producto de la limpieza en seco y cachaza, incorporándolo posteriormente al suelo, en promedio se estableció que se incorporaban 90 toneladas de material sólido por hectárea.



Figura 15. Aprovechamiento de la basura en los campos de cultivo

(Ingenio La Unión, 2005)

Anualmente se realiza la programación de renovación en fincas aledañas al ingenio y son: Tehuantepec, Belén, Carrizal y Cristóbal. Se programan 45 ha por quincena de área a renovar, la zafra dura aproximadamente 15 quincenas son 675 ha en total por zafra.

El área designada se estaquilla a 16 metros cuadrados. Inicialmente se incorporaban 90 toneladas por hectárea de residuos, la relación real por hectárea era de 50% de cachaza, 30% de basura, 20% de ceniza, actualmente se incorporan 400 toneladas de mezcla de residuos por hectárea usando el mismo porcentaje de sus componentes.

7.7 RECUPERACIÓN DE MATERIALES AZUCARADOS

Con el cambio del sistema de limpieza se logró un beneficio tanto financiero como ambiental. En el sistema anterior se derramaban 1.61 kg de azúcar y 1.77 kg de Miel Final por tonelada métrica de caña molida (1, 666,286 toneladas de caña molida en la zafra 2005-2006), de esto el nuevo sistema recupera 1.4 kg de azúcar y 1.54 kg de miel final por tonelada métrica de caña molida (1, 983,713 toneladas de caña molida en la zafra 2006-2007).

A continuación se compara la pérdida que se tenía en la fase inicial y cuanto de eso se recupera en la fase final, financieramente el nuevo sistema recupera el 87%.

Cuadro 16. Comparación de las pérdidas y recuperación de materiales azucarados

CONCEPTO	Zafra	Toneladas de caña molida	(Kg / tonelada / Día)	Azúcar (US\$)	(Kg / tonelada / Día)	Melaza (US\$)	Pérdidas totales (US\$)
Perdidas de material azucarado	2005 - 2006	1,666,286	1.61	583,200	1.77	235,946	819,146
Recuperación de material azucarado	2006 - 2007	1,973,713	1.40	603,739	1.54	205,286	809,025

(Ingenio La Unión, 2005)

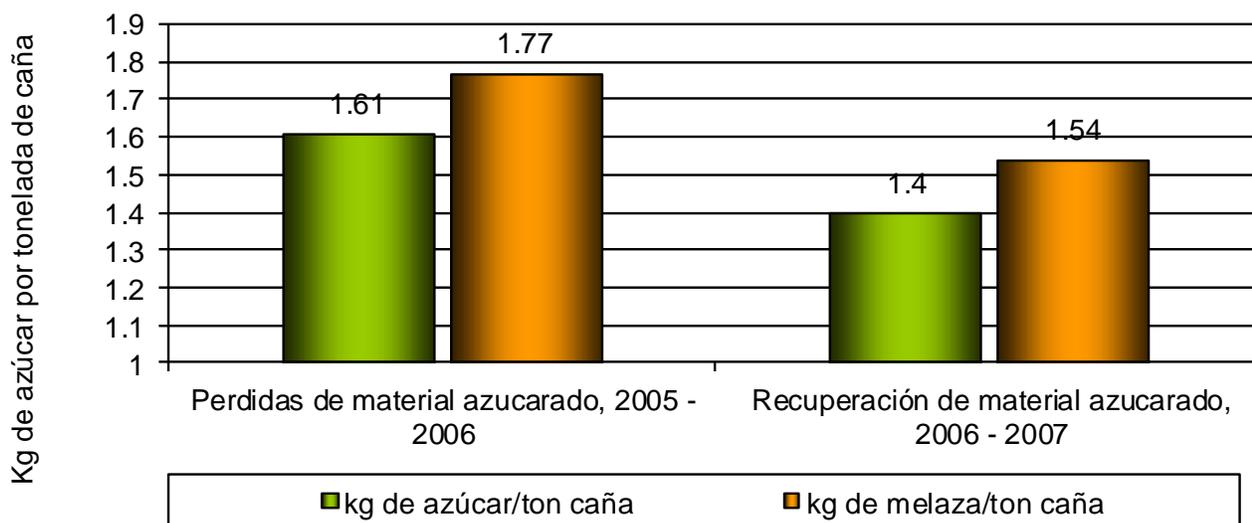


Figura 16. Comparación de pérdidas y recuperación de material azucarado, zafra 2005-2006 y 2006-2007

(Ingenio La Unión, 2005)

7.8 ANÁLISIS FINANCIERO

La rentabilidad o beneficio financiero y ambiental del proyecto se obtiene haciendo una comparación entre las fases inicial (2005-2006) y final (2006-2007) en base a los materiales azucarados y sólidos que en la fase inicial con el uso del agua en la limpieza de la caña se derramaban y enviaban al efluente, ocasionando pérdidas financieras y daños ambientales. La nueva práctica de limpieza de la caña ofrece recuperar hasta el 87% de materiales azucarados, caña y material sólido.

