



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

**“PROGRAMA DE PREVENCIÓN, MINIMIZACIÓN Y
CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL
PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA EN MÉXICO”**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA

AMBIENTAL - AIRE

P R E S E N T A :

I.Q. CANDI ASHANTI DOMINGUEZ MANJARREZ

TUTOR:

DR. HUMBERTO BRAVO ALVAREZ

2012





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. MARTÍNEZ PEREDA PEDRO
Secretario: DRA. FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ GEORGINA
Vocal: DR. BRAVO ÁLVAREZ HUMBERTO
1er Suplente: DRA. JIMÉNEZ CISNEROS BLANCA ELENA
2do Suplente: DR. AGUILAR MÁRQUEZ ARMANDO

Lugares donde se realizó la Tesis:

SECCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL-CENTRO DE
CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA-UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FIDEICOMISO INGENIO EMILIANO ZAPATA

TUTOR DE TESIS
DR. HUMBERTO BRAVO ALVAREZ

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme sus puertas para realizar mis estudios de Maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haberme apoyado económicamente en la realización de mis estudios de Maestría.

Al Posgrado de Ingeniería Ambiental por haberme brindado profesores de excelencia académica.

A la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera y al Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata lugares donde se realizó el trabajo de Tesis.

Mi mayor agradecimiento al Dr. Humberto Bravo Álvarez no sólo por el gran apoyo otorgado en la dirección de esta Tesis, sino también por haberme dado la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en compañía de sus conocimientos y valores transmitidos.

Agradezco a los miembros del jurado, al Dr. Pedro Martínez Pereda, Dra. Blanca Elena Jiménez Cisneros, Dra. Georgina Fernández Villagómez y al Dr. Armando Aguilar Márquez, por las observaciones que enriquecieron este trabajo.

Agradezco de igual manera al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría por su participación en la realización de esta Tesis mediante su valioso conocimiento y consejos que ayudaron a enriquecer este trabajo.

Se agradece al Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata por las facilidades brindadas para obtener la información necesaria para la realización de este trabajo, en particular al Lic. Rodolfo F. Villanueva Zapala Gerente General, al Ing. Pedro Cabrera Calderón Supte. Gral. de Fábrica, al Lic. Humberto Bortoni Trevillo Supte. Gral. de Campo, Ing. Rogelio Rodríguez Peralta Supte. de Cosecha, Ing. Héctor López Neria Supte. Técnico y especialmente a la Q. I. Ma. Del Rocío Ocampo Figueroa y al Ing. Juan Roberto Martínez Toledo del Departamento de Mejoramiento Ambiental.

Agradezco a todo el personal del Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata por darme su apoyo y tiempo, por compartir sus conocimientos conmigo, los cuales fueron de gran beneficio a este trabajo de tesis.

Reconozco y agradezco al Ing. Roberto Barrera por las enseñanzas otorgadas durante las estancias realizadas en el Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata.

Agradezco al Ing. Armando Padilla Gallego por su apoyo en la realización de este estudio.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mi madre Genoveva y mis hermanos Jorge, Kaori y Karina porque su amor es la fuerza que me impulsa a salir adelante.

A toda mi familia por todo el apoyo brindado en cada etapa de mi vida.

A mis mejores amigas Raquel Pacheco y Daniela Ramos por los ocho y seis años de amistad incondicional.

A mis amigos de la Maestría: Flor Aguirre, Rubí Sánchez, Ulises Rojas, Julio de Regil, Miriam Rojas, Beatriz Casasola, Marisol Vázquez, Alfredo González, Raúl Membrillo, Anabel Zamora, Diana Casas, Nancy Rodríguez, Luis Mata, Hugo Sánchez, Gabriela Suárez, por todas las enseñanzas aprendidas dentro y fuera de los salones de clases, en especial al Club de Tobby por la amistad tan fuerte que formamos.

A mis amigos y compañeros del Centro de Ciencias de la Atmósfera, Iris Cureño, Ana Alarcón, Leidy Tami, Mónica Antúnez, Ma. De los Ángeles López Portillo, Rocío Bautista, Mónica Jaimes, Gilberto Fuentes, Magaly Miss y Adrián Marín por su valioso apoyo y amistad que forman el mejor ambiente de trabajo.

A David por todo el apoyo, amistad y amor que me brindó durante estos años.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS	xi
GLOSARIO	xiii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xix
1. INTRODUCCIÓN	3
Meta	4
Objetivos	4
2. ANTECEDENTES	7
2.1. Prevención, Minimización y Control de la Contaminación en la Industria	7
2.1.1. <i>Definición de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación en la Industria</i>	7
2.1.2. <i>Guías y programas de prevención de la contaminación existentes</i>	8
2.1.3. <i>Beneficios y Limitaciones de la Prevención, Minimización y Control de la Contaminación</i>	15
2.1.4. <i>Estrategias para eliminar las posibles barreras para llevar a cabo la Prevención, Minimización y Control de la Contaminación en la Industria</i>	17
2.2. Agroindustria Azucarera en México	18
2.2.1. <i>Antecedentes de la Agroindustria Azucarera en México</i>	18
2.2.2. <i>Situación actual de la Agroindustria Azucarera en México</i>	20
2.2.3. <i>Programas actuales para mejorar la Agroindustria Azucarera de México</i>	27
2.2.4. <i>Proceso general de producción de azúcar en México</i>	31
2.2.5. <i>Impactos ambientales originados por el cultivo de la caña de azúcar</i>	37
2.2.6. <i>Impactos ambientales originados por el proceso de producción de</i>	39

<i>azúcar</i>	
2.2.7. <i>Problemática ambiental de la Industria Azucarera en México</i>	43
2.3. Normatividad Ambiental Vigente Referente a Ingenios Azucareros	46
2.3.1. <i>Normatividad en materia de agua</i>	46
2.3.2. <i>Normatividad en materia de aire</i>	47
2.3.3. <i>Normatividad en materia de residuos</i>	48
3. METODOLOGÍA	51
3.1. Aprobación y apoyo total de la Dirección General	51
3.2. Planeación y organización del Programa	52
3.3. Evaluación del proceso	52
3.4. Búsqueda de medidas preventivas y correctivas	54
3.5. Estudio de factibilidad técnico-ambiental	57
3.6. Implementación	58
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1. Caso de estudio: Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata (FIEZ)	61
4.2. Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera en México	64
4.3. Evaluación del proceso de producción de azúcar	65
4.3.1. <i>Evaluación del Campo Cañero</i>	66
4.3.2. <i>Evaluación de la Industria</i>	75
4.3.3. <i>Gestión ambiental en la Industria</i>	105
4.4. Medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera de México	115
4.4.1. <i>Medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación</i>	116

<i>Ambiental en el Campo Cañero</i>	
4.4.2. <i>Medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental en la Industria</i>	126
4.5. Factibilidad Técnico-Ambiental	142
4.5.1. <i>Factibilidad Técnico-Ambiental de las Medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para el Campo Cañero</i>	143
4.5.2. <i>Factibilidad Técnico-Ambiental de las Medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria</i>	144
5. CONCLUSIONES	147
Recomendaciones	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157
ANEXOS	165
ANEXO A. Balance de materia y energía del proceso de producción de azúcar para una molienda de 300 ton caña/hora con base en el Plan de Producción Oficial 2011/2012.	167
ANEXO B. Balance de materia y energía del proceso de producción de azúcar para el periodo correspondiente a la zafra 2010/2011 del FIEZ.	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características Involucradas en la Producción Más Limpia	14
Tabla 2.2 Ingenios Azucareros del País y su organización en grupos	22
Tabla 2.3 Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar Zafra 2005/06 a 2009/10	23
Tabla 2.4 Rendimiento de Ingenios por Estado de la República	25
Tabla 2.5. Rendimiento por Ingenio	26
Tabla 2.6 Oferta y demanda de caña de azúcar y azúcar 2006-2018	28
Tabla 2.7 Inventario de emisiones a la atmósfera del sector industrial por Municipio en el Estado de Morelos, 2004	43
Tabla 4.1 Indicadores de las Zafras 2005/06 a 2009/10 del FIEZ	63
Tabla 4.2 Agroquímicos autorizados para su aplicación durante la siembra de caña de azúcar en el FIEZ.	70
Tabla 4.3 Operaciones unitarias del proceso de producción de azúcar	77
Tabla 4.4 Características de las chimeneas de cada caldera del Ingenio	85
Tabla 4.5 Parámetros del agua residual industrial del FIEZ en promedio mensual correspondientes al año 2011.	109
Tabla 4.6 Cantidad de residuos sólidos y de manejo especial generados en el FIEZ durante la Zafra 2010/2011.	113
Tabla 4.7 Residuos peligrosos generados durante el año 2010 y 2011	113
Tabla 4.8 Alta densidad y fecha ideal de siembra en Jalisco	117
Tabla 4.9 Principales características de la caña de buena calidad.	120
Tabla A.1. Cantidades de materia prima, materiales auxiliares, productos y subproductos	170
Tabla A. 2. Materiales Auxiliares, de empaque y operativos	171
Tabla A.3 Consumo de energía y cantidad de combustible utilizado	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema de los niveles de reducción de la contaminación	8
Figura 2.2 Guía de Evaluación de Oportunidades para Minimización de Residuos	9
Figura 2.3 Guía de Prevención de la Contaminación Industrial	10
Figura 2.4 Guía de Prevención de la Contaminación y Planeación de la Minimización de Residuos de Ohio	11
Figura 2.5 Marco Sistemático de Prevención de la Contaminación “IP2M”	13
Figura 2.6 Países de mayor producción de azúcar en el mundo. Elaboración propia con datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América	20
Figura 2.7 Distribución y localización por estado de los Ingenios Azucareros en México	21
Figura 2.8 Indicadores del Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar, Zafra 1999/00 a 2009/10	24
Figura 2.9 Indicadores del Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar, Zafra 1999/00 a 2009/10.	25
Figura 2.10 Área plantada y producción de caña de azúcar. Escenario 2009-2018	25
Figura 2.11 Demanda y producción de azúcar. Escenario 2009-2018.	27
Figura 2.12 Precio del azúcar estándar. Escenario 2009-2018	28
Figura 2.13 Diagrama de proceso general de producción de azúcar de caña en México.	32
Figura 2.14 Fuentes de impactos ambientales en relación con los procesos clave y los insumos en el cultivo de la caña de azúcar	37
Figura 2.15 Fuentes de impactos ambientales en relación con los procesos clave y los insumos en el procesamiento de la caña de azúcar	39
Figura 2.16 Diagrama simplificado de la producción de azúcar, resaltando entradas de agua y principales efluentes	40
Figura 2.17 Diagrama flujo del uso del agua en la industria azucarera	40
Figura 2.18 Diagrama del proceso de azúcar de caña y emisiones a la atmósfera	42
Figura 2.19 Materia orgánica descargada en aguas residuales, principales giros industriales 2002.	43

Figura 2.20 Emisiones de PM ₁₀ y PM _{2.5} en México en 1999: fuentes fijas	44
Figura 2.21 Emisiones de PM ₁₀ y SO ₂ por giros industriales del Inventario de Emisiones a la Atmósfera del Estado de Morelos 2004	45
Figura 3.1 Esquema de las etapas en la elaboración del programa de prevención, minimización y control de la contaminación.	51
Figura 3.2 Esquema de la fase de evaluación del proceso	52
Figura 3.3 Esquema de la fase de búsqueda de medidas preventivas y correctivas.	54
Figura 3.4 Métodos de reducción de la contaminación desde su fuente	55
Figura 3.5 Esquema de prácticas generales para el Programa de Prevención	56
Figura 3.6 Esquema de la fase de estudio de factibilidad.	57
Figura 4.1 Plano de localización del Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata	62
Figura 4.2 Guía de etapas del Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental aplicada en el Caso de Estudio.	64
Figura 4.3 Presentación del proyecto ante la Gerencia del FIEZ caso de estudio.	65
Figura 4.4 Distribución de zona cañera del FIEZ en el estado de Morelos	66
Figura 4.5 Ejemplos de mapas del SIG del FIEZ y su organización en ejidos, campos y parcelas	67
Figura 4.6 a) Yema de la caña de azúcar, b) Siembra de la caña de azúcar.	68
Figura 4.7 a) Riego de asiento, b) Canales de riego campos del ejido Tlaltizapan.	69
Figura 4.8 a) Corte manual y b) Corte mecánico de la Zafra 2011/2012.	72
Figura 4.9 a) Manojos de caña b) Alzadoras y camiones para acarreo de caña.	72
Figura 4.10 Cosechadoras mecánicas a) Cameco y b) Class.	73
Figura 4.11 Muestreo de impurezas a) corte manual y b) mecánico.	74
Figura 4.12 Acarreo de la caña al Ingenio.	74
Figura 4.13 Proceso de producción de azúcar de caña de azúcar del FIEZ	76
Figura 4.14 Balance global del proceso de producción para la zafra 2010/2011 con los indicadores ambientales y productos.	77
Figura 4.15 Descarga de camiones en el FIEZ.	79
Figura 4.16 a) Nivelador de caña, b) Desfibradora desmontada	79

Figura 4.17 a) Tándem de molinos b) Molino 1 Fultón de 4 mazas.	80
Figura 4.18 a) Limpieza de Filtro de bagacillo para el jugo de los molinos 1 y 2 b) Aplicación de vapor al Molino 5 para limpieza.	81
Figura 4.19 Fugas y derrames en el departamento de molinos	82
Figura 4.20 Balance de masa de la operación de extracción para el periodo correspondiente a la zafra 2010/2011.	83
Figura 4.21 Balance de masa de la operación de extracción para una molienda de 300 ton caña/hora y con base en el Plan de Producción Oficial 2011/2012.	83
Figura 4.22 Comparativo entre molino de 4 y 6 mazas	84
Figura 4.23 Calderas del FIEZ	85
Figura 4.24 Diagrama de operación de calderas de la Zafra 2011/2012	86
Figura 4.25 a) Fosas de sedimentación, b) Punto de mezcla de agua residual de fosas y agua residual del proceso.	87
Figura 4.26 a) Instalación de equipo para reúso de agua de fosas de sedimentación, b) Manejo de residuos de ceniza de la caldera 1 y de hornos.	88
Figura 4.27 a) Tolvas de ceniza de la caldera 1 b) Instalación de equipo para manejo de ceniza de caldera 1.	88
Figura 4.28 Patio de almacén de bagazo excedente.	90
Figura 4.29 a) Calentadores b) Potenciómetro Foxboro y adición de lechada de cal.	91
Figura 4.30 Balance de masa y energía de los calentadores para una molienda de 300 ton caña/hora.	91
Figura 4.31 a) Clarificadores, b) Muestra de monitoreo de eficiencia del proceso de clarificación.	93
Figura 4.32 a) Filtro de cachaza b) Tolva de cachaza	93
Figura 4.33 Balance de masa de las operaciones unitarias de clarificación y filtración, para el periodo correspondiente a la zafra 2010/2011.	94
Figura 4.34 Balance de masa de las operaciones unitarias de clarificación y filtración, para una molienda de 300 ton caña/hora y con base en el Plan de Producción Oficial 2011/2012.	95
Figura 4.35 Evapores de cuádruple efecto y condensadores barométricos.	97

Figura 4.36 a) Tachos, b) Centrífugas	99
Figura 4.37 Balance de masa de la operación unitaria de cristalización y centrifugación, para el periodo correspondiente a la zafra 2010/2011.	100
Figura 4.38 Fugas y derrames en el departamento de cristalización y centrifugación.	102
Figura 4.39 Instalación de equipo de centrifugación de alta eficiencia y ahorro de energía.	103
Figura 4.40 Secadores rotativos de azúcar húmeda.	103
Figura 4.41 a) Área de envasado b) Banda transportadora de sacos de azúcar.	104
Figura 4.42 a) Torre de enfriamiento y b) Celdas de enfriamiento del FIEZ.	106
Figura 4.43 Gráfica de comparación de consumo de agua de extracción de la Zafra 2010/2011 y la Zafra 2011/2012.	107
Figura 4.44 Canal de agua residual del proceso de producción de azúcar.	108
Figura 4.45 Sistema de riego agrícola con agua residual del FIEZ.	110
Figura 4.46 Pozos de monitoreo de calidad de agua a nivel freático, de la zona cañera que se abastece con agua residual del FIEZ.	110
Figura 4.47 a) Recolección diaria de residuos sólidos y b) Botes para la separación de residuos sólidos	111
Figura 4.48 a) Limpieza del área de centrifugación, b) limpieza del área de clarificación	112
Figura 4.49 a) Cachaza en campo, b) Reúso de ceniza como relleno de terreno en minas.	112
Figura 4.50 a) Almacén temporal de residuos peligrosos b) Forma de almacenamiento de filtros con sub-acetato de plomo.	114
Figura 4.51 Experimento de adaptabilidad de variedades de caña prometedoras para la zona del FIEZ.	120
Figura 4.52 Sistema de acolchado cañero	122

ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS Y SIGLAS

CEAMA	Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente
CEPA	Canadian Environmental Protection Act
CICOPLAFEST	Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Químicas
CMP+L	Centro Mexicano de Producción Más Limpia
CNIA	Comisión Nacional de la Industria Azucarera
CNIAA	Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica
COA	Cédula de Operación Anual
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios
COLPOS	Colegio de Postgraduados
CONAE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CTPS	Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EMA	Entidad Mexicana de Acreditación
FEESA	Fondo de Empresas Expropiadas del Sector Azucarero
FIEZ	Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LCA	Evaluación de ciclo de vida
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
ONU DI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
PML	Producción Más Limpia
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRONAC	Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar
PRONAR	Proyecto Nacional de Alta Rentabilidad para la Transformación del Campo Cañero Mexicano
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Alimentación y Pesca
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SS	Sólidos Sedimentables
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
UNPASA	Unión Nacional de Productores de Azúcar S.A
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Sulfato de Amonio
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
H_3PO_4	Ácido Fosfórico
NH_3	Amoniaco
PM_{10}	Partículas Menores a 10 micrómetros
$\text{PM}_{2.5}$	Partículas Menores a 2.5 micrómetros
SO_2	Dióxido de azufre
°Bx	Grados Brix
ha	Hectárea
in Hg	Pulgadas de mercurio
kg	Kilogramo
L/s	Litros por segundo
lb/in ²	Libras por pulgada cuadrada
m ³	Metros cúbicos
pH	Potencial de Hidrógeno
Ton	Tonelada métrica

GLOSARIO

Agotamiento de sacarosa.- Proceso que se aplica a las templeas de menor pureza al procesarlas en los cristalizadores en movimiento para que el cristal absorba la miel que se encuentra entre los cristales.

Agua de extracción de pozo o superficial.- Es el agua que entra a la fábrica sin ningún tratamiento o purificación.

Agua de imbibición. Es el agua que se agrega al bagazo para extraerle el azúcar y que se utiliza en la operación de extracción en molinos.

Bactericida.- Sustancia química, como el formol, el benzal, el yodo, etc., que mata las bacterias.

Bagacillo. Fibra muy fina de la caña de azúcar que se obtiene del proceso de filtración del bagazo.

Bagazo. Residuo fibroso pobre en sacarosa, subproducto de la operación de extracción de jugo de la caña de azúcar; constituye cerca del 30% del total de la caña de azúcar procesada; además, contiene aproximadamente 50% de humedad. El bagazo se utiliza como combustible en los ingenios, supliendo hasta el 100% de los requerimientos de combustible para las calderas. También, se utiliza para la producción de pulpa y papel.

Batey.- Conjunto de maquinaria y equipo que se utiliza para la recepción y descarga de la caña durante la zafra en los Ingenios azucareros. Lugar y patio destinado al almacenamiento de la caña que prácticamente está a punto de moler.

Cachaza- Es el material sólido proveniente de la filtración y lavado de los lodos sedimentados en el proceso de clarificación, mezclados con bagacillo. Se utiliza principalmente como fertilizante debido a su contenido de fósforo, calcio, nitrógeno y, en menor proporción, de potasio. Además, contiene más del cincuenta por ciento de materia orgánica

Calandria.- Sistema de tubos verticales cortos dentro de un evaporador, se utiliza para la transferencia de calor; como dispositivo de separación de fases líquida y vapor.

Calor latente.- Es la cantidad de calor requerida para lograr el cambio de estado físico de una sustancia sin que existan variaciones en su temperatura.

Cepa o macolla.- Parte de la planta que queda enterrada después del corte de las cañas. Es la parte del tallo o de la caña que se encuentra dentro de la tierra unida al sistema radical.

Chumacera.- Pieza de metal o madera con un hueco o muesca en la que descansa y gira cualquier eje de una maquinaria.

Composta.- Abono formado por sustancias orgánicas tales como bagazo, excrementos, hierbas, paja, residuos de madera, etc., con la que, después de un proceso de biodegradación, se hace una mezcla uniforme que se puede aplicar al suelo.

Condensación.- Es el cambio de vapor a líquido con una transferencia de calor del vapor a la superficie de condensación.

Cristalizadores.- Son los aparatos receptores de la masa conocida de los tachos. Esta masa debe mantenerse en movimiento para cambiar constantemente la posición relativa de las partículas de licor madre y de los cristales para desarrollo de éstos.

Cuchillas rotatorias.- Preparan la caña para su molienda troceándola, pero sin extraerle el jugo, formando una masa compacta y homogénea, favoreciendo la capacidad de los molinos en su extracción.

Desfibradora.- Es un aparato que se emplea para complementar la preparación y la desintegración de la caña hasta el estado de una masa mullida, para facilitar la extracción del jugo en el tándem de molinos.

Dextrana.- Es un polímero homogéneo a las glucanas, formándose por la acción de la enzima dextrasucrasa sobre la sacarosa, especialmente por la bacteria *Leuconostoc mesenteroides* y el *Leuconostac dextranicum*.

Grado Brix (°Bx).- El porcentaje en peso, de la materia sólida, según lo indica un hidrómetro Brix u otro instrumento densimétrico. En sentido estricto, el Brix es el porcentaje, en peso, de los sólidos contenidos en una solución de sacarosa pura. Por acuerdo general, el Brix representa los sólidos aparentes que contiene una solución de azúcar, según se determina por uso del areómetro Brix u otra medición densimétrica convertida a la escala de Brix.

Guarapo o jugo.- Se le define como el jugo que escurre de la caña cuando ésta es molida en el tándem de molinos para elaborar azúcar.

Imbibición.- Proceso en el que el agua o el jugo se agregan en el bagazo para reducir su contenido de sacarosa, mezclando y diluyendo el jugo presente en el bagazo.

Jugo filtrado.- Jugo obtenido en la filtración de la cachaza en los filtros rotativos al vacío.

Jugo mezclado.- Es el jugo extraído sin dilución más el jugo extraído con dilución. Es el jugo enviado del departamento de molinos al departamento de elaboración.

Jugo residual.- Último jugo que se extrae del bagazo y es el extraído por las mazas superior y bagacera del último molino del tándem.

Kilocaloría.- Es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado centígrado un kilogramo de agua.

Masa cocida o Magma.- Es una mezcla de cristales y licor de azúcar producida por medios mecánicos.

Mascabado.- Azúcar granulada, separada, pero sin ser sometida a lavado en las centrífugas, conservando, por lo tanto, en la superficie de los cristales la película de miel no eliminable por operación de centrifugación.

Mazas.- Elementos constitutivos de un molino. La superior recibe el nombre de “mayor o superior” y la inferior por donde se introduce la caña se llama “maza cañera” y la inferior, por donde sale el bagazo, “bagacera”.

Meladura.- Llamada en algunos países Sirope; es el jugo clarificado evaporado hasta una concentración de 60-65 °Brix para facilitar la formación del cristal de azúcar.

Melaza o miel final. Es el principal subproducto del procesamiento de azúcar también conocida como el conjunto de mieles incristalizables. Se puede utilizar como endulzante, alimento para ganado y para producir alcohol industrial.

Pol.- Sacarosa aparente. Valor determinado por polarización directa del peso normal de un producto azucarado en 100 ml de solución a (293 K), clarificado con Subacetato de plomo cuando es necesario, hecha la lectura en un tubo polarimétrico de 200 mm de longitud, usando un polarímetro dotado de escala internacional (sacarímetro) o equivalente. El término "Pol" se considera una entidad real para todos los efectos de cálculo.

Presión de vacío.- Si la presión absoluta es menor que la atmosférica, a la lectura manométrica se le llama presión de vacío.

Sacarosa.- Disacárido compuesto por glucosa y fructuosa conocido en química con este nombre, su fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Tacho.- El principio de este aparato es análogo al de un cuerpo evaporador, teniendo la finalidad de llevar hasta el punto de sobresaturación el líquido que sale de los evaporadores, que es la meladura, para llegar a la cristalización del azúcar.

Tamiz vibratorio.- En los Ingenios se le llama colador D.S.M. y tiene como fin separar el bagacillo del jugo, por segunda filtración, antes de ser enviado a las básculas de guarapo.

Tándem de molinos.- Conjunto de molinos de un Ingenio formado por cuatro, cinco, seis o siete molinos de tres, cuatro o seis mazas cada uno.

Tanque Flash: Equipo utilizado para recuperar vapor a baja presión de los condensados.

Trampa de vapor.- Es un aparato que regula la salida del agua de condensados, permitiendo que escape algo de vapor.

Vapor de agua saturado.- El vapor producido a la temperatura de ebullición correspondiente a su presión absoluta, se denomina saturado. El vapor saturado puede ser seco o húmedo.

Vinaza.- Residuo de la digestión del mosto obtenido del guarapo o de melazas. Es parte del líquido agotada de alcohol, agua y materias sólidas contenidas en el mosto (vino). La vinaza es un material contaminante debido a su alta demanda bioquímica de oxígeno.

Zafra.- Cosecha de la caña dulce. También se le aplica este nombre a la fabricación del azúcar de caña y, por extensión, a la de remolacha.

RESUMEN

Este trabajo se realizó con la meta de desarrollar un programa de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental que permita mejorar la gestión ambiental de la Industria Azucarera de México, la cual ha permanecido suspendida por la necesidad de resolver los problemas económicos, sociales y tecnológicos por los que ha atravesado ésta a través del tiempo.

Para conocer el proceso productivo, la problemática real a la que se enfrenta la industria actualmente y con el objeto de hacer propuestas viables de mejora fue elegido un Ingenio Azucarero como caso de estudio. El trabajo realizado en el Ingenio fue la evaluación integral del proceso productivo para la obtención de azúcar estándar y la implementación de algunas medidas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental en conjunto con el Departamento de Mejoramiento Ambiental.

Las medidas propuestas para la prevención, minimización y control de la contaminación ambiental, se abordaron desde el proceso en el Campo Cañero para la obtención de alta productividad con una gestión adecuada del ambiente mediante buenas prácticas de campo.

Las medidas propuestas para la prevención de la contaminación ambiental en la Industria plantean lo siguiente: cambios en los productos y cambios en los procesos; los cambios en los productos se esbozan con base en la diversificación de la industria como promotora de la estabilidad económica, los cambios en los procesos se componen de mejores prácticas de operación; por ejemplo, el establecimiento de procedimientos para la homogenización de las operaciones; sustitución de insumos o materia prima (uso de lubricantes biodegradables) y finalmente, modificaciones tecnológicas como la instalación de sistemas de control de emisión de partículas de alta eficiencia y equipos de alta eficiencia energética.

Las medidas propuestas para la minimización y control de la contaminación ambiental en la Industria incluyen: programas de uso eficiente de insumos, programas de capacitación constante al personal, prácticas de reúso y reciclaje, medidas de control en caso de que exista un derrame de material o desperdicio de insumos, realización de estudios para conocer la calidad del aire y agua, con el fin de tomar medidas de acción en caso de que no se cumpla con la normatividad vigente aplicable.

ABSTRACT

The purpose of this work is to propose a program of prevention, minimization and control of pollution to improve the environmental management of the Sugar Industry of Mexico, which has been put on hold due to the necessity to address the economic, social and technological issues affecting it over the time.

In order to better understand the productive process, the actual problem that the industry is facing, and to propose effective and possible actions for improvement, a sugar mill was selected as a case of study. A comprehensive assessment of the production process for the standard sugar was done, and some preventive, minimization and control measures of environmental pollution in conjunction with the Department of Environmental Improvement were implemented.

The proposed measures for the prevention, minimization and control of environmental pollution were addressed in the Cane Field in order to obtain high productivity in combination with proper management of the environment, establishing best practices in the field.

The proposed measures for the prevention of environmental pollution in the industry include changes in both products and process. Changes in products are based in the diversification of the industry as a sponsor of global economic stability. On the other hand, changes in processes consist of implementing better operation practices, such as the standardization of operative activities, the substitution of inputs or raw materials (e.g. the use of biodegradable lubricants); and the implementation of technological changes, such as the installation of high efficiency equipments in order to control particulate emissions.

The proposed measures to minimize and control environmental pollution in this Industry include: efficient use of inputs, constant training programs for staff, reuse and recycling practices, control measures in case there is a spill of material or waste inputs, and the elaboration of studies to determine the quality of air and water, in order to apply corrective actions in the event of noncompliance with applicable regulations.

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

La Industria Azucarera es históricamente de las más importantes en el desarrollo económico y social del país; sin embargo, a través del tiempo ha sufrido lentamente una profunda crisis económica, debido a la gestión corrupta, las disputas entre cañeros y dueños de los Ingenios, rezago tecnológico tanto en el proceso productivo como en el campo cañero y la incapacidad del gobierno para estabilizarla social y económicamente.

Debido a esta crisis económica, la gestión ambiental ha quedado en el olvido, aumentando adeudos y pasivos ambientales que de aplicarse la ley correctamente, la mayoría de los Ingenios Azucareros del país serían clausurados; no obstante, por la necesidad como fuente laboral que representan en áreas rurales del país, esta medida no se llevará a cabo.

Por lo anterior este trabajo de investigación tiene por meta, desarrollar un programa de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental para la Industria Azucarera de México. La implementación de un programa de prevención pretende transformar un proceso ineficiente de control de la contaminación “al final de la tubería”, en un proceso eficiente de prevención de la contaminación desde su punto de origen; a través, de la conservación y ahorro de materias primas, insumos, agua y energía a lo largo del proceso industrial.

Un programa efectivo de prevención, minimización y control de la contaminación contempla:

- Proteger la salud pública y el ambiente.
- Mejorar la imagen corporativa a medida que la calidad del ambiente y la responsabilidad social de las empresas mejoran, reforzando el compromiso de la empresa con su comunidad y clientes potenciales.
- Aumentar la eficiencia en los procesos de producción.
- Reducir los costos de operación, por la disminución en los costos de tratamiento, almacenamiento y disposición final de los residuos o emisiones contaminantes.
- Reducir los costos de energía al implementar el programa de prevención en todas las líneas de operación, incluyendo la eficiencia de la combustión.

Los beneficios más importantes de la aplicación de un programa de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental son los ambientales, económicos con responsabilidad social y salud pública. No obstante, las principales limitaciones para la correcta aplicación de un programa de este tipo son la resistencia al cambio, los económicos, financieros y sobre todo la falta de educación ambiental para lograr una conciencia real hacia el cuidado del ambiente.

Este trabajo de tesis busca consolidar el trabajo en equipo entre la Industria y la Investigación, de tal manera que se obtengan los beneficios de este programa eliminando los obstáculos que impiden alcanzarlos.

META

Desarrollar un programa de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental para la Industria Azucarera en México, mediante estancias en la industria que permitan conocer y evaluar de forma integral la misma.

OBJETIVOS

- Desarrollar una Guía Metodológica para la elaboración del programa de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental para la Industria Azucarera en México, con base en la información bibliográfica disponible.
- Conocer el proceso típico de producción de azúcar a partir de caña en la Industria Azucarera de México mediante estancias y recorridos en un Ingenio elegido como caso de estudio.
- Evaluar el proceso de producción de azúcar para el caso de estudio, mediante un análisis de entradas y salidas del proceso; así como, recorridos de análisis en todas las áreas del proceso productivo.
- Identificar las oportunidades de prevención, minimización y control de la contaminación en el proceso de producción de azúcar, con base en la evaluación realizada en el caso de estudio.
- Proponer medidas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental para la Industria Azucarera en México, con base en el trabajo realizado en el caso de estudio y la información consultada.

CAPÍTULO 2
ANTECEDENTES

2 ANTECEDENTES

2.1 Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Industrial

2.1.1. *Definición de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación en la Industria*

La prevención de la contaminación es una frase empleada para describir tecnologías y estrategias que apunta a la eliminación y/o reducción de corrientes contaminantes. En México “Prevención” según La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) significa “conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro del ambiente” (LGEEPA, 2010).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) define la prevención de la contaminación como “el uso de materiales, procesos o prácticas que pueden reducir o eliminar la generación de contaminantes o residuos en la fuente de origen”; lo cual involucra prácticas que reducen el uso de materiales peligrosos, energía, agua y que faciliten un aprovechamiento adecuado de los recursos naturales, favoreciendo su conservación, su uso y el desarrollo sustentable (US EPA, 2010).

El Gobierno Federal de Canadá por medio de la Ley Canadiense de Protección del Medio Ambiente (CEPA) define prevención de la contaminación como el uso de “procesos, prácticas, materiales, productos, sustancias o energía que eviten o minimizan la generación de contaminantes y residuos, reduciendo el riesgo global al ambiente” (CEPA, 1999).

En general, la prevención de la contaminación puede definirse como la eliminación o minimización de contaminantes, emisiones o residuos desde su fuente, mediante el aumento de eficiencia en los procesos, prácticas de reúso de materiales durante la producción, reducción del consumo de agua, modificaciones tecnológicas o uso de tecnología limpia, mejoras en los servicios de gestión de limpieza y mantenimiento y por último el tratamiento y control cuando los contaminantes no pueden evitarse o los cambios en la producción no son viables (US EPA, 2010).

La prevención de la contaminación industrial analiza los impactos del ciclo de vida de los productos al ambiente y considera todos los aspectos de diseño de producto, la

manufactura, consumo y además el reciclaje, reúso para su minimización, tratamiento, control o disposición de los productos descargados (Azapagic *et al*, 2000).

En la práctica, la prevención de la contaminación puede ser aplicada tanto al sector industrial como a todas las actividades que incluyen la generación de contaminación, tales como la producción y consumo de energía, transporte, agricultura, construcción, comercio, minería, uso de suelo, planificación de ciudades y actividades de gobierno, entre otras (Shen 1999).

Otro concepto que integra la prevención de la contaminación como Estrategia Integral Ambiental Preventiva a procesos, productos y servicios es la Producción Más Limpia (PML), el cual fue introducido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1989 a través de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), definiéndolo como una aplicación continua de una estrategia de prevención ambiental integral, en procesos, productos y servicios, para reducir los riesgos a los humanos y al ambiente (ONUDI, 1999).

El proceso de reducción de la contaminación se puede realizar en 4 niveles de acción (Figura 2.1), dentro de los cuales se encuentran los niveles preventivos (la reducción y el reciclaje/reutilización) y los de control (tratamiento y disposición final) (ONUDI, 1999).

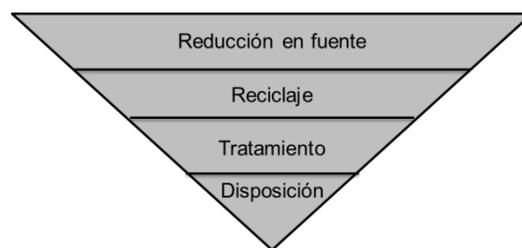


Figura 2.1 Esquema de los niveles de reducción de la contaminación (ONUDI, 1999).

2.1.2 Guías y programas de prevención de la contaminación existentes

Un programa de prevención de la contaminación se define como una organización integral y el esfuerzo continuo para reducir o eliminar de manera sistemática los contaminantes y residuos productos de una actividad. Algunos países, sobre todo países desarrollados han implementado planes y programas de prevención de la contaminación, a continuación se presentan algunos planes y guías desarrollados por la US EPA y otros autores.

Uno de los primeros manuales que se formularon con la finalidad de ayudar a las industrias a implementar el concepto de prevención de la contaminación para la minimización de residuos en el sector industria fue “*Waste minimization opportunity Assessment Manual*” desarrollado por la US EPA en 1988 (Figura 2.2).

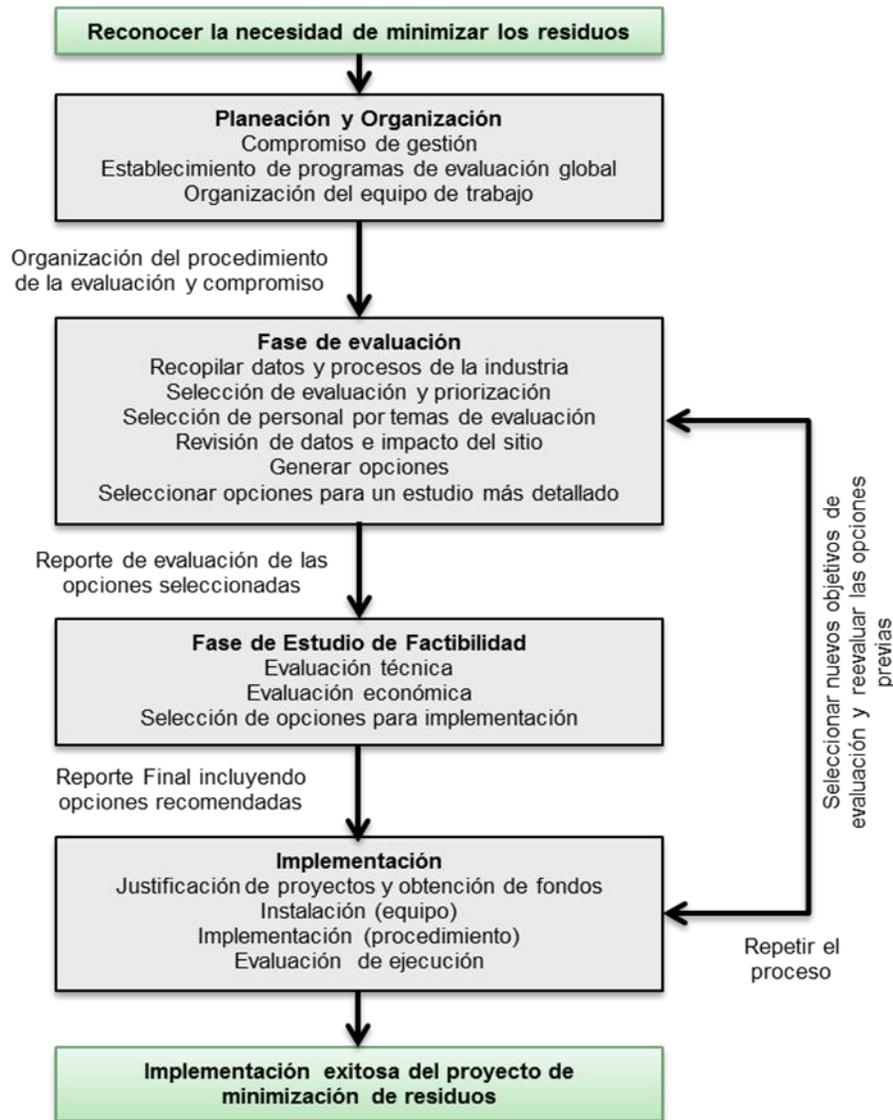


Figura 2.2 Guía de Evaluación de Oportunidades para Minimización de Residuos. (US EPA, 1988).

La Guía de Prevención de la Contaminación Industrial fue desarrollada por la US EPA en 1992 (US EPA, 1992) para ayudar a la pequeña y mediana empresa al establecimiento de programas de prevención de la contaminación en todas las áreas de la empresa o industria.

La Guía de Prevención de la Contaminación Industrial describe cómo identificar, evaluar e implementar oportunidades de prevención de la contaminación mediante una serie de etapas, las cuales se muestran en la Figura 2.3. A diferencia de la guía anterior, esta guía divide la etapa de evaluación en varios pasos; por otro lado, la etapa de evaluación de factibilidad incluye la evaluación ambiental, además de la técnica y económica, lo cual es indispensable para llevar a cabo oportunidades de prevención favorables con el ambiente en todo su ciclo de vida.

La Guía de Prevención de la Contaminación y Planeación de la Minimización de Residuos de Ohio (Ohio EPA, 1993) fue elaborada en 1993 realizando modificaciones a la Guía de Prevención de la Contaminación Industrial de 1992, con la finalidad de ser aplicada también para reducir todo tipo de residuos.