7.8.1 Beneficio financiero del proyecto

En el análisis que se hace del beneficio financiero, se tomó en cuenta cada uno de los factores que representaron un ingreso durante el periodo de prueba siendo éstos las toneladas de caña recuperadas, kilogramos azúcar por tonelada de caña y toneladas de melaza; todo esto se relacionó con el gasto por la inversión del proyecto

Cuadro 17. Evaluación financiera del proyecto (US\$)

CONCEPTO	Años o periodos	
	0	1
INGRESOS	0	1020120
EGRESOS	425000	50000
FLUJO NETO DE FONDOS	-425000	970120
FACTOR DE ACTUALIZACION	1	0.95
INGRESOS ACTUALIZADOS	0	969114
EGRESOS ACTUALIZADOS	425000	47500
FLUJO NETO ACTUALIZADO	-425000	921614

(Ingenio La Unión, 2005)

7.8.2 Valor actual neto

Este valor se obtuvo mediante la actualización de los flujos netos anuales actualizados asumiendo una tasa del 5%. La suma de los ingresos actualizados se compara con los egresos del año cero. El valor actual neto encontrado es de Q. 496,614 lo que hace reflejar que el proyecto proporciona beneficios atractivos aunque no haya sido este el objetivo por tener un enfoque inclinado a cumplir con el Medio Ambiente.

7.8.3 Relación beneficio / costo

En este caso como el resultado de relación $b/c = 2.05$ es mayor que la unidad (1), el proyecto se acepta como factible, ya que los ingresos que generan sus operaciones alcanza a cubrir la inversión inicial.

7.8.4 Tasa interna de retorno (TIR)

Como se puede observar, la Tasa Interna de Retorno presenta un rendimiento de 135.02%, lo que indica que el presente proyecto posee una buena rentabilidad, determinando que el proyecto es rentable.

Valor Actual Neto Q 496,614
Tasa Interna de Retorno 135.02%
Relación B/C 2.05

VIII. CONCLUSIONES

1. El porcentaje de recuperación de los materiales azucarados que se derramaban y enviaban al efluente fue 87% de 1.61 kg de azúcar y de 1.77 kg de melaza que representó un beneficio financiero de US\$ 819,146.00 según cuadro número 16.
2. La relación Beneficio / Costo es de 2.05, lo cual indica que por cada dólar invertido, se recuperan US\$ 1.05, por lo que el proyecto es viable financieramente.
3. La limpieza de la caña por medios mecánicos, ayudaron a minimizar las cargas de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en valores promedio de 33,800 kg/día en la zafra 2005-2006 a 8180 kg/día en la zafra 2006-2007 equivalente al 76%.
4. Con el cambio de limpieza de la caña, se logró reducir en un 69% de 68.38 metros cúbicos que se captaban del vital líquido.
5. Eliminar el uso de agua en la limpieza de la caña permitió recuperar altos índices de materiales sólidos que durante el periodo de prueba fue de 23,021 toneladas métricas, que contribuyó a minimizar el impacto negativo en el ambiente.
6. Con el sistema de limpieza en seco, durante la primera zafra 2006-2007 se logró incorporar 90 toneladas de residuos por hectárea y actualmente se incorporan 400 toneladas por hectárea.

IX. RECOMENDACIONES

1. Los desechos sólidos pueden ser aprovechados y agregados a los campos de renovación de cultivos, solo si éstos están cercanos a la fábrica por lo que se recomienda el establecimiento de un centro de acopio para que posteriormente se dosifique a los campos más alejados de la fábrica.
2. Realizar estudios de la incorporación de la materia orgánica al suelo y su efecto en el rendimiento de toneladas por hectárea y rendimiento de libras por toneladas de caña.
3. Se recomienda establecer un centro de acopio para el manejo y descomposición o mineralización de la materia orgánica que permita una mayor disponibilidad de nutrientes al momento de su incorporación en los campos con renovación de cultivo.