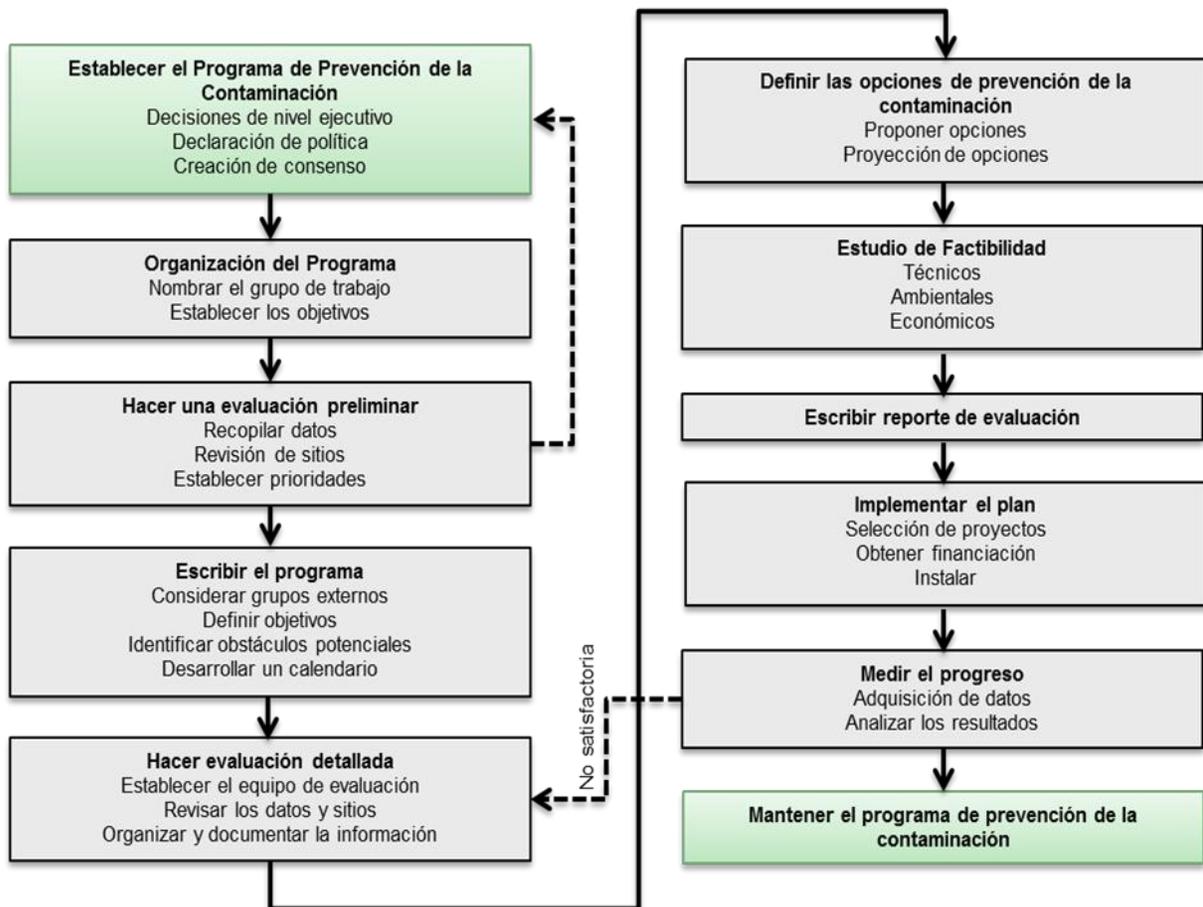


Figura 2.3 Guía de Prevención de la Contaminación Industrial (US EPA, 1992).

La Guía de Prevención de la Contaminación y Planeación de la Minimización de Residuos de Ohio EPA a diferencia de la guía de 1992 de la US EPA, adiciona una etapa llamada “Consideración de costos” previa a la etapa de “Estudio de Factibilidad”; por otro lado, la etapa de “Estudio de Factibilidad” en esta guía se otorga mayor prioridad a las evaluaciones económicas sobre las ambientales y en la etapa de “Medición del Progreso” no existe ningún lineamiento que indique una acción determinada en caso de que el progreso no sea satisfactorio (Figura 2.4).

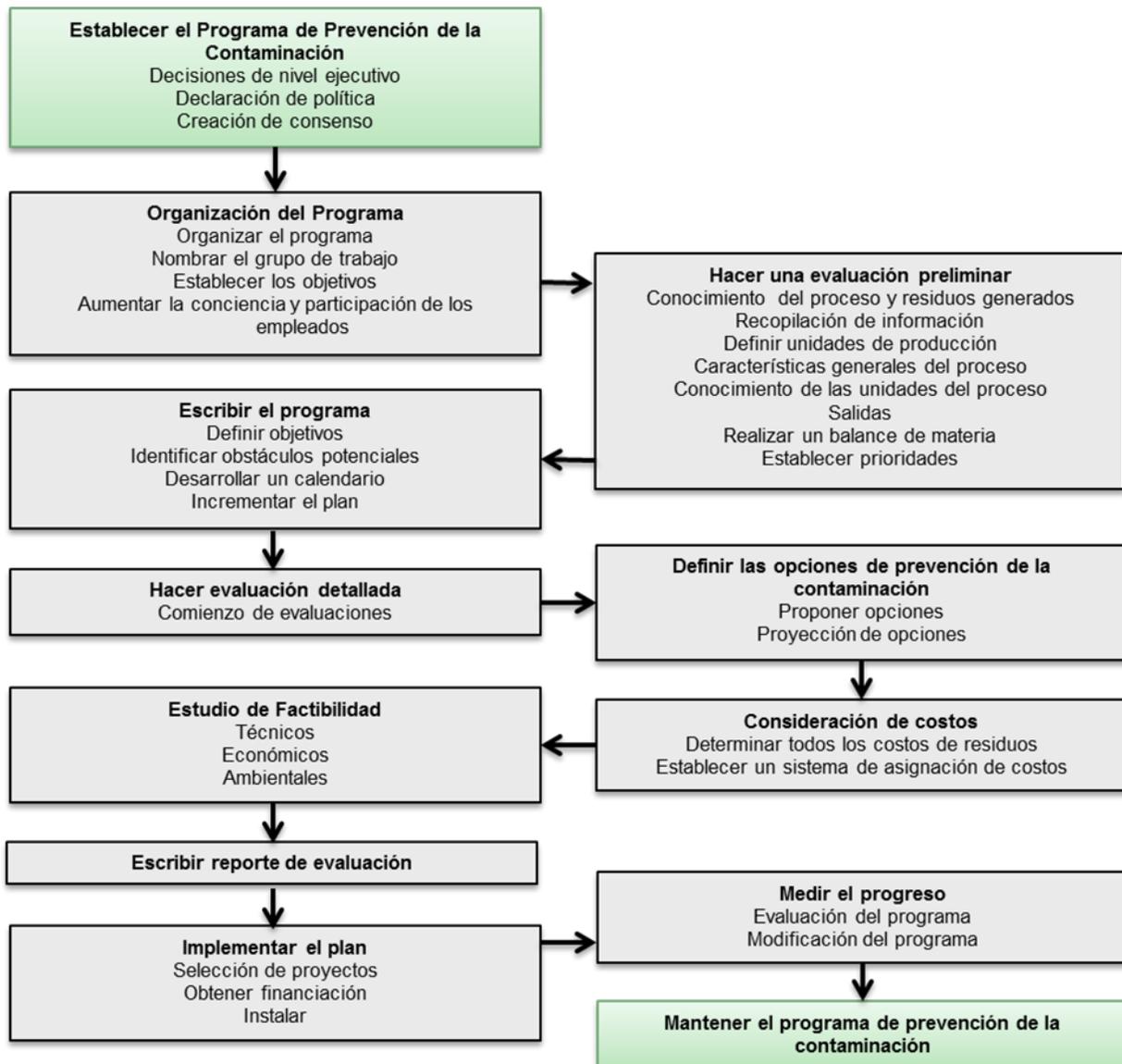


Figura 2.4 Guía de Prevención de la Contaminación y Planeación de la Minimización de Residuos de Ohio (Ohio EPA, 1993).

Las guías y programas anteriores sirvieron como base para programas de prevención de la contaminación para diferentes industrias y para preparar guías más completas o con pequeñas modificaciones a las elaboradas por la US EPA. Algunas modificaciones importantes involucraron el uso de herramientas para identificar oportunidades de prevención de la contaminación como balances de materia y energía, análisis termodinámicos y de distribución de vapor; otras modificaciones incluyen procedimientos de jerarquización de decisiones en etapas tempranas de diseño de planta o proceso (Patek y Galvic, 1996, Douglas 1992, Khan *et al.* 2008).

La evaluación de ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) puede ser utilizada para el desarrollo de un nuevo producto o el diseño de un nuevo proceso. Una metodología de diseño de un proceso basada en la evaluación de ciclo de vida ha sido propuesta por Azapagic *et al.* 2000. La metodología para el diseño de proceso utiliza LCA en todo el proceso de diseño y las consideraciones ambientales son incorporadas desde la etapa inicial de diseño hasta la generación de residuos y emisiones del proceso.

El límite del sistema en la metodología de Prevención de la Contaminación con aplicación de Ciclo de Vida de Diseño del Proceso incluye la evaluación cuantitativa del ciclo de vida de diferentes tecnologías y materias primas. Además la selección del mejor proceso se basa en la optimización de aspectos técnicos, económicos, ambientales, legislativos y que además incluya los requisitos a los proveedores y consumidores.

Khan *et al.* (2001) elaboraron una metodología sistemática de diseño de proceso llamada GreenPro, la cual considera la minimización de impactos ambientales de un proceso con la integración de la técnica de LCA, ésta metodología también tiene como base la evaluación de impactos ambientales de un proceso o producto en su ciclo de vida completo en etapas tempranas de diseño. Posteriormente Khan *et al.* (2002) desarrolla la metodología de Gestión Ambiental Efectiva a través del Ciclo de Vida considerando modificaciones del proceso o rediseño con objetivos de prevención de la contaminación.

Finalmente, una de las Guías más completas de Prevención de la Contaminación fue elaborada por Khan *et al.* (2008) después de realizar una revisión general de las guías existentes y destacar algunas limitaciones de estas para obtener una Metodología Sistemática de Prevención de la Contaminación la cual fue denominada "IP2M" (Figura 2.5).

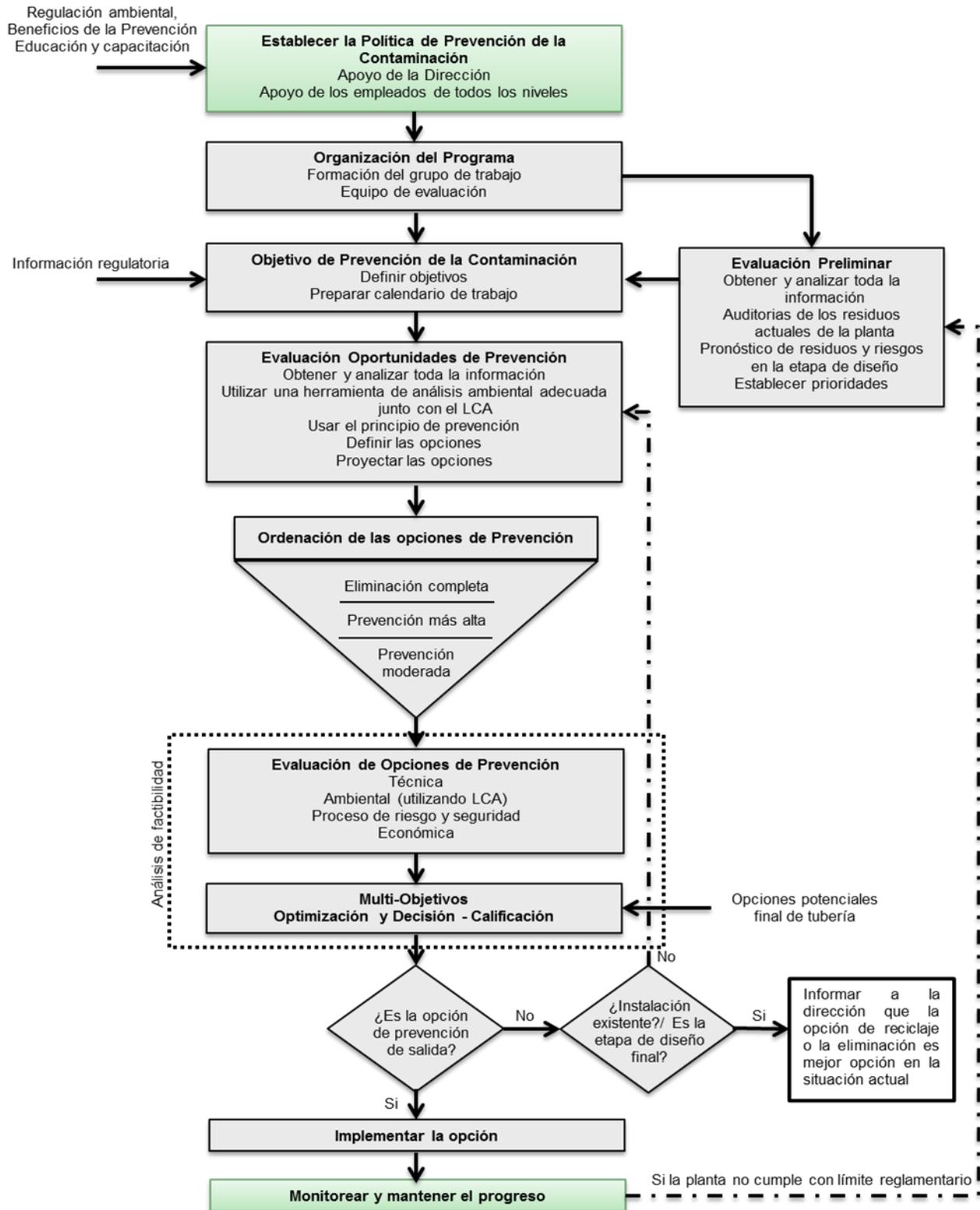


Figura 2.5 Marco Sistemático de Prevención de la Contaminación “IP2M” (Khan, 2008).

La metodología IP2M está diseñada para la implementación de un programa de prevención de contaminación durante el diseño de proceso y adaptaciones del proceso para todo tipo de procesos industriales.

La metodología se basa en las Guías de la US EPA además del LCA junto con otras herramientas adecuadas para evaluar oportunidades de prevención; tales como, integración de balances de masa y energía, herramientas de simulación de procesos; evaluaciones de riesgo y seguridad, además de las evaluaciones técnicas, ambientales y económicas; la optimización y módulos de decisiones basadas en calificaciones, considerando diferentes alternativas junto con opciones potenciales de “final de tubería” o de control de la contaminación.

La ONUDI desarrolló la metodología de Producción Más Limpia (PML) basada en la evaluación de los procesos e identificación de las oportunidades para usar mejor los materiales, minimizar la generación de los residuos y emisiones, utilizar racionalmente la energía y el agua, disminuir los costos de operación de las plantas industriales, mejorar el control de procesos e incrementar la rentabilidad de las empresas, aplicando el concepto de las 3 R's (Reducción, Reutilización y Reciclaje) (ONUUDI, 1999).

La metodología de PML se divide en 5 fases, las cuales incluyen: la naturaleza del proceso, los objetivos, los alcances, el énfasis sobre los recursos y el énfasis sobre los residuos. La interpretación de estas fases se presenta en la Tabla 2.1 (ONUUDI, 1999).

Tabla 2.1 Características Involucradas en la Producción Más Limpia (ONUUDI, 1999).

CARACTERÍSTICA	DEFINICIÓN	INTERPRETACIÓN
1. Orientación hacia los procesos	Mejora continua	La PML debe iniciarse con la idea de mejorar los procesos.
2. Objetivos	Minimiza riesgos a los seres humanos y al ambiente	La PML debe llevarse a cabo con la finalidad de disminuir el impacto al ambiente y debe ir más allá del cumplimiento de las leyes ambientales y la reducción de costos.
3. Alcances	Procesos industriales, productos y servicios	La PML debe aplicarse en todas las actividades de la empresa
4. Énfasis sobre los recursos	Prevenir desde el origen: la contaminación del aire, agua, suelo y generación de residuos	La PML debe eliminar o al menos reducir, la generación de residuos desde sus fuentes, sin importar en que departamento están siendo generados.

2.1.3 Beneficios y Limitaciones de la Prevención Minimización y Control de la Contaminación

La aplicación correcta de la prevención de la contaminación puede atraer importantes beneficios tanto para la industria como para el ambiente y la población; las industrias con un plan de prevención de la contaminación efectivo y permanente puede tener un costo de producción más bajo y con ello tener una importante ventaja competitiva (US EPA, 1992). Además de lo anterior, entre los principales beneficios destacan los siguientes:

- a) Beneficios ambientales y de salud pública. La mayoría de los límites aceptables para contaminantes específicos en las regulaciones mexicanas están basados en extrapolaciones de datos de riesgo a la salud, obtenidos de laboratorio; por lo tanto, en muchos casos cumplir con el límite establecido no quiere decir que no exista riesgo a la salud y el ambiente (SEMARNAT 2009, Colborn *et al* 1997). Implementando un programa de prevención de la contaminación se logra evitar al máximo la generación de contaminantes; además de, la disminución de la toxicidad de los productos, con lo cual se asegura mejor la salud de las personas y el ambiente.
- b) Mejora la imagen de la industria (US EPA, 1995). A medida que la calidad del ambiente se convierte en un elemento de mayor importancia para la sociedad, la política de las empresas y las prácticas para el control de la contaminación influyen cada vez más en las actividades de sus empleados y de la comunidad en general.

Los empleados tienden a sentirse más positivos hacia sus empresas cuando saben que se compromete a proporcionar un ambiente de trabajo seguro y está actuando como un miembro responsable de la comunidad.

Un programa de prevención de contaminación ayuda a crear una atmósfera participativa en la que los empleados se comprometen e interactúan para lograr los objetivos del programa, logrando al mismo tiempo personal competitivo y atracción a nuevos empleados de alta calidad (Shen, 1999).

- c) Mejora de la responsabilidad social. El compromiso social de la industria con la comunidad se incrementa por la reducción o eliminación de la generación de residuos peligrosos y otros posibles contaminantes. El manejo adecuado de residuos tiene impacto positivo en salud pública y en los valores de las propiedades de las

comunidades limitantes a los sitios de disposición final (Rive, 2010).

- d) Reducción de los costos de operación (US EPA, 1993). La prevención de contaminación genera ahorros que compensarían los costos de su desarrollo e implementación. Los ahorros en los costos de operación son notables cuando los costos de tratamiento, almacenamiento o disposición final de los residuos se destinan a la unidad de producción, producto o servicio que produce los contaminantes (US EPA, 1992).

El costo de los materiales puede reducirse mediante la adopción de procedimientos de producción y de envasado que consumen menos recursos, lo que genera menos residuos. Si la cantidad de residuos se reduce, el porcentaje de materia prima convertida en producto aumenta, con la disminución proporcional de los costos de materiales.

La prevención de la contaminación ha tenido un bajo desarrollo debido al terreno tan amplio que ha ganado en las últimas décadas la utilización de procesos de control de la contaminación al final del proceso o de “final de tubería”.

La principal barrera de la prevención de la contaminación es la resistencia al cambio, la mayoría de las industrias cuentan con procesos ya constituidos y eficientes de acuerdo a la obtención del producto y las ganancias deseadas, de modo que una modificación o cambio en el proceso implica para la industria sólo costos y tiempo extra que no garantizan las ganancias, sin considerar el beneficio de responsabilidad social.

Las barreras técnicas son también de gran importancia, ya que las metas del programa se definen en función de la tecnología disponible para el logro de los objetivos establecidos en el programa; así mismo, personal calificado y capacitado para el manejo de la tecnología es una necesidad significativa.

Un cambio fundamental en un proceso industrial nunca es fácil, especialmente cuando se trata de cambio mayor en el proceso, como el cambio de materia prima o la reconfiguración del proceso; lo cual obliga la realización de análisis de identificación de costos, beneficios, riesgos, incertidumbres y relación con otras compañías y programas (US EPA, 1998).

La falta de un beneficio económico inmediato es una barrera común a pesar de que haya beneficios económicos a largo plazo. El ahorro y ganancias es una motivación inmutable para la industria; lo cual con la prevención de la contaminación no siempre se ve reflejado porque los costos de los residuos o emisiones son externalizados a la sociedad y el ambiente (Shen, 1999).

2.1.4. Estrategias para eliminar las posibles barreras para llevar a cabo la Prevención, Minimización y Control de la Contaminación en la Industria

Para eliminar las barreras financieras es necesario establecer un valor al ambiente y a la salud, contando con un sistema de contabilidad que permita ilustrar claramente los beneficios económicos de la prevención de la contaminación (Shen, 1999).

El estudio de diferentes programas de prevención de la contaminación demuestran que las herramientas para alcanzar el éxito en la prevención han sido un financiamiento adecuado y una relación de cooperación entre industrias (Chittock, 2010).

Por otro lado para la implementación exitosa de un programa de prevención de la contaminación se deben vencer las barreras mentales, técnicas, financieras, regulatorias e institucionales y dar valor a la responsabilidad social, principalmente.

Las limitantes antes mencionadas están interrelacionadas y pueden ser eliminadas o reducidas mediante el fortalecimiento de la educación, promoviendo una red de información y comunicación, corrigiendo regulaciones ambientales, aplicando valor económico al ambiente e implementando sistemas de costo total (la incorporación de costos de “final de tubería” como costos de proceso), otorgando incentivos para la prevención de la contaminación, promoviendo una estructura organizacional y un sistema de gestión que permita asegurar la interacción con la comunidad, así como su participación, para enfatizar la responsabilidad social por parte de la empresa.

La prevención de la contaminación no es más aceptable que las experiencias ambientales ganadas décadas atrás con el tratamiento o sistemas de control de la contaminación. Sin embargo, las futuras industrias y las industrias ya existentes, pueden considerarla en un nuevo producto o servicio y usar constantemente técnicas preventivas para reducir los residuos o contaminantes buscando soluciones tempranas.

2.2 Agroindustria Azucarera en México

La Industria azucarera en México es una de las industrias más antiguas, tradicionales y de mayor trascendencia en el desarrollo económico y social del país, contando con 500 años de historia. A través del tiempo, el proceso de producción de azúcar de caña se ha mantenido sin cambios drásticos y por tanto sus efectos negativos en el ambiente se han acumulado de forma constante.

2.2.1 Antecedentes de la Agroindustria Azucarera en México

En México la industria de la fabricación de azúcar fue una de las primeras industrias de transformación que se fundó en el siglo XVI en la Nueva España. La primera industria azucarera se estableció en Veracruz debido principalmente al clima de la costa. La caña de azúcar es una planta propia de los climas tropicales y subtropicales que tengan, cuando menos, una lluvia moderada, combinada con una estación seca definida que permita efectuar la zafra (Maturana, 1970).

A partir de este periodo los ingenios en el país fueron aumentando en número e importancia, el cultivo de la caña de azúcar, se extendió con rapidez donde el clima era propicio, se establecieron pequeños molinos, movidos por tracción animal, que empezaron a fabricar el azúcar morena (Sandoval, 1951). De esta manera, la industria azucarera comenzó a tomar un lugar muy importante en la economía de la nación; convirtiéndose en el segundo motor de la economía del país después de la minería (Maturana, 1970).

Según Horacio Crespo en su libro Historia del Azúcar en México, con la Independencia de México, la producción en los ingenios azucareros del país se vio severamente afectada; no obstante, durante el Porfiriato se caracterizó por un crecimiento económico sostenido, donde el gran apoyo a la industria fortaleció la economía del país, con el estímulo de las exportaciones mexicanas y la inversión extranjera (Crespo, 1988).

Con la Revolución Mexicana en 1910, la situación de la Industria Azucarera comenzó a cambiar. Con las reformas agrarias y la destrucción del sistema de haciendas, comenzó a dividir y desorganizar el proceso de elaboración de azúcar; ya que, la división de la producción de la caña en dos grupos (cañeros y dueños de Ingenios), trajo consigo importantes problemas económicos y financieros (Aroche, 2004).

El gobierno comienza a apoyar la Industria con préstamos, con el fin de incrementar y modernizar la producción, pero existía una administración corrupta en la mayoría de los Ingenios (Maturana, 1970). Con el apoyo del gobierno se comienza a aumentar la producción, pero el mantenimiento del equilibrio entre la oferta y la demanda se hizo muy difícil por la crisis mundial y la baja demanda; lo cual acumuló excedentes que hicieron bajar los precios y trajo consigo grandes pérdidas y la quiebra de muchas fábricas (Maturana 1970, Aroche 2004).

Las graves pérdidas y quiebra de fábricas provocaron la unión de la mayoría de los Ingenios en la Unión Nacional de Productores de Azúcar, S.A (UNPASA). La misión de esta unión fue sacar de la crisis a la industria azucarera con el apoyo de Gobierno Federal. Este organismo tuvo aciertos y quebrantos en varias de las decisiones tomadas; hasta que finalmente en el periodo de 1956-1967 se logró una estabilización y grandes niveles de producción, principalmente por las grandes exportaciones a Estados Unidos (Maturana 1970, UNPASA 1963, Aroche 2004).

Con el tiempo la industria azucarera se fue hundiendo lentamente hacia una profunda crisis económica, debido a las estructuras viejas y obsoletas, sin solvencia económica para pagar los préstamos que habían beneficiado sólo a individuos privados (Aroche 2004).

La respuesta del gobierno fue tomar el control de Operadora Nacional de Ingenios (ONISA) en 1971 el gobierno tenía el control de 19 ingenios y para finales de la década de 1970, el gobierno controlaba 49 de los 66 ingenios del país formando otro organismo llamado Comisión Nacional de la Industria Azucarera (CNIA), con el fin de coordinar las políticas azucarera del gobierno. No obstante, las ganancias de la industria eran mínimas y las pérdidas eran absorbidas por el gobierno (Aroche 2004).

En 1982 el gobierno decide nacionalizar los ingenios existentes con el propósito de limpiar sus problemas financieros y el 1988 dentro del sexenio del Presidente Miguel de la Madrid el gobierno privatiza estos ingenios y deja en manos de sectores privados el trabajo de revivir esta Industria (Aroche, 2004).

2.2.2. Situación actual de la Agroindustria Azucarera en México

Actualmente a nivel mundial, México es el sexto (3.8%) mayor productor de azúcar como se puede observar en la Figura 2.6, Brasil es el principal productor de azúcar (19.1%) y Estados Unidos es el cuarto (5.2%), de acuerdo al Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (SAGARPA 2007, USDA 2012).

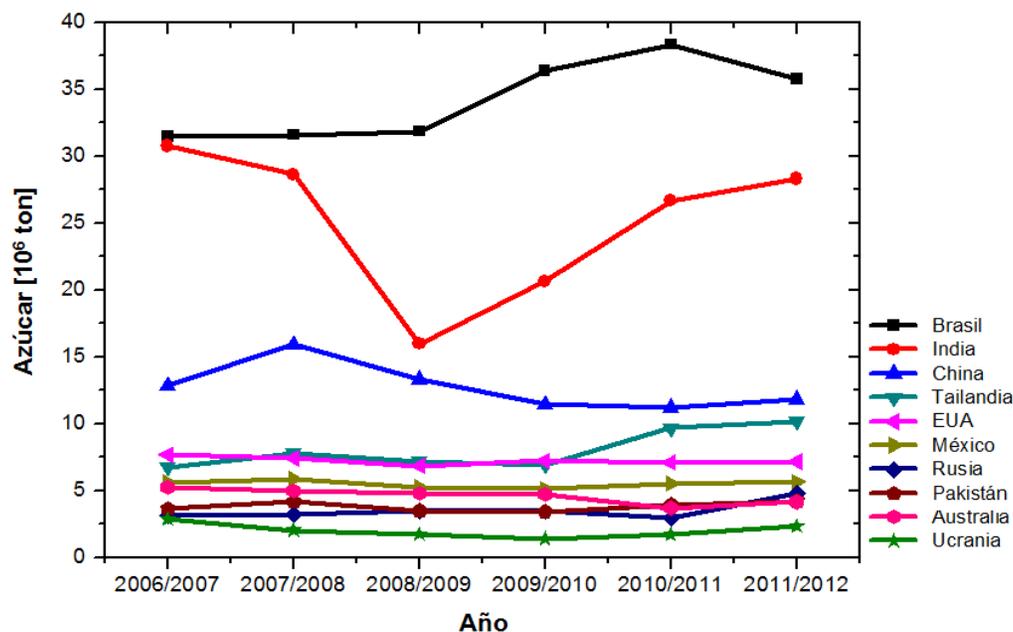


Figura 2.6 Países de mayor producción de azúcar en el mundo. Elaboración propia con datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (USDA, 2012).

La agroindustria de la caña de azúcar representa el 11 % del valor del sector primario, el 2.5% del PIB manufacturero y el 0.4% del PIB nacional, genera más de 450,000 empleos directos y beneficia a más de 2.2 millones de personas (CNIAA, 2010a).

La producción de caña de azúcar se realiza en alrededor de 700 mil hectáreas que abastecen a 57 Ingenios de 15 estados cañeros (Figura 2.7), siendo una actividad de alto impacto en 227 municipios donde habitan más de 12 millones de mexicanos (CNIAA 2010a, INEGI 2010).

El consumo mundial de azúcar es de 145 millones de toneladas. El consumo nacional aparente es de 4.8 millones de ton anuales (promedio 2001-2006), y el consumo per cápita 47.9 kg/año (SAGARPA, 2007).

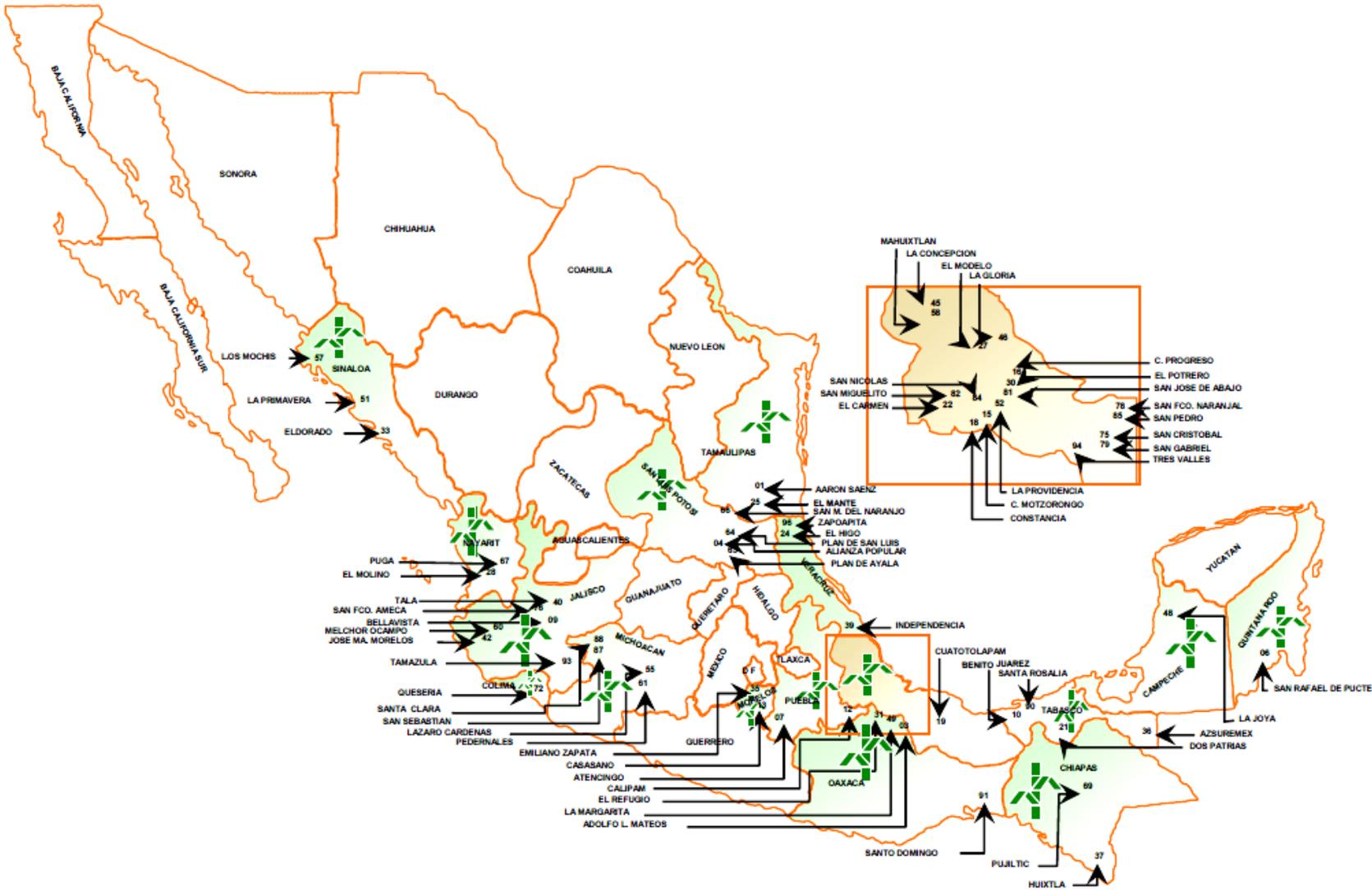


Figura 2.7 Distribución y localización por estado de los Ingenios Azucareros en México (FEESA-PROASA, 2011).

Los Ingenios del País se encuentran organizados en 11 grupos azucareros, un grupo del sector gobierno y un grupo de independientes como se muestra en la Tabla 2.2 (CNIAA, 2010b).

Tabla 2.2 Ingenios Azucareros del País y su organización en grupos (CNIAA, 2010b)

No.	GRUPO/INGENIO	ESTADO	No.	GRUPO/INGENIO	ESTADO
	BETA SAN MIGUEL			PROM. INDUSTRIAL AZUCARERA	
1	San Rafael del Puente	Querétaro	25	Adolfo López Mateos	Oaxaca
2	San Miguel del Naranjo	S.L.P.	26	Tres valles	Veracruz
3	San Francisco Ameca	Jalisco		GRUPO BAENZ	
4	Quesería	Colima	27	Aaron Saenz Garza	Tamaulipas
5	Constancia	Veracruz	28	El Mante	Tamaulipas
6	Santa Rosalía	Tabasco	29	Tamazula	Jalisco
	GRUPO AZUCARERO MÉXICO			GRUPO SANTOS	
7	Benito Juárez	Tabasco	30	Alianza Popular	S.L.P.
8	El Dorado	Sinaloa	31	Bellavista	Jalisco
9	Tala	Jalisco	32	Cuatotlapam	Veracruz
10	Lázaro Cárdenas	Michoacán	33	Pedernales	Michoacán
	GRUPO AZUCARERO DEL TRÓPICO		34	Plan de Ayala	S.L.P.
11	La Gloria	Veracruz		GRUPO SUCARMEX	
12	La Joya	Campeche	35	El Higo	Veracruz
	GRUPO GARCÍA GONZALEZ		36	La Primavera	Sinaloa
13	Calipam	Puebla	37	Mahuixtlan	Veracruz
14	El Carmen	Veracruz	38	Melchor Ocampo	Jalisco
15	Nuevo San Francisco	Veracruz	39	Pujilic (La Fe)	Chiapas
	GRUPO LA MARGARITA			INDEPENDIENTES	
16	Central Progreso	Veracruz	40	Dos Patrias	Tabasco
17	La Margarita	Oaxaca	41	El Molino	Nayarit
18	Zapoapita	Veracruz	42	Azsuremex (Tenosique)	Tabasco
	GRUPO MOTZORONGO		43	Independencia	Veracruz
19	Central Motzorongo	Veracruz	44	La Concepción	Veracruz
20	El Refugio	Oaxaca	45	Los Mochis	Sinaloa
	GRUPO PORRES		46	Puga	Nayarit
21	Huixtla	Chiapas	47	San Gabriel	Veracruz
22	San Pedro	Veracruz	48	San José de Abajo	Veracruz
23	San Sebastián	Michoacán	49	San Nicolás	Veracruz
24	Santa Clara	Michoacán	50	Santo Domingo	Oaxaca

Continuación Tabla 2.2 Ingenios Azucareros del País y su organización en grupos (CNIAA, 2010b)

No.	GRUPO/INGENIO	ESTADO	No.	GRUPO/INGENIO	ESTADO
SECTOR GOBIERNO (FEESA)					
51	Atencingo	Puebla	56	José Ma. Morelos	Jalisco
52	Casasano La Abeja	Morelos	57	La Providencia	Veracruz
53	El Modelo	Veracruz	58	Plan de San Luis	S.L.P.
54	El Potrero	Veracruz	59	San Cristóbal	Veracruz
55	Emiliano Zapata	Morelos	60	San Miguelito	Veracruz

Los indicadores más importantes del Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar para las últimas 5 zafras reportadas por los Ingenios y consolidada por la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA) se encuentran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar Zafra 2005/06 a 2009/10 (CNIAA, 2010b).

CONCEPTO	UNIDAD	ZAFRA				
		2009/10	2008/09	2007/08	2006/07	2005/06
Unidades en operación	Ingenios	57	54	57	57	57
Duración	Días	151	144	164	169	164
Superficie Industrializada	ha	647,937	663,057	683,008	675,172	658,776
Caña por hectárea	Ton	66.94	64.12	70.72	72.61	71.79
Azúcar por hectárea	kg	7,448	7,484	8,083	7,871	8,018
KARBE (Caña Molida Bruta)	KARBE/TCB	112.26	117.55	116.00	110.39	113.59
KARBE (Caña Molida Neta)	KARBE/TCN	116.47	122.06	120.46	114.48	117.61
Precio de referencia del azúcar para el pago de caña	\$/Ton	9,742.00	6,579.21	5,996.13	6,356.45	5,932.77
Precio por tonelada de caña neta	\$/Ton	646.77	457.76	411.70	414.78	397.71
Caña Molida Bruta	Ton	43,370,288	42,516,838	48,305,474	49,025,605	47,290,412
Caña Molida por hora	Ton	15,314	14,816	15,518	15,393	14,909
Fibra en Caña	%	13.22	13.45	13.26	13.12	13.26
Imbibición por ciento caña	%	24.99	24.90	24.12	23.86	24.47
Bagazo obtenido	Ton	12,610,961	12,576,430	14,051,635	14,112,069	13,742,927
Bagazo en caña	%	29.08	29.58	29.09	28.79	29.06
Humedad en bagazo	%	51.32	51.06	51.05	51.08	51.04
Sacarosa en Bagazo	%	2.34	2.43	2.41	2.37	2.39
Bagazo empacado	Ton	26,115	60,414	78,748	115,247	235,425
Producción azúcar refinada	Ton	1,602,792	1,670,555	1,702,110	1,844,860	1,830,906

Continuación Tabla 2.3 Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar Zafra 2005/06 a 2009/10 (CNIAA, 2010b).