X. BIBLIOGRAFÍA

ASAZGUA (2011) -Asociación de Azucareros de Guatemala- . Resultados zafra 2010 – 2011 en Informe Anual 2011 Guatemala

ATAGUA. (1985) –Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala- Boletín No. 11 Informe Anual 1985 Guatemala

Buenaventura, C. (1986). El cultivo de la caña de azúcar. Colombia, TECNICAÑA

Buenaventura, C. (1987). Segundo congreso de la sociedad colombiana de técnicos de la caña de azúcar, Colombia

Cabrera. (2007, Julio 15). Entrevista personal Ingenio Los Tarros, Guatemala

Chen, J. (1991). Manual del Azúcar de Caña. (1ª. Ed.). México: Edit: Limusa

CIDECALLI. –Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (2006). Secretaría de Salud, normatividad Nom-127, México

Gómez, F. (1983). Caña de azúcar. Edicampa SRL, Caracas Venezuela

Humbert, R. (1976). El cultivo de la caña de azúcar. Editorial Continental

Holdridge, (1958) Precipitación anual y temperatura

ISSCT (1990) -Internacional Society of Sugar cane technologists-

Lewinski Juliusz. (1993), Proceso de la caña de azúcar

Spencer & Meade. (1967). Manual de la caña de azúcar; pag 51, 52. (Traducción de la 9ª. Ed. en ingles). Barcelona: Edit: Aragón

TECNICAÑA (1996). Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar Cultivo de la caña de azúcar

UNESCO, (2008). Water Quality for Ecosystems and Human Health. 2ª edición.
PNUMA, ERCE

XI. ANEXOS

ANEXO 1.

1. Determinación de Trazas de Azúcar (método Ácido sulfúrico-UV) Ref.3.2

1.1 Equipo

- Espectrofotómetro
- Celda de 10 mm
- Embudos
- Beaker
- Baño María
- Tubos de ensayo
- Papel filtro Whatman 91 o Equivalente
- Varillas de plástico (policías)

1.2 Reactivos

- Solución de ácido sulfúrico concentrado
- Ayuda filtrante (Tierra silícea)

1.3 Metodología

Preparación de la muestra:

Si la muestra a analizar es demasiado turbia se debe filtrar de lo contrario usarla como viene, transferir aprox. 200 ml de muestra a un beaker, agregar 2 gramos de ayuda filtrante y homogenizar. Filtrar despreciando los primeros ml de filtrado.

Si la concentración de azúcar en la muestra es muy alta (absorbancia mayor de 0.60) realizar una dilución según sea necesario, de lo contrario usarla tal como viene. A continuación sugerencias para la dilución de la muestra:

NOTA:

- *Si se trata de agua del lavado de las mesas de caña entera tomar 80 mL y colocarlos en un balón de 1000 mL y aforar con agua destilada.*
 - *Si se trata de agua del lavado de las mesas de caña picada tomar 25 mL y colocarlos en un balón de 1000 ml y aforar con agua destilada.*
- A.** Colocar 1 mL de la muestra preparada en un tubo de ensayo y 1 mL de agua destilada en otro tubo de ensayo (el cual nos servirá como blanco) y agregar 3 mL de ácido sulfúrico a cada tubo, mezclar en un vortex por 30 segundos.
- B.** La temperatura de la mezcla se incrementa rápidamente 10-15 segundos después de agregado el ácido.

- C. Enfriar rápidamente los tubos con la ayuda de baño de agua fría durante 2 minutos hasta llegar a temperatura ambiente.
- D. Encender el espectrofotómetro en el modo de Absorbancia y elegir la longitud de onda de 315 nm.
- E. Colocar en una celda de 10 mm la solución blanco y colocar a cero el equipo, luego colocar la muestra y realizar la lectura de absorbancia y anotar.

1.4 Resultado

Absorbancia	Ppm Pol

Ppm de carbohidrato= lectura de absorbancia*Factor de dilución

Nota:

1- *El resultado de agua de lavado de caña se corrige por la pureza de la caña*

ANEXO 2.

2. Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Ref. 3.1,

2.1 Equipo

- Espectrofotómetro Genesys o fotómetro Nova
- Pipetas graduadas de 5 mL o 10 mL
- Termo-reactor

2.2 Reactivo

- Kit spectroquant, Demanda Química de Oxígeno (25-1500 mg/L) 1.14541

2.3 Metodología

- A.** Encender el termo-reactor TR 205 y colocar el selector de temperatura en 148 ° C.
- B.** Tomar una cubeta con reactivos e identificarla y mediante agitación por balanceo poner en suspensión el sedimento del fondo.
- C.** Con una pipeta tomar 3 mL de muestra y agregarlos a una cubeta de reacción, hacer el vaciado despacio sobre la pared de la cubeta la cual debe ser mantenida en posición inclinada y luego cerrar la cubeta. La cubeta de reacción agitarla, con movimiento laterales, tener cuidado de tomarla de la tapa, ya que la reacción genera calor.
- D.** Colocar la cubeta en el termo-reactor y colocar el contador de tiempo de reacción en 120 minutos. El calentador automáticamente se apagará al final de los 120 minutos.
- E.** Retirar la cubeta del termo-reactor, y colocarla en un lugar a temperatura ambiente para que se enfríe (25 – 30 °C), generalmente 10 minutos. No enfriar con agua fría.
- F.** Antes de realizar la lectura de DQO, tome la cubeta y agítela con movimientos laterales.
- G.** Encender el equipo preparado, ingresar el método de análisis de DQO. Se utiliza cubeta redonda para los reactivos, en la cubeta se encuentra el código de barras si se usa el fotómetro NOVA. Si usa un espectrofotómetro genesys seleccione el número de análisis que aparece en la cubeta.
- H.** Colocar la cubeta en el lugar indicado y realizar la medición. El valor de medición es estable durante un tiempo prolongado.

2.4 Resultado

$$\text{DQO en ppm} = \text{lectura del equipo} * F$$

Si se realizó dilución de la muestra, el resultado se multiplica por el factor de dilución F.

ANEXO 3.

3. Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días (DBO₅ OXÍTOP) Ref. 3.1

Teoría

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno necesario para la degradación bioquímica de material orgánico y material inorgánico (sulfitos y iones de hierro).

3.1 Equipo

- Incubadora
- Botellas OXITOP
- Probeta
- Balón graduado

3.2 Reactivos

- Hidróxido de sodio en lentejas

3.3 Metodología

- A. Enjuagar los frascos de medición con la muestra a analizar, luego vacíelos completamente.
- B. Colocar la alícuota de muestra en cada uno de los frascos de medición de acuerdo a la siguiente tabla.

Nota:

1- El criterio a utilizar es; previamente a efectuar análisis de DBO se realice el de DQO, tomar los datos y dividirlos entre 1.5, lo cual nos indicara el rango de medición del DBO.

Volumen de muestra mL	Rango mg/L	Factor
432	0 – 40	1
365	0 – 80	2
250	0 – 200	5
164	0 – 400	10
97	0 – 800	20
43.5	0 – 2000	50
22.7	0 – 4000	100

- C. Colocar dentro de cada frasco de medición un agitador magnético.

- D. Agregar cada una de las cantidades de muestras estimadas para cada una de las muestras, dentro de los frascos y colocar el tapón de hule a cada frasco de medición.
- E. Dentro del tapón de hule de cada frasco, colocar 2-3 lentejas de hidróxido de sodio. Se debe tener cuidado de no botar las lentejas dentro de la muestra.
- F. Enroscar a los frascos las cabezas de medición OXITOP.
- G. Para empezar la medición con las cabezas OXITOP presionar los botones “S” y “M” simultáneamente 2 segundos, hasta observar en el despliegue “OO” . Con este paso se borra cualquier dato gravado previamente en la memoria del medidor OXITOP.
- H. Mantener los frascos de medición con las cabezas OXITOP, durante 5 días en una incubadora a 20 ° C.
- I. Durante los cinco días las cabezas OXITOP leerán datos cada veinticuatro horas grabándolos. Para obtener esta información presionar el botón “M” .
- J. Después de 5 días, leer los datos almacenados en las cabezas OXITOP, presionando el botón “S”, aparecerán los valores almacenados sucesivamente desde el día uno al cinco.

3.4 Resultado

$$\text{DBO}_5 \text{ en ppm} = (\text{lectura OXITOP}_5) * \text{FACTOR}$$

Nota:

En el análisis de DBO con frascos OXITOP es indispensable que la temperatura de la incubadora permanezca constante durante los cinco días, cualquier alteración brusca de la temperatura, anula la prueba, ya que se pierden los datos. La parrilla de agitación de los magnetos de cada uno de los frascos OXITOP, permanece conectada por un cable que sale de la incubadora, si esté se desconecta también se pierden los da