CONCEPTO	UNIDAD	ZAFRA				
		2009/10	2008/09	2007/08	2006/07	2005/06
Producción azúcar estándar	Ton	3,221,943	3,252,119	3,806,103	3,467,458	3,432,726
Producción de azúcar mascabado		804	39,821	12,474	1,762	18,456
Rendimiento de Fábrica	%	11.13	11.67	11.43	10.84	11.17
Pérdidas de sacarosa en Bagazo	%	0.68	0.72	0.70	0.68	0.69
Pérdidas de sacarosa en Miel Final	%	1.12	1.16	1.25	1.19	1.23
Pérdidas de sacarosa en Cachaza	%	0.15	0.14	0.14	0.14	0.16
Sacarosa en Caña	%	13.38	13.96	13.82	13.18	13.53
Tiempo perdido en Fábrica	%	7.51	9.53	9.87	9.53	9.71
Petróleo Consumido en Pruebas	L	8,558,281	8,112,313	10,991,450	11,948,439	16,646,184
Petróleo Consumido en Fábrica	L	155,516,655	155,221,119	248,165,144	374,054,970	376,333,596
Petróleo Consumido Fab/Ton Caña	L	3.59	3.65	5.14	7.63	7.96
Petróleo Consumido Fab/Ton Azúcar	L	32.23	31.28	44.95	70.39	71.25

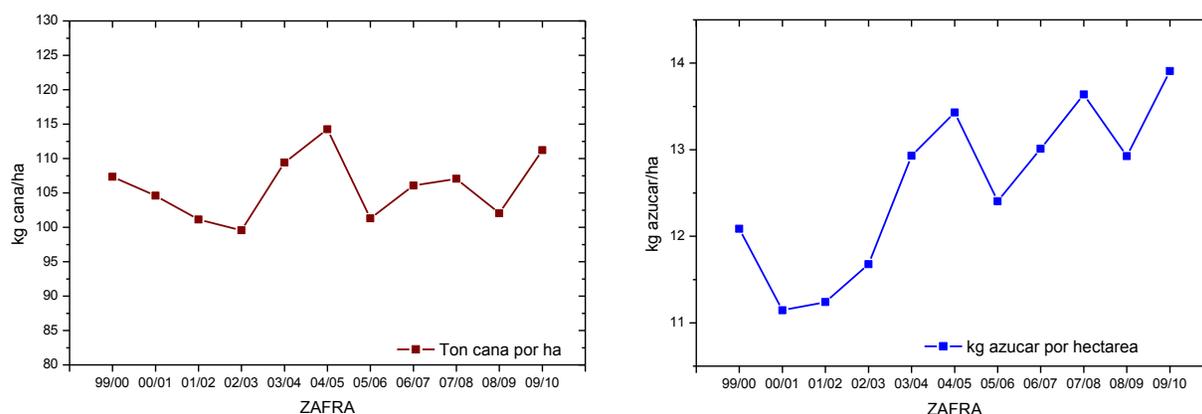


Figura 2.8 Indicadores del Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar, Zafra 1999/00 a 2009/10 (CNIAA, 2010b).

La Figura 2.8 muestra la tendencia en las últimas 11 zafras de dos principales indicadores para medir la productividad de caña en campo (kg caña/ha) y producción de azúcar (kg azúcar/ha); como puede observarse en las gráficas, el indicador kg azúcar/ha presenta una tendencia creciente, lo cual señala que el rendimiento en fábrica ha ido mejorando con el tiempo, a diferencia de en campo, la estabilidad del indicador kg caña/ha indica que

la producción en campo se ha mantenido sin cambios importantes para mejorar su productividad ya que ésta se ha mantenido entre 100 y 115 kg caña/ha; cuando se pueden alcanzar producciones de hasta 200 kg/ha (CNIAA, 2010b).

Otros indicadores importantes de la Industria Azucarera son el porcentaje de rendimiento en fábrica y los litros de petróleo consumido por tonelada de caña, en la Figura 2.9 se presenta su tendencia. El rendimiento en fábrica ha mejorado en el transcurso del tiempo debido a las mejoras tecnológicas que se han implementado en algunos Ingenios del País. En la zafra 2002/03 en el país operaron 58 ingenios, a los cuales el Ing. Manuel Enríquez Poy los clasifica en tres categorías de acuerdo al nivel tecnológico, 39% Tecnología actualizada, 42% Tecnología convencional y 19% Tecnología rezagada (COLPOS, 2003).

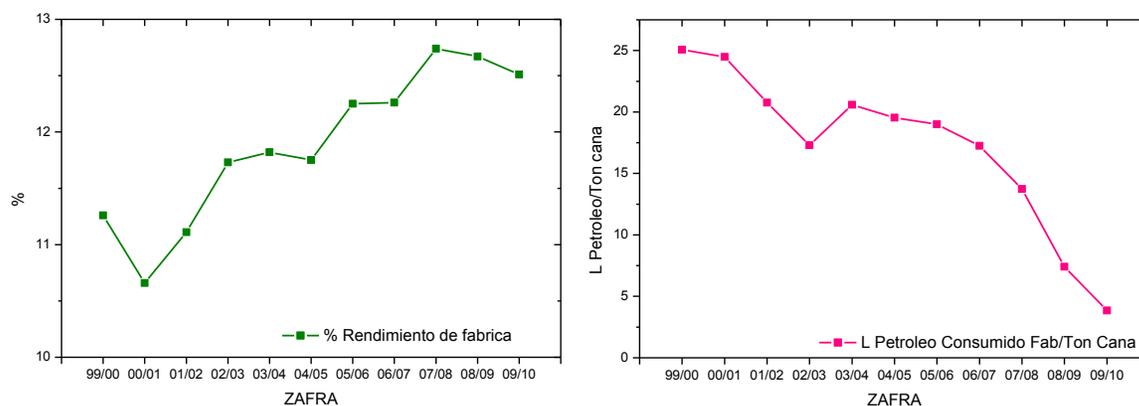


Figura 2.9 Indicadores del Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar, Zafra 1999/00 a 2009/10 (CNIAA, 2010b).

Tabla 2.4 Rendimiento de Ingenios por Estado de la República (SAGARPA, 2007)

Estado	Ton	No. Ingenios	Ton Azúcar/ha
Puebla	189,913	2	14.02
Morelos	157,552	2	12.24
Jalisco	624,703	6	10.32
Michoacán	146,197	3	9.92
Chiapas	245,436	2	9.68
Nayarit	226,729	2	8.81
Veracruz	2,010,889	22	7.88
Oaxaca	290,680	3	7.63
Sinaloa	164,028	3	7.50
Tamaulipas	203,682	2	7.39
San Luis Potosí	443,804	4	6.76
Quintana Roo	136,640	1	6.46
Tabasco	170,198	3	6.35
Campeche	27,857	1	4.29
Total (01/06)	5,137,700	57	8.21

Los rendimientos de los Ingenios varían de un 14 a 8% de acuerdo a las Toneladas de azúcar por hectárea; además, los rendimientos varían respecto a la localización del Ingenio, en la Tabla 2.4 se presenta esta variación de forma clara (SAGARPA, 2007).

Los Ingenios Azucareros con mejores rendimientos de producción de azúcar de caña correspondientes a la zafra 2007/2008 y la zafra 2010/2011 se presentan en la Tabla 2.5 (CNIAA, 2008 y CNIAA, 2011). Como puede observarse, el mayor rendimiento lo presentó el Ingenio Atencingo del estado de Puebla y el Ingenio Casasano; así mismo, el Ingenio Emiliano Zapata se encuentra entre los Ingenios con mejores rendimientos.

Tabla 2.5. Rendimiento por Ingenio (CNIAA, 2008 y 2011).

Ingenio	Rendimiento % 2008	Rendimiento % 2010
Casasano (Morelos)	12.73	12.87
El Molino (Nayarit)	12.56	12.69
Cía. Azucarera la Fe (Chiapas)	12.70	12.61
Emiliano Zapata (Morelos)	12.74	12.51
Atencingo (Puebla)	12.91	12.47
San Francisco Ameca (Jalisco)	12.33	12.20
Tamazula (Jalisco)	12.70	11.92
El Modelo (Veracruz)	11.67	11.34

Los ingenios con los mayores rendimientos del país son en la mayoría Fideicomisos del Gobierno (Grupo SAGARPA-FEESA) como el Ingenio Casasano, Emiliano Zapata, Atencingo y El Modelo; sin embargo, en todos ellos elaboran azúcar estándar. El Ingenio Tamazula de Jalisco es el de mayor rendimiento de los que elaboran azúcar refinada.

Las proyecciones y escenarios para la agroindustria azucarera se dividieron en tres, de acuerdo al Escenario Base 2009-2018 de SAGARPA, (SAGARPA, 2009a):

1. Se espera una recuperación en la superficie plantada y en la producción de caña en el 2009 y se estima que esta tendencia se mantenga a largo plazo. En los últimos años la disminución en la producción se originó por la caída en la superficie sembrada y en los rendimientos, los cuales dependen en gran medida del precio de los fertilizantes, los cuales presentaron incrementos importantes (Figura 2.10).

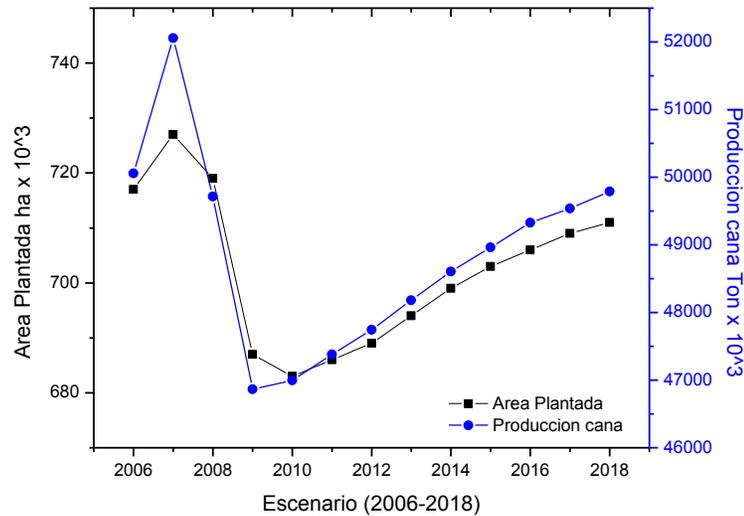


Figura 2.10 Área plantada y producción de caña de azúcar. Escenario 2009-2018 (SAGARPA, 2009a).

- La producción de azúcar muestra una disminución en el 2009 y después una recuperación constante. Se prevé un superávit durante el resto de la proyección base. El comercio exterior, principalmente con los EUA., es complejo de modelar ya que depende de las políticas implementadas por ese país, especialmente lo referente a la utilización del azúcar para la producción de etanol (Figura 2.11).

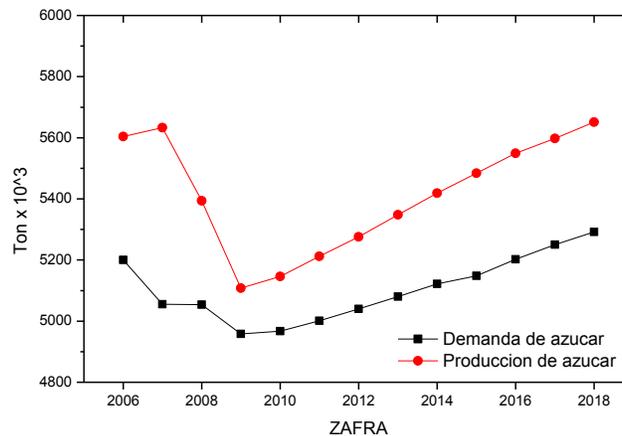


Figura 2.11 Demanda y producción de azúcar. Escenario 2009-2018 (SAGARPA, 2009a).

- En el 2008 se observó una caída importante en el precio del azúcar, en respuesta a su acumulación y los precios internacionales. A finales de 2009 se espera una recuperación del precio del azúcar y se prevé que mantenga una ligera tendencia al alza (Figura 2.12). La política energética de EUA tendrá un impacto en los precios del

azúcar de ese país y por ende, en el nuestro. El precio del azúcar nacional responde en cierta medida al precio internacional.

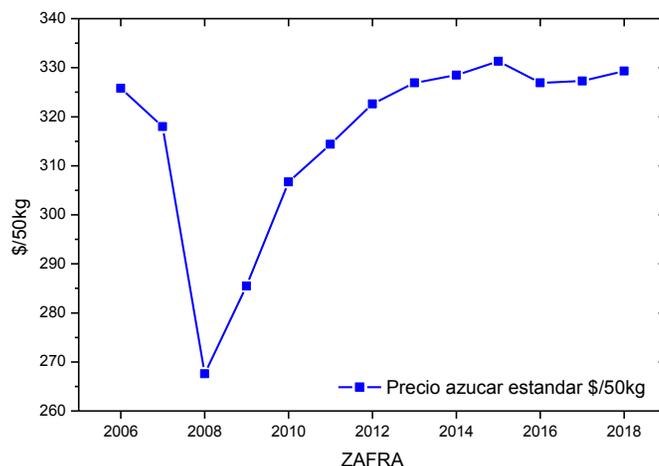


Figura 2.12 Precio del azúcar estándar. Escenario 2009-2018 (SAGARPA, 2009a).

En la Tabla 2.6 se presenta un resumen obtenido del Escenario 2009-2018 del Sector Agropecuario de México, donde se presenta la oferta y demanda de la Caña de Azúcar y Azúcar para el periodo comprendido de 2006-2018.

Tabla 2.6 Oferta y demanda de caña de azúcar y azúcar 2006-2018. (SAGARPA, 2009a)

Indicador/Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	(1000 ha)												
Área plantada	717	727	719	687	683	686	689	694	699	703	706	709	711
Área cosechada	663	690	669	639	635	638	641	646	650	653	657	659	661
	(Ton/ha)												
Rendimiento	75.52	75.40	74.30	73.36	74.01	74.30	74.46	74.64	74.80	74.93	75.07	75.16	75.29
	(1000 ton)												
Producción de caña	50058	52056	49713	46866	46996	47379	47743	48180	48604	48962	49326	49536	49790
Tasa de extracción	11.19	10.82	10.85	10.90	10.95	11.00	110.05	11.10	11.15	11.20	11.25	11.30	11.35
Producción de azúcar	5604	5633	5394	5108	5146	5212	5276	5348	5419	5484	5549	5598	5651
Exportación del azúcar	866	160	580	577	469	460	478	506	531	566	571	576	392
Exportación a EUA	571	118	565	567	459	450	468	496	521	556	561	566	382
Exportación a otros países	300	42	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Consumo doméstico	5904	5055	5054	4958	4967	5001	5040	5080	5122	5148	5202	5250	5292
Consumo per cápita (kg)	54.9	47.8	47.4	46.1	45.8	45.8	45.8	45.8	45.9	45.8	46.0	46.2	46.2
Inventarios finales	1294	1718	1707.5	1517	1481.1	1490.8	1501.6	1515.1	1526.8	1543.8	1554.9	1603.8	1603.8
	(\$/50kg)												
Precio de azúcar estándar	325.8	318.0	267.6	285.5	306.7	314.4	322.6	326.9	328.5	331.3	326.9	327.3	329.3
	(US\$/ton)												
Precio internacional													
EUA promedio	460.1	468.9	466.0	500.0	482.6	479.6	484.0	488.2	491.6	491.4	486.6	485.3	484.2
Caribe	257.3	301.4	286.6	286.9	279.5	286.5	292.3	298.1	305.0	310.0	314.8	322.7	329.4

2.2.3. Programas actuales para mejorar la Agroindustria Azucarera de México

Actualmente los actores nacionales del sector agroindustrial de la caña de azúcar en nuestro país, acordaron con el Gobierno Federal, una nueva estrategia para el desarrollo de la actividad. Los objetivos y acciones para lograr el desarrollo sustentable y alta competitividad quedaron plasmados en el *Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (PRONAC) 2007-2012* (SAGARPA, 2007).

Con PRONAC el Gobierno Federal y los agentes de la cadena Caña-Azúcar aceptan el reto de enfrentar la competencia en el mercado interno de edulcorantes, aprovechar con éxito la oportunidad que ofrece la apertura del mercado TLCAN y diversificar su oferta mediante la producción de biocombustibles, sucroquímica y la cogeneración de energía eléctrica.

Las líneas estratégicas del PRONAC para mejorar la expansión, competitividad y rentabilidad del sector son las siguientes (SAGARPA, 2007):

I: Fortalecer la política comercial: mediante el conocimiento de la demanda real y potencial de edulcorantes en la región, haciendo más eficiente la cadena de distribución, estrechando el contacto con el consumidor, garantizando el consumo interno y dinamizando las exportaciones.

II: Elevar producción de caña de azúcar: sustentada en un crecimiento continuo de los rendimientos en el campo, mediante agricultura de precisión, fertilización oportuna, aumento en la superficie de riego, desarrollo de nuevas variedades, compactación de superficies y un nuevo equilibrio de campo

III: Incrementar la producción de azúcar: Con base en mayores rendimientos en fábrica, a través de la modernización de los procesos productivos que permitan aumentar la molienda, disminuir pérdidas, aprovechar más productivamente el tiempo y lograr una mayor recuperación de azúcar.

IV: Aumento de la Inversión y el empleo: brindar certeza a la actividad productiva, promover los acuerdos, la investigación y transferencia de tecnología, el acceso al financiamiento y el impulso a la diversificación productiva.

Las estrategias de PRONAC se pretenden alcanzar con los siguientes objetivos y mediante un presupuesto de 998.5 millones de pesos:

- Promover la inversión con el propósito de modernizar la planta industrial, la mejora de los índices de productividad, el incremento de la eficiencia y la disminución de costos y tiempos perdidos.
- Aumentar la eficiencia en el aprovechamiento de consumo de agua e incorporar sistemas tecnológicos que mejoren la calidad de las aguas residuales.
- Mejorar los procesos de recepción de caña, transformación, manejo y almacenaje.

El Proyecto Nacional de Alta Rentabilidad para la Transformación del Campo Cañero Mexicano (PRONAR 2009) es un programa derivado del PRONAC para consolidar la integración de la agroindustria nacional de las actividades cañeras y azucareras nacionales (SAGARPA, 2009b).

El PRONAR está sustentado en 4 componentes principales:

1. Impulso al cambio de mentalidad para un liderazgo transformador y una visión empresarial de todos los actores de la cadena de Agroindustria de la Caña de Azúcar para una nueva cultura de productividad, competitividad y rentabilidad.
2. Capacitación y asistencia técnica para la implementación de las Unidades Compactas Cañeras de Alta Rentabilidad para la Transferencia de Tecnología (UCCARETTs), para un programa de 4 años que impulse la renovación anual de cepas del 20% del total de la superficie cosechada en cada ingenio, así como la incorporación de áreas al riego y su tecnificación, obras de nivelación y drenaje.
3. Integración del Grupo Estratégico Interinstitucional para dar atención a la problemática particular de cada ingenio, privilegiando los temas de riego, financiamiento y capacitación, diseño, operación y seguimiento del Plan Estratégico de Campo.
4. Transferencia de Tecnología: La adopción de innovaciones tecnológicas como el acolchado para caña de azúcar de 3,000 ha, en 30 Ingenios del País para 2009 como arranque del programa.

2.2.4. Proceso general de producción de azúcar en México

El azúcar puede obtenerse principalmente a partir de la caña de azúcar y la remolacha azucarera. En México la producción de azúcar es a partir de caña. Para la obtención de azúcar se requiere de un largo proceso, desde que la semilla de caña germina hasta que el azúcar se comercializa.

El proceso general de producción de azúcar en el país consta de manera general de las etapas de: labores de siembra y cosecha, transporte de la caña del campo al Ingenio en camiones de carga, el procesamiento de la caña de azúcar en el Ingenio para la obtención de azúcar estándar o refinada y, en algunos casos alcohol como productos principales y como subproductos la obtención de melaza, cachaza y bagazo (Figura 2.13).

Labores de siembra y cosecha:

La preparación de las tierras se realiza con la finalidad de mejorar y facilitar las actividades agronómicas para el buen desarrollo del cultivo. Se lleva a cabo un análisis foliar, control de malezas y aplicación técnica de fertilizantes para obtener un adecuado desarrollo del cultivo.

El cultivo de la caña requiere agua en la cantidad y forma oportuna para alcanzar una buena producción. El riego se aplica hasta dos meses antes de la cosecha, la cual se realiza entre los 6 y 12 meses asegurando una excelente calidad de la caña.

El corte se realiza manual o mecánicamente, utilizando parámetros de calidad que disminuyen los porcentajes de materia extraña.

Las labores de campo requieren una organización minuciosa, debido a que en temporada de zafra se debe abastecer al Ingenio con una cantidad de toneladas diarias, aprovechando de la mejor forma los cultivos para su abastecimiento, lo cual implica una correcta selección de las hectáreas que se procesarán y el orden en que deberán ser procesadas.

Previo a la cosecha manual, la caña es quemada para eliminar la hoja y apartar a animales. Este proceso facilita la recolección; sin embargo, al quemar la caña y al elevar su temperatura la corteza de la caña se fisura y las bacterias que están en el aire o en la tierra se depositan en estas fisuras y empiezan a consumir el azúcar, lo que produce

almidones y ácidos grasos, bajando el rendimiento, el contenido de la sacarosa y provocando su desdoble en glucosa y fructuosa.



Figura 2.13 Diagrama de proceso general de producción de azúcar de caña en México.

Corte manual o mecánico:

La cosecha en todos los Ingenios del País se lleva a cabo de forma manual en mayor porcentaje y mecanizada en un mínimo porcentaje. La principal ventaja de la cosecha mecánica frente a la manual es que el corte puede llevarse a cabo en verde; es decir, sin quemar la caña previo a la cosecha; sin embargo, se debe tener una siembra adecuada en el campo o parcela que se va a cosechar con máquina, sobre todo en la distancia entre surcos, ya que de ello depende un menor porcentaje de impurezas en la cosecha.

Transporte:

Una vez cortada la caña, en caso de ser manual es alzada mecánicamente del campo y transportada a la fábrica en tractores y camiones procurando el menor tiempo de permanencia. Cuando el corte es mecánico, la caña ya picada se descarga directamente en el camión para su transporte.

Preparación para molienda:

Cuando la caña llega al Ingenio es pesada para llevar un control de las toneladas de caña que ingresan a la planta. Los camiones con caña se colocan en el área de batey donde esperan para descargar la caña.

La caña es descargada en las mesas alimentadoras y se aplica una limpieza vía húmeda o seca para eliminar la tierra y basura que es arrastrada de los campos. La limpieza en seco consiste en mesas alimentadoras con sistema de vibración que permite sacudir la caña para que la tierra y hojas no deseadas caigan bajo la mesa y sean recolectadas. Posteriormente se conduce hacia cuchillas rotatorias que se encargan de cortar los tallos en pedazos pequeños y desfibradoras o molinos de martillos que desmenuzan la caña pero no extraen jugo.

Molienda:

En la etapa de molienda se extrae el jugo de la caña a través de un tándem de molinos de 3, 4 o hasta 6 mazas y se agrega agua caliente para obtener la máxima cantidad de sacarosa en un proceso llamado maceración. En esta etapa se obtiene el jugo mezclado o guarapo y un residuo sólido fibroso llamado bagazo que se utiliza como combustible para generar electricidad en los Ingenios Azucareros.

Clarificación y filtración:

El jugo mezclado o guarapo es ácido y turbio. El proceso de clarificación (o defecación), diseñado para remover las impurezas tanto solubles como insolubles, emplea cal y calor, agentes clarificantes. La cal se adiciona en forma de lechada de cal (CaO y H_2O), en cantidades de alrededor de 0.5 kg CaO /ton de caña, su función es neutralizar la acidez del guarapo, formando sales insolubles de calcio, generalmente fosfatos de calcio.

El calentamiento del guarapo alcalizado hasta la temperatura de ebullición o mayor sirve para coagular la alúmina y algunas grasas, ceras y gomas, el precipitado formado atrapa los sólidos suspendidos al igual que las partículas más finas (Chen J. P. 1991).

Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación y se filtran en tambores rotativos al vacío. El jugo filtrado regresa al proceso o pasa directamente al jugo clarificado y el residuo sólido de la filtración conocido como cachaza se regresa al campo y se utiliza como fertilizante.

Evaporación y cristalización:

El jugo claro contiene aproximadamente el 85% de agua. Mediante evaporadores de múltiple efecto al vacío, generalmente de cuatro etapas, se evaporan aproximadamente dos terceras partes del agua contenida en el jugo crudo. Con este sistema, el vapor que se introduce al primer cuerpo, logra producir evaporación en efecto múltiple y el vapor que sale del último de ellos se envía a un condensador. El jugo concentrado, llamado meladura, jarabe o melaza, sale continuamente del último cuerpo y contiene aproximadamente el 65% de sólidos y 35% de agua.

La cristalización es una continuación del proceso de evaporación y tiene lugar en tachos al vacío de simple efecto, donde el jarabe se evapora hasta quedar saturado de azúcar. Generalmente se introducen cristales de siembra o semilla que sirven de núcleo a los cristales de azúcar. A medida que se evapora el agua, se agrega más meladura hasta que la mezcla de cristales y melaza queda concentrada formando una masa densa, conocida como masa cocida. Una vez saturado el tacho, se descarga el contenido a un tanque mezclador o cristizador, cuyo propósito es disminuir la temperatura de la masa cocida.

El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos A, B y C respectivamente para lograr la mayor concentración de sacarosa.

Centrifugación:

La masa cocida del primer tacho denominada templa de A, pasa a centrifugas de alta velocidad que separaran los cristales de azúcar del licor madre. Durante este proceso, el azúcar es lavado para retirar los residuos de miel y posteriormente es secado y enfriado para obtener el azúcar estándar.

La masa cocida de los tachos del segundo y tercer cocimiento (B y C) pasa a centrifugación, donde se obtiene semilla de B y C los cuales sirven de núcleo a los cristales de azúcar de A y B respectivamente. Por otro lado, las aguas madres o mieles de A y B son enviadas a los tachos B y C respectivamente. El conjunto de este proceso es llamado agotamiento de sacarosa.

La miel final (agua madre de centrifugas C), es un residuo denso y viscoso que contiene aproximadamente una tercera parte de sacarosa, sirve como base para la alimentación del ganado, fabricación de alcohol industrial ó producción de levadura.

Secado:

El secador o granulador consta de uno o más tambores rotatorios en paralelo, los cuales reciben vapor o aire caliente junto con los cristales de azúcar, eliminando la mayor parte del contenido de humedad en éstos, hasta el 0.02% o menos. Posteriormente el azúcar se envía a enfriadores que son tambores parecidos a los secadores, pero sin los elementos de calentamiento.

Almacén:

Finalmente el azúcar se transporta a tolvas para pesarlo y envasarlo en sacos, con sistemas de calidad rigurosos ya que se trata de un alimento base.

Para obtener azúcar refinada, el azúcar estándar es fundido o disuelto en agua y posteriormente es aireado en un recipiente a presión. El licor obtenido es pasado por los filtros de carbón, donde se eliminan las impurezas y es entregado a los tachos de refino. Igual que en los tachos de fábrica, se elimina el agua y se obtiene azúcar refino cristalizado, que pasa de las centrifugas a los secadores y al envasado.

Servicios auxiliares:

En el proceso de elaboración de azúcar se cuenta con diversos servicios auxiliares, como calderas, turbogeneradores, sistemas de recuperación y manejo de condensados, sistemas de enfriamiento de agua, sistemas de tratamiento de aguas residuales, almacenes general y temporal de residuos peligrosos. Algunos de estos servicios son fundamentales en el proceso y otros son auxiliares para el control ambiental.

Las calderas, también conocidas como el corazón de la fábrica son alimentadas con cierta cantidad de agua, con el fin de producir el vapor necesario para los turbogeneradores y diversas operaciones de producción, tales como evaporación, cristalización, centrifugación y secado. El calor requerido para la producción de vapor se obtiene mediante la combustión de bagazo y combustóleo.

Los turbogeneradores reciben el vapor necesario de las calderas, para la generación de energía eléctrica.

Durante todo el proceso de producción se utilizan grandes cantidades de agua y generan grandes volúmenes de condensados, por lo tanto es necesario un sistema de manejo de condensados, que permita reusar la mayor cantidad de agua y disminuir la extracción de agua limpia de pozo o río.

El agua residual de los Ingenios puede contener una alta carga de materia orgánica, química y sólidos suspendidos o disueltos; además de grasas y aceites procedentes de los equipos de molienda y pH ácido o alcalino de acuerdo a los lavados químicos que sean aplicados en los equipos sumado a una temperaturas elevadas; por lo tanto, la mayoría de los ingenios el país cuenta con trampas de grasas y aceites, tanques neutralizadores y torres de enfriamiento para el control ambiental de agua residual. En un 90%, el agua residual de los Ingenios es utilizada para riego agrícola de la caña de azúcar (CNIAA, 2011).

2.3.5 Impactos ambientales originados por el cultivo de la caña de azúcar

La industria azucarera genera impactos ambientales tanto en campo como en la industria. Los impactos ambientales del cultivo de caña de azúcar; así como sus fuentes en relación con los procesos clave y los insumos se presentan en la Figura 2.14.

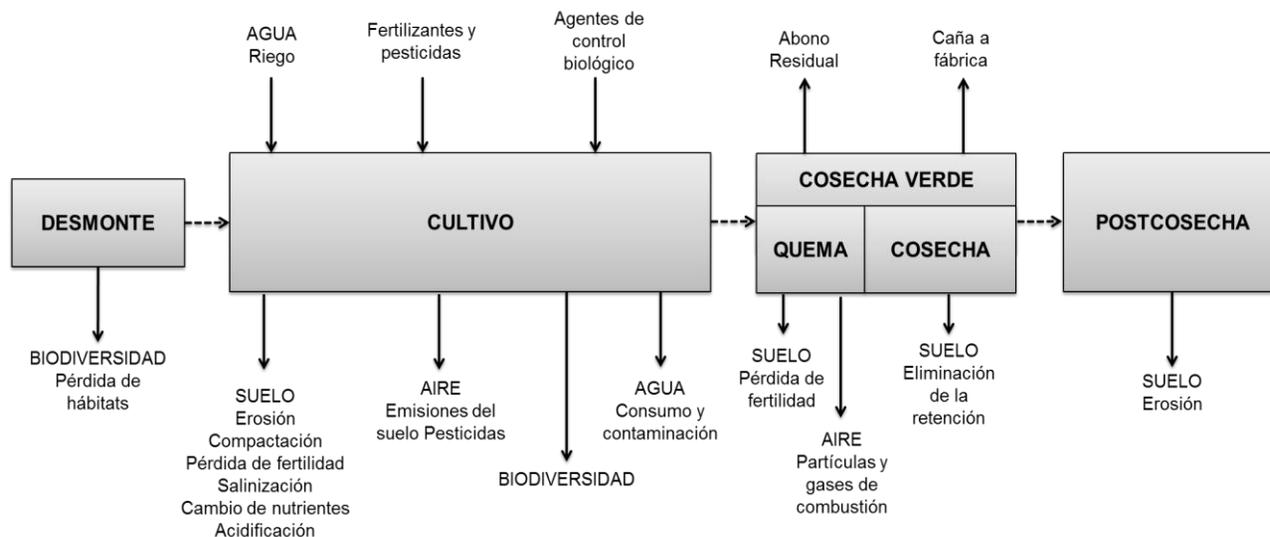


Figura 2.14 Fuentes de impactos ambientales en relación con los procesos clave y los insumos en el cultivo de la caña de azúcar (Cheesman O. D., 2004).

Impactos ambientales sobre la biodiversidad:

El desmonte no sólo se traduce en la pérdida directa de las especies y los hábitats, sino también en una serie de impactos más amplios sobre la función de los ecosistemas incluyendo cambios hidrológicos e incremento de la erosión del suelo.

Durante el cultivo los impactos ambientales sobre la biodiversidad incluyen la sedimentación de los caminos de agua como consecuencia de la erosión del suelo, la eutrofización derivada de la lixiviación y escurrimiento de nutrientes. El uso de plaguicidas puede tener un impacto directo en la biodiversidad si no es selectivo a la plaga que se quiere atacar; sin embargo, también puede tener efectos indirectos, como la eliminación de especies que proveen alimento o protección a otros organismos. Así mismo, el uso inapropiado de control biológico en el cultivo de caña puede tener impactos negativos en la biodiversidad (Cheesman O. D., 2004).

Impactos ambientales en la calidad del agua:

Los altos consumos en el agua para el riego de la caña es otro impacto ambiental negativo, asimismo, las corrientes de agua, y los animales acuáticos, pueden ser contaminados por los agroquímicos provenientes de los sedimentos de los cultivos de caña; las aguas subterráneas pueden verse afectadas por la lixiviación de nutrientes provenientes de fertilizantes aplicados a los cultivos. Estos impactos ambientales pueden extenderse en ecosistemas río abajo, tales como zonas costeras (Cheesman O. D., 2004).

Impactos ambientales en el suelo:

En muchas áreas, la caña es cultivada en pendientes, lo cual agrava los riesgos de erosión. La extensión de los problemas de erosión depende fuertemente de las condiciones locales. Las pérdidas por erosión del suelo debido al cultivo de caña de azúcar se estiman entre 15 a 500 ton/ha/año (Cheesman O. D., 2004).

Además de la erosión, el suelo es removido durante la cosecha de la caña. La materia extraña (incluyendo suelo) que llega a molinos oscila entre 1-15% (Cheesman O. D., 2004); sin embargo también varía si el corte es manual o mecánico.

La reducción de la calidad del suelo se ve afectada por la compactación del suelo, lo que provoca el aumento de la densidad aparente y reducción de la porosidad y consecuentemente reducción de la velocidad de infiltración del agua. Otros impactos en la calidad del suelo son provocados por la pérdida de materia orgánica, cambio en los niveles de los nutrientes, salinización (provocado por una pobre gestión del agua, especialmente drenaje) y acidificación como consecuencia de la aplicación de fertilizantes inorgánicos (Cheesman O. D., 2004).

La combinación de los impactos en la calidad del suelo conduce a la pérdida de fertilidad.

Impactos ambientales en la calidad del aire:

La práctica de quema previa a la cosecha genera contaminación del aire, además de contribuir a los impactos sobre el suelo. El uso de fertilizantes exagera las emisiones nitrogenadas de los campos.

2.3.6 Impactos ambientales originados por el proceso de producción de azúcar

Los impactos ambientales del procesamiento de la caña de azúcar y sus fuentes relacionadas con los procesos clave y los insumos se resumen en la Figura 2.15.

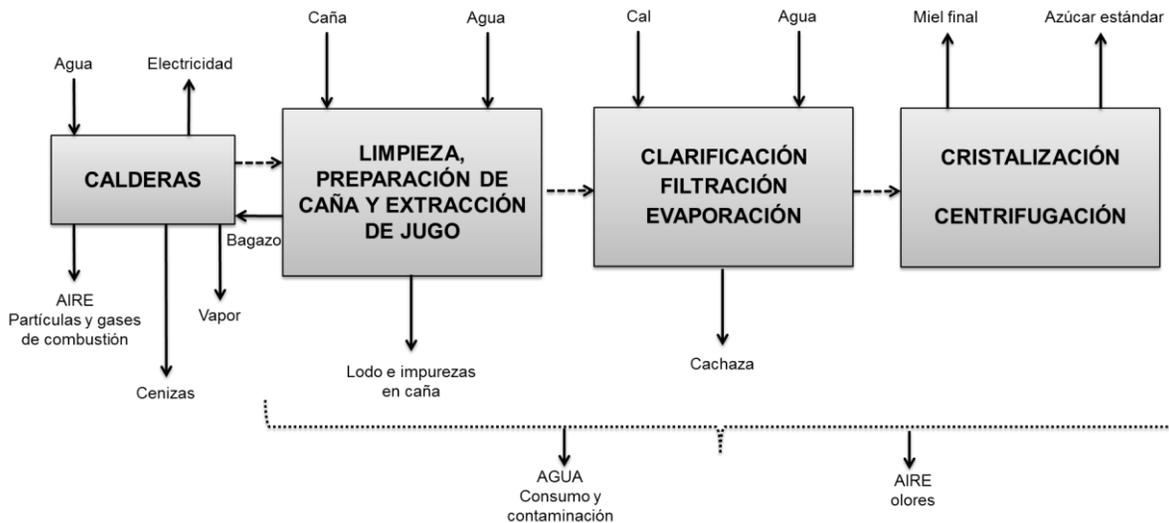


Figura 2.15 Fuentes de impactos ambientales en relación con los procesos clave y los insumos en el procesamiento de la caña de azúcar (Cheesman O. D., 2004).

Impactos ambientales sobre la biodiversidad:

Los impactos ambientales del procesamiento de la caña de azúcar sobre la biodiversidad son efectos secundarios provocados por la contaminación ambiental, como la descarga de agua residual en ríos (Cheesman O. D., 2004).

Impactos ambientales en el agua:

La industria azucarera es uno de los sectores industriales que consumen grandes cantidades de agua y que por tanto generan grandes cantidades de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, que son típicamente descargadas a ríos. El agua requerida para cubrir las necesidades de la industria puede ser obtenida de dos fuentes: agua contenida en la caña de azúcar, la cual es removida en diferentes etapas del proceso principalmente en los de evaporación y el agua superficial obtenida de ríos principalmente (Ingaramo *et al.*, 2009).

Para identificar de forma clara los sitios o etapas donde se requiere el uso de agua y se genera agua residual se presentan las Figuras 2.16 y 2.17.

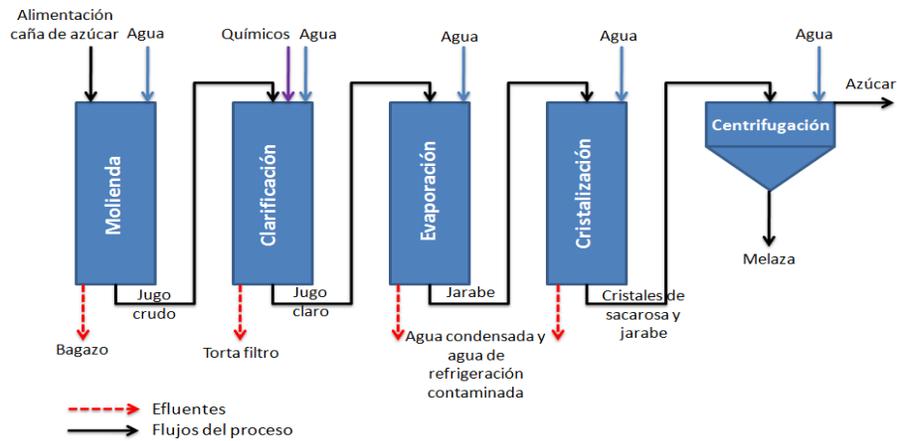


Figura 2.16 Diagrama simplificado de la producción de azúcar, resaltando entradas de agua y principales efluentes (Ingaramo *et al.* 2009).

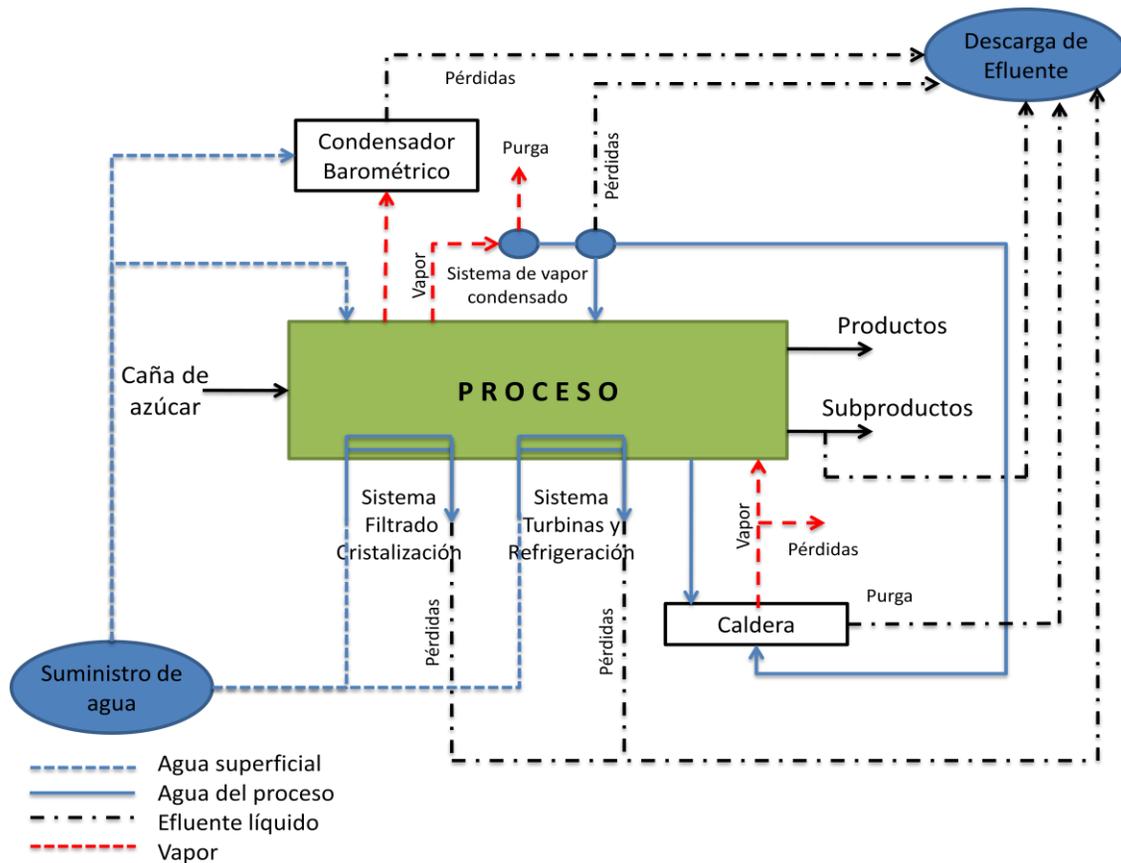


Figura 2.17 Diagrama flujo del uso del agua en la industria azucarera (Ingaramo *et al.* 2009).

Las aguas residuales que se generan en un ingenio azucarero provienen principalmente de procesos de lavado:

- De la caña de azúcar, utilizada para el lavado.
- De la central de caldera (agua para la limpieza de los sólidos producto de la combustión de las calderas).
- De las estaciones de evaporación y cocción (condensado sobrante y agua de limpieza).
- De la refinación (agua de regeneración de los intercambiadores iónicos).
- De los servicios sanitarios

En caso de diversificación, en la elaboración de otros productos tales como: alcohol, levadura, papel o tablero aglomerado también se producen residuos líquidos y de otros tipos.

El tratamiento de aguas residuales industriales y sanitarias que puede aplicarse en los ingenios depende en gran medida de las particularidades locales. Las características de los circuitos a nivel interno del ingenio, tienen una influencia determinante sobre el tamaño del sistema de tratamiento.

Para lograr disminuir los requerimientos de agua externa en el proceso de producción de azúcar, es necesario analizar el proceso por ciclos de usos del agua y evaluar diferentes alternativas mediante indicadores (Ingaramo *et al.* 2009).

Impactos ambientales en suelo:

Los suelos pueden ser afectados por la mala gestión de los residuos o subproductos como la cachaza, ceniza, vinazas y el riego con aguas residuales (Cheesman O. D., 2004). No obstante, la buena gestión de los sub-productos puede tener beneficios en el campo, como mejoradores de suelo si son apropiadamente aplicados.

Impactos ambientales en la calidad del aire:

Las emisiones atmosféricas provenientes de las calderas son humos y partículas, gases de combustión de los procesos industriales principalmente por la combustión de biomasa; además, durante la purificación del jugo y de su concentración se generan compuestos orgánicos volátiles (COV). En las reacciones bioquímicas de los componentes orgánicos

de las aguas residuales en los estanques estratificados se emite amoníaco (NH_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) (US EPA, 1997).

En la Figura 2.18 se muestra el diagrama de proceso de producción de azúcar a partir de caña obtenido del AP-42 de la US EPA sección 9.10.1.1 en el cual se señalan las principales etapas donde se producen emisiones de partículas y de COV resaltados en azul y rojo respectivamente.

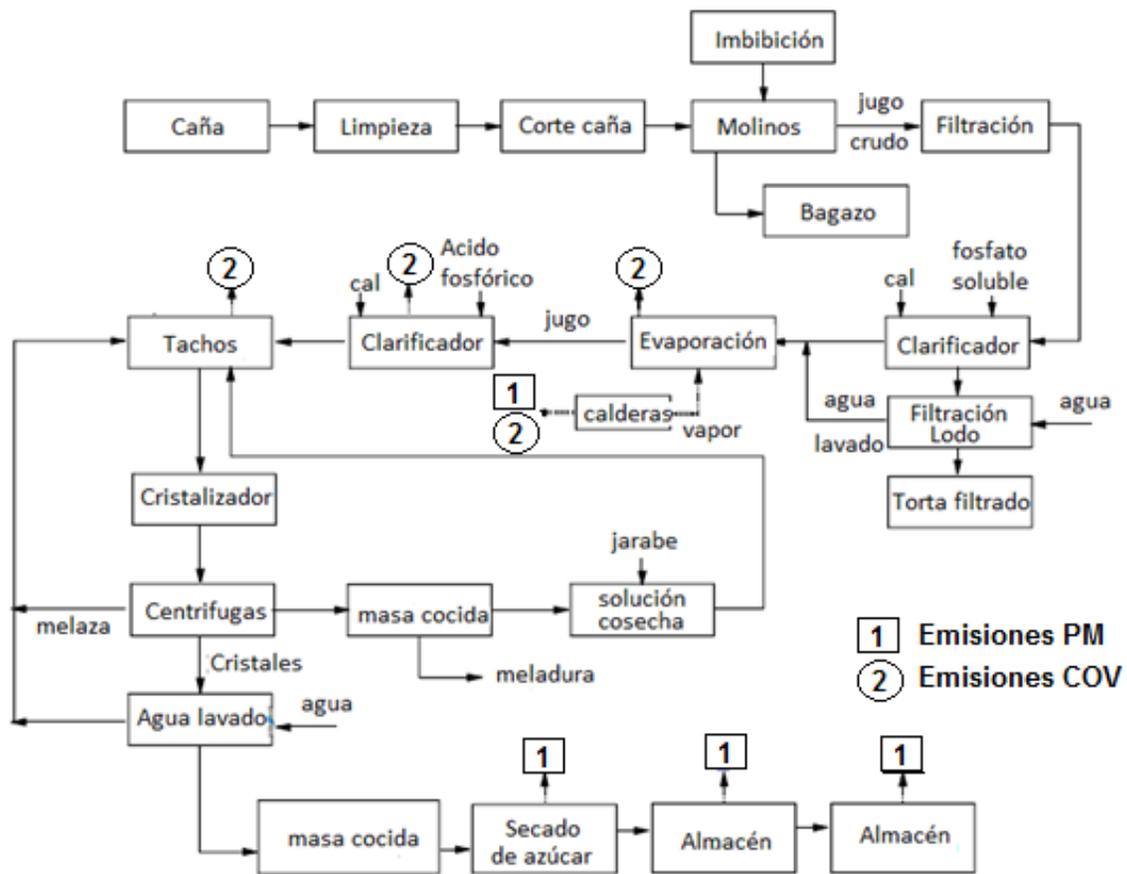


Figura 2.18 Diagrama del proceso de azúcar de caña y emisiones a la atmósfera (US EPA, 1997)

Residuos sólidos:

Los residuos sólidos generados durante el procesamiento de caña de azúcar son: tierra, restos de plantas, bagazo, cachaza, ceniza y lodos de filtros, entre otros.

Los materiales residuales pueden ser reutilizados como subproductos: Esta práctica reduce las salidas absolutas del material residual y tiene el potencial de aminorar los impactos negativos de otras actividades ya que pueden prevenir o sustituir otras actividades que provocan daños mayores.

La cachaza y ceniza puede ser incorporada al campo como fertilizante orgánico, la melaza comercializada y el bagazo puede utilizarse como materia prima principal para la generación de energía.

Además, se generan residuos sólidos domésticos en oficinas, comedor, etc. (papel, cartón, restos de embalajes, plásticos, restos orgánicos, etc.) y algunos residuos sólidos peligrosos incluyendo todos los vinculados con productos químicos mal manejados (productos vencidos, dañados, etc.).

2.2.5. Problemática ambiental de la Industria Azucarera en México

Los impactos al ambiente provocados por la industria azucarera han sido principalmente tanto en agua como a la atmósfera. La industria azucarera es la industria que aportan los mayores volúmenes de materia orgánica en las descarga de aguas industriales, con un 28% (Figura 2.19); siendo así el giro que más contribuye en cuanto a la descarga de materia orgánica en aguas residuales, seguido de la industria petrolera (19%) y la agropecuaria (17%) (SEMARNAT, 2008).

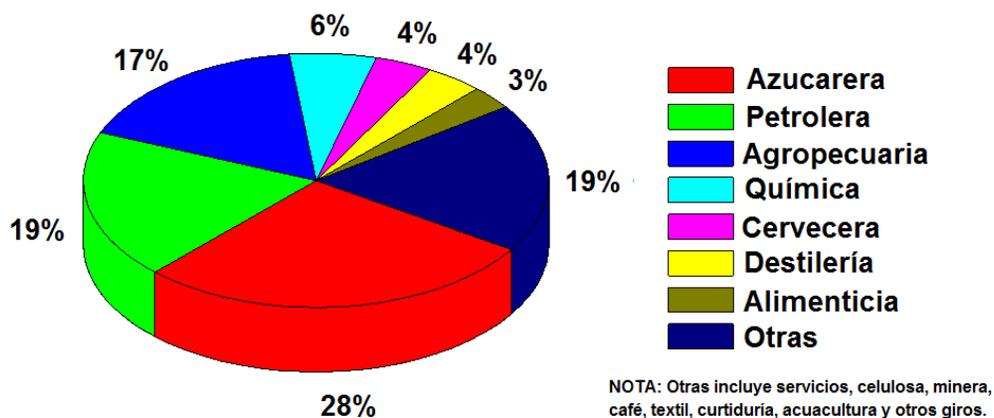


Figura 2.19 Materia orgánica descargada en aguas residuales en los principales giros industriales 2002. (SEMARNAT, 2008).

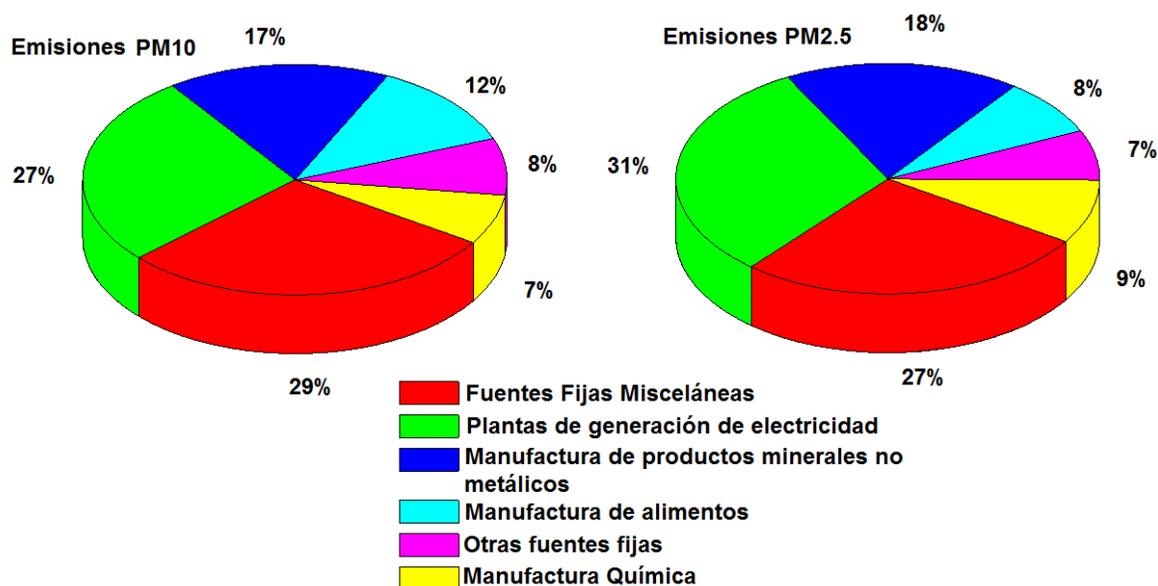


Figura 2.20 Emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} en México en 1999: fuentes fijas (INE 2006).

En cuanto a las emisiones a la atmósfera la industria azucarera contribuye de forma importante, a nivel nacional según el Inventario Nacional de Emisiones de 1999 (INE, 2006) para el cálculo de emisiones de partículas de proceso de ingenios azucareros, se usaron factores de emisión AP-42 y las emisiones generadas por la combustión del bagazo se incluyeron en la categoría de fuentes fijas.

En la Figura 2.20 se presentan las graficas de los principales sectores que contribuyen a nivel nacional a las emisiones de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} de los cuales la Manufactura de Alimento contribuye con un porcentaje de 12 y 8% respectivamente (INE, 2006).

En el estado de Morelos, de acuerdo al Inventario de Emisiones a la Atmósfera del Estado de Morelos 2004 (CEAMA, 2007), los contaminantes que presentaron la mayor cantidad de emisiones fueron dióxido de azufre (SO₂) y partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), siendo la industria de cemento y cal, y la industria alimentaria las que contribuyeron con el mayor porcentaje (Figura 2.21).

Además, en cuanto a nivel municipal, el 35% de las emisiones de PM₁₀ y el 17% de PM_{2.5} se concentraron en el municipio de Zacatepec (Tabla 2.7), lo cual se atribuye a su principal sector industrial Ingenio Emiliano Zapata (CEAMA, 2007).

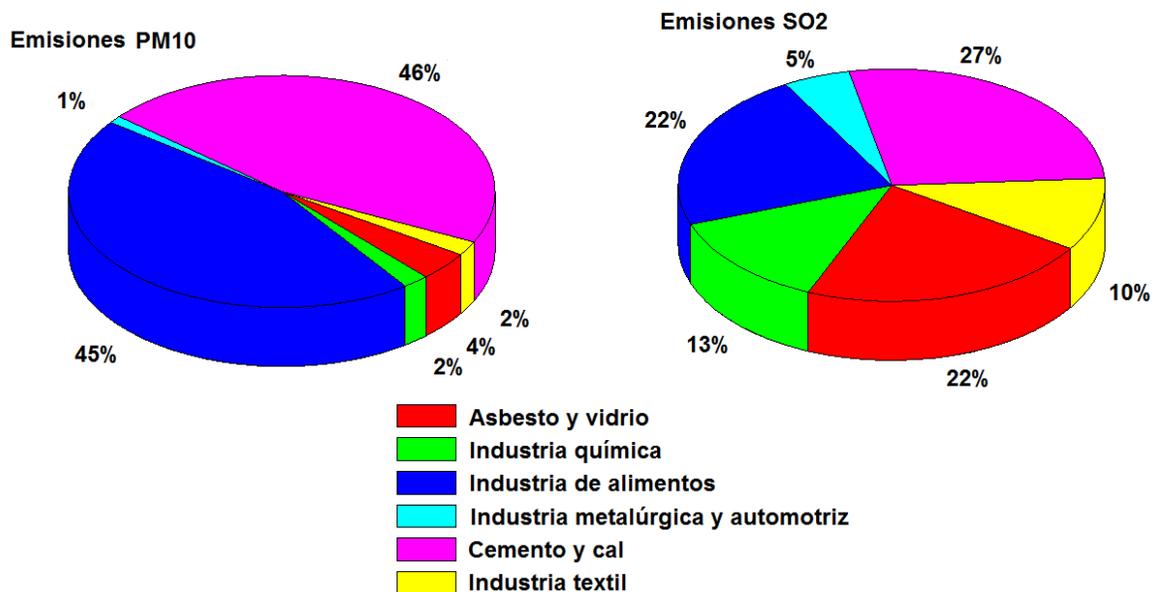


Figura 2.21 Emisiones de PM₁₀ y SO₂ por giros industriales del Inventario de Emisiones a la Atmósfera del Estado de Morelos 2004. (CEAMA, 2007).

Tabla 2.7 Inventario de emisiones a la atmósfera del sector industrial por Municipio en el Estado de Morelos, 2004 (CEAMA, 2007)

Municipio	Emisiones anuales											
	PM10		PM2.5		SO2		CO		NOx		COV	
	Ton	%	Ton	%	Ton	%	Ton	%	Ton	%	Ton	%
Axochiapan	671	23	5	2	144	2	2	1	17	0	0	0
Ayala	1	0	0	0	14	0	0	0	2	0	1	0
Cuautla	411	14	101	37	2,789	30	117	43	333	75	0	0
Cuernavaca	58	2	38	14	1,042	11	9	3	102	2	186	16
Emiliano Zapata	5	0	4	1	1,630	18	96	35	1,072	15	0	0
Jiutepec	141	5	42	15	1,194	13	25	9	199	3	968	84
Ocuituco	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Puente de Ixtla	526	18	7	2	190	2	2	1	19	0	0	0
Temixco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tepalcingo	28	1	0	0	10	0	0	0	1	0	0	0
Tepoztlán	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tlaltzapan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Xochitepec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yecapixtla	43	1	28	10	769	8	7	3	76	1	0	0
Yautepec	8	0	5	2	151	2	1	0	15	0	0	0
Zacatepec	1,013	35	46	17	1,265	14	11	4	144	2	0	0
Total	2,906	100	277	100	9,198	100	272	100	1,979	100	1,155	100

2.3 NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE REFERENTE A INGENIOS AZUCAREROS

El sector azucarero en México tiene una gran relevancia económica, ya que es una fuente de ingresos para un número mayoritario de personas de manera directa e indirecta y el motor económico de varias regiones del país (15 Estados obtienen su desarrollo en base a esta industria), dado que de esta actividad no sólo viven los productores de caña, sino también comerciantes, industriales, etc.

No obstante, la legislación ambiental en algunos Ingenios del país en materia de agua, aire y residuos no se ha aplicado de forma estricta para lograr una gestión adecuada en este plano.

2.3.1 Normatividad en materia de agua

La legislación ambiental aplicable al sector de procesamiento de caña de azúcar, está enmarcada en los siguientes grandes bloques normativos en materia de agua (SEMARNAT, 2010):

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En su artículo 4to, que establece que toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- Ley de Aguas Nacionales
- Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales
- NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

- NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

2.3.2 Normatividad en materia de aire

- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.
- Reglamento para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión del ruido.
- NOM-041-SEMARNAT-2006. Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
- NOM-043-SEMARNAT-1993, Que establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.
- NOM-081-SEMARNAT-1994. Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.
- NOM-085-SEMARNAT-1994. Contaminación atmosférica-Fuentes fijas- Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.
- NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005. Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental.
- NOM-098-SEMARNAT-2002, Protección ambiental- incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.

2.3.3 Normatividad en materia de residuos

- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
- NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- NOM-053-SEMARNAT-1993, Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
- NOM-054-SEMARNAT-1993, Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.
- NOM-055-SEMARNAT-2003, Que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados.
- NOM-056-SEMARNAT-1993, Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
- NOM-057-SEMARNAT-1993, Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.
- NOM-058-SEMARNAT-1993, Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
- NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo.
- NOM-133-SEMARNAT-2000, Protección ambiental- Bifenilos policlorados (BPC's)- Especificaciones de manejo.

CAPÍTULO 3
METODOLOGÍA

3 METODOLOGÍA

De acuerdo a las bases de las Guías y Programas de Prevención de la Contaminación desarrolladas por la US EPA, se planteó la elaboración del programa de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental en seis etapas (Figura 3.1):



Figura 3.1 Esquema de las etapas en la elaboración del programa de prevención, minimización y control de la contaminación.

3.1 Aprobación y apoyo total de la Dirección General

El elemento más importante en un Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental es el apoyo total de la Dirección General. Esta fase puede ser demostrada a través de diferentes mecanismos:

- Circular una política por escrito
- Establecer metas para reducir la generación de contaminantes y residuos; así como, el consumo de energía
- Establecer un grupo de trabajo
- Proporcionar formación sobre técnicas de conservación
- Difundir y recompensar los éxitos
- Proporcionar capacitación a los empleados

3.2 Planeación y Organización del Programa

En la fase de Planeación y Organización del Programa es importante dar conocer la iniciativa a todo el personal y definir los grupos de trabajo y sus responsabilidades para obtener los resultados deseados. Algunas responsabilidades del equipo de evaluación son:

- Estar compuesto por personal de las áreas de la industria
- Decidir sobre un formato de recolección de datos para la evaluación
- Preparar una agenda y/o calendario de evaluación y evaluación previa
- Determinar cuáles procesos se van a evaluar y quienes participarán en la evaluación.

3.3 Evaluación del Proceso

La etapa de Evaluación del Proceso es la más importante, ya que tiene el propósito de identificar las áreas potenciales de prevención, minimización y control de la contaminación, mediante un análisis de las entradas y salidas del proceso tanto en campo como en la Industria (Figura 3.2).

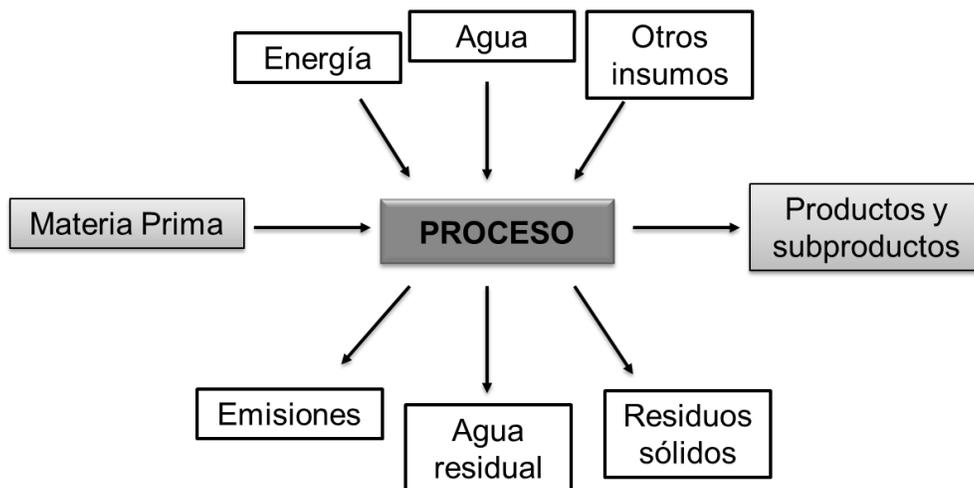


Figura 3.2 Esquema de la fase de evaluación del proceso.

La etapa de Evaluación del Proceso puede dividirse en dos fases: pre-evaluación y evaluación.

Durante la pre-evaluación se realiza la recolección de información, lo cual permite al equipo evaluador revisar y preparar preguntas adicionales. El tipo de información que debe ser colectada incluye:

- Descripción de la industria y del proceso
- Diagrama de flujo de proceso
- Equipos de mayor consumo de energía
- El tipo y cantidad de materias primas, energía y residuos
- Tratamiento, manejo y eliminación de residuos

El periodo de la información recolectada debe ser por mínimo de 12 meses y todo tipo de información del mismo periodo de 12 meses. La información puede ser graficada para conocer la tendencia y resumida en tablas para su revisión o referencia.

La recolección de estos datos antes de la evaluación, permite saber al equipo evaluador dónde dar mayor enfoque.

Durante la etapa de evaluación se realizan recorridos en fábrica y campo, comparando los datos recolectados en la etapa de pre-evaluación para validarlos y además haciendo un análisis de todas las áreas y operaciones establecidas en la etapa de planeación del Programa.

Durante los recorridos en fábrica y campo se registran las operaciones y la apariencia general de la instalación (por ejemplo, evidencia de fugas y derrames), se observa la participación de los trabajadores en el proceso y si es posible en los diferentes turnos de operación. Otra herramienta para la evaluación es comparar los procedimientos escritos de las operaciones con las observaciones, si existe contradicción entre ambos puede indicar oportunidades de prevención, minimización y control de la contaminación.

Durante éstos recorridos en campo y fábrica se deberán anotar todas las ideas sobre prevención, minimización y control y eficiencia energética.

3.4 Búsqueda de medidas preventivas y correctivas

La fase de búsqueda de medidas preventivas y correctivas se ilustra en el esquema de la Figura 3.3, de acuerdo a los puntos críticos encontrados en la fase de evaluación del proceso, de forma tanto teórica como práctica con visitas programadas al Ingenio y los campos cañeros encargados de abastecer de caña al Ingenio.

Las medidas de prevención, minimización y control de la contaminación se buscarán con base en optimizaciones en el proceso, cambios en insumos, reutilización y reciclaje, cambios tecnológicos y tratamientos de las emisiones, agua residual y residuos sólidos, basándose en la búsqueda tanto bibliográfica como con el apoyo de industriales y expertos en los procesos que se llevan a cabo en el Ingenio Azucarero.

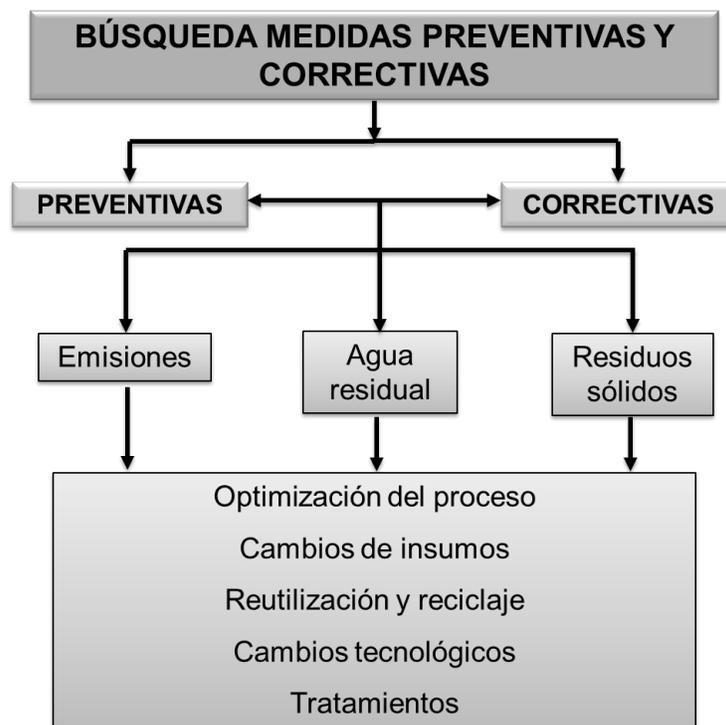


Figura 3.3 Esquema de la fase de búsqueda de medidas preventivas y correctivas.

Los métodos que se pueden utilizar en un programa de prevención de la contaminación para reducir la contaminación en la fuente son principalmente: cambios en los productos y cambios en los procesos; logrando reducir el volumen y la toxicidad de los residuos y de los productos durante su ciclo de vida y su disposición. En la Figura 3.4 se muestra un cuadro con algunos ejemplos de técnicas de reducción en la fuente.

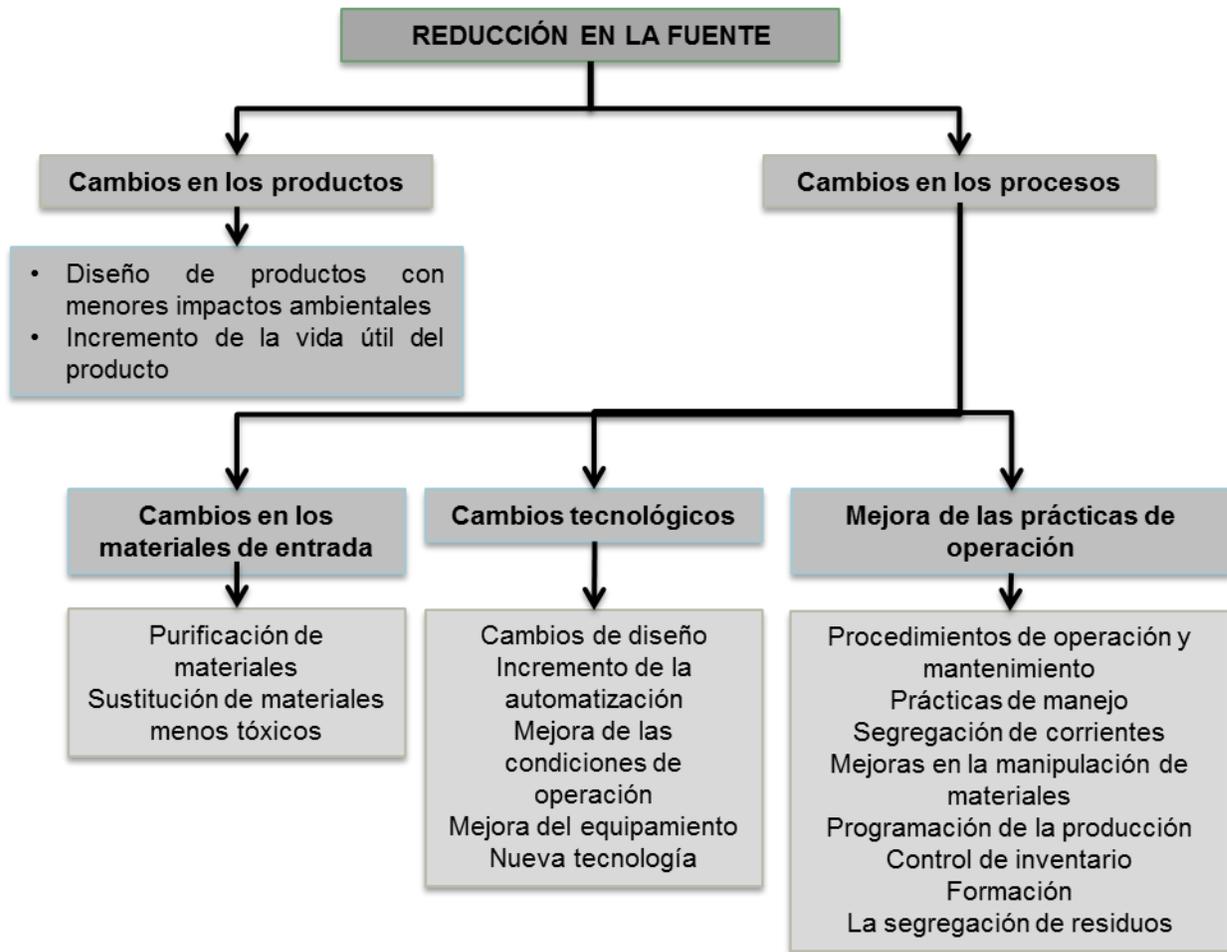


Figura 3.4 Métodos de reducción de la contaminación desde su fuente (US EPA, 1992).

La prevención de la contaminación incluye principalmente cinco prácticas (US EPA, 1992):

- *Modificaciones en los productos:* considera el cambio en las características de un producto, tal como su forma, contenido o su composición.
- *Sustitución de materias primas:* se refiere al uso de materiales menos contaminantes, u otros insumos; o la aplicación de procesos secundarios con un tiempo de vida útil mucho mayor.
- *Modificaciones tecnológicas:* puede incluir la automatización y optimización del proceso, el rediseño de equipos y la sustitución de procesos ineficientes.
- *Buenas prácticas de operación:* tiene que ver con los cambios en los procedimientos de operación y la administración, para disminuir la generación de residuos y emisiones.

Ejemplos de buenas prácticas de operación son la prevención de derrames, e instruir y capacitar a los trabajadores.

- *Reciclado in situ*: es dar una aplicación útil a los residuos o contaminantes generados durante el proceso, en la empresa generadora. Esto puede lograrse a través del reúso como en el caso de materias primas, la recuperación de materiales o buscando otra aplicación útil de los materiales.

Para el caso de este trabajo de tesis, el Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera en México también incluirá prácticas de Minimización y Control cuando sean más factibles que las de Prevención. Las prácticas generales que incluirá este trabajo son las de la Figura 3.5, tomando en cuenta que las prácticas de mayor prioridad son reducción en fuente y reciclaje.

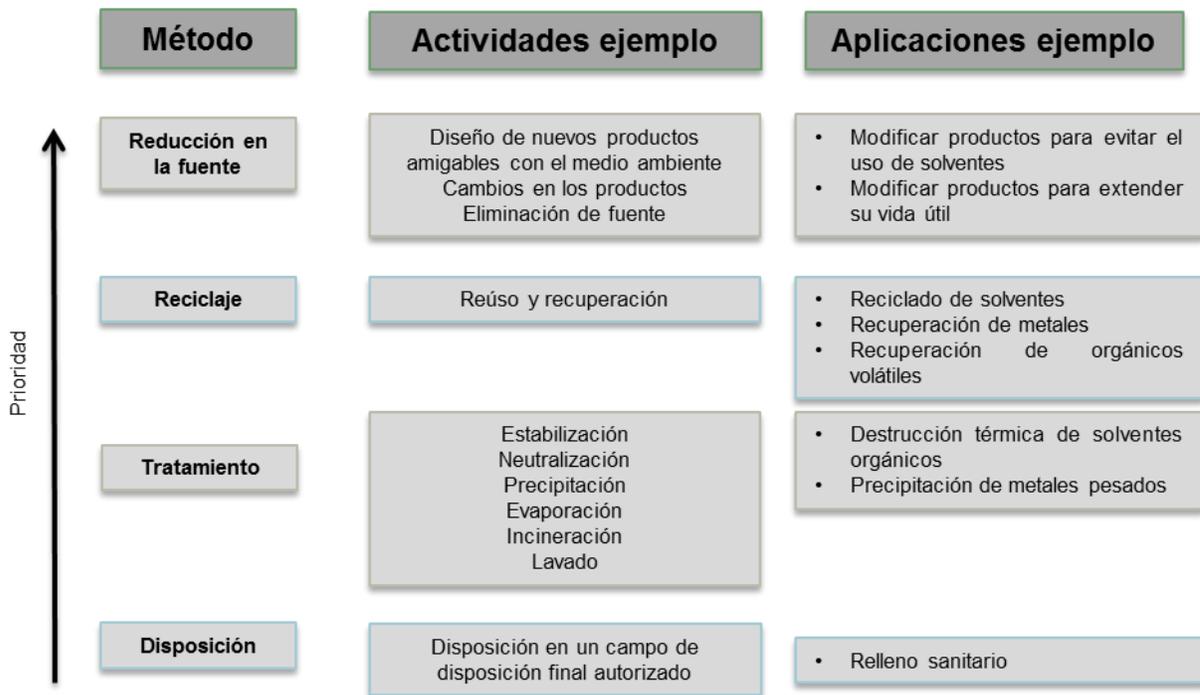


Figura 3.5 Esquema de prácticas generales para el Programa de Prevención (US EPA, 1992).

Los métodos de minimización incluyen prácticas de reciclaje o cualquier esfuerzo para reducir la cantidad de residuos o contaminantes generados y cuando sea posible, reducir o eliminar la toxicidad. La minimización no incluye el tratamiento a menos que el tratamiento sea parte del proceso de reciclaje.

Los métodos de control incluyen cualquier método, técnica o proceso destinado a modificar las características físicas, químicas o biológicas en la composición de los residuos industriales u otros contaminantes, con el propósito de ser neutralizados, para recuperarlos como recurso de energía, para hacer el residuo no peligroso o menos peligroso, más seguro de transportar, almacenar, o desechar, o susceptibles de recuperación, almacenamiento, tratamiento, o disposición.

3.5 Estudio de factibilidad técnico-ambiental

La fase de estudio de factibilidad se elaboran los análisis, tecnológicos y ambientales de las oportunidades de mejora encontradas, para identificar las que sean factibles (Figura 3.6). Las actividades a realizar en esta etapa son:

- Evaluación técnica y ambiental: considerando como estos elementos afectan a la producción, la calidad, el ambiente y beneficios
- Definición de recomendaciones
- Selección de las medidas a tomar

La etapa de evaluación de factibilidad comienza con un establecimiento de prioridades de las oportunidades identificadas, ya que la principal limitante para la implementación de oportunidades de prevención, minimización y control de la contaminación son el tiempo y los recursos.

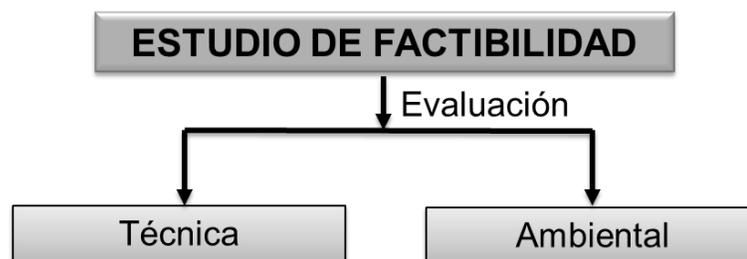


Figura 3.6 Esquema de la fase de estudio de factibilidad.

Para realizar la evaluación de factibilidad puede aplicarse el siguiente cuestionario al nuevo equipo, material o procedimiento:

1. ¿Conserva energía o reduce residuos, emisiones o consumo de agua?
2. ¿Es seguro para los empleados?

3. ¿La calidad del producto se incrementa o mantiene?
4. ¿Hay espacio disponible en la planta?
5. ¿Es compatible con los procedimientos de operación de la producción, trabajos de flujo y velocidades de producción?
6. ¿Requieren mayores labores para implementar la estrategia?
7. ¿Requiere personal experto o más calificado para operar o mantener el nuevo sistema?
8. ¿Se cuenta con los servicios necesarios para correr el sistema?
9. ¿Cuánto tiempo se detendrá la producción durante la instalación del sistema?
10. ¿El proveedor proporciona un servicio aceptable?
11. ¿Los costos de operación y mantenimiento anual aumentan?
12. ¿El sistema o estrategia crea otro consumo o problema ambiental?

3.6 Implementación

La etapa de implementación es la ejecución de las medidas de prevención, minimización y control de la contaminación mediante la asignación de recursos económicos, tecnológicos y humanos.

El apoyo de la Dirección General es de gran importancia como etapa inicial ya que es quien designa los recursos para la implementación de las oportunidades de prevención, minimización y control de la contaminación.

Después de la implementación exitosa del programa de prevención, minimización y control de la contaminación es importante llevar a cabo una evaluación constante de las medidas implementadas, mediante monitoreo, auditorías internas, y reportes de seguimiento; con la finalidad de que el ahorro de costes y la reducción de los impactos ambientales sirvan de base para programas futuros.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta los resultados organizados en cinco bloques:

- 1) La relevancia a nivel nacional del Caso de Estudio elegido para la realización de esta tesis.
- 2) La Guía Metodológica del “Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera en México” que fue aplicada en el Caso de Estudio.
- 3) El desarrollo de las etapas de la Guía Metodológica en el Caso de Estudio:
 - a. La evaluación del proceso de producción.
 - b. Las medidas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental desarrolladas durante las estancias.
- 4) Las medidas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental aplicables a la Industria Azucarera de México.
- 5) El estudio de factibilidad técnico-ambiental de las medidas propuestas.

4.1 Caso de estudio: Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata (FIEZ)

El FIEZ comenzó a operar desde 1937, es una empresa 100% mexicana, que actualmente pertenece al grupo SAGARPA-FEESA (Fondo de Empresas Expropiadas del Sector Azucarero) y se dedica a la producción de Azúcar Estándar.

4.1.1 Localización de la Industria Azucarera e Importancia a nivel nacional

El FIEZ se encuentra ubicado en la población de Zacatepec (Figura 4.1), municipio del Estado de Morelos con las coordenadas: 18° 41´ norte, 18° 37´ sur de latitud norte; al este 99° 11´, al oeste 99° 14´ de longitud, altitud 800 a 1250 m.s.n.m. La precipitación promedio es de 1,086.9 mm (periodo de 1960 a 2006); el año más seco: 1982 con 591.6 mm; el año más lluvioso: 1995 con 1,143.5 mm (SAGARPA-FEESA, 2011).

El Ingenio cuenta con un total de 724 empleados: 95 empleados de planta, 45 temporales, 394 obreros de planta permanentes y 330 temporales. La superficie total del predio es de 418,070.9 m². El FIEZ está certificado bajo la norma Internacional ISO 9001 y la Certificación ISO 22000 desde el 2004 (SAGARPA-FEESA, 2011).



La productividad de un Ingenio depende de la cantidad y calidad de caña industrializada, rendimiento en fábrica y capacidad instalada y aprovechada. El FIEZ ha tenido un rendimiento promedio en fábrica de 12.37% en 5 años de zafra (2005-2010) con una tendencia creciente, ya que en la zafra 2010/2011 alcanzó un rendimiento de 12.77%, tiene una capacidad instalada de 7000 ton caña/24h y los campos cañeros que se encargan de abastecer la caña pertenecen a los más competitivos del país con una productividad promedio de 107 ton caña/ha (Tabla 4.1); lo cual coloca al FIEZ entre los mejores ingenios del país (CNIAA, 2011).

Tabla 4.1 Indicadores de las Zafras 2005/06 a 2009/10 del FIEZ (CNIAA, 2011).

Año	Ton caña molida	Ton de caña por ha	Días efectivos de molienda	%Rendimiento en Fábrica	Ton de azúcar producida
2005	1,154,764	114.2	219	11.76	135,740
2006	1,042,424	101.3	185	12.25	127,668
2007	1,155,113	106.1	196	12.27	141,672
2008	1,159,161	107.0	175	12.74	147,679
2009	1,029,596	102.0	164	12.67	130,407
2010	1,138,029	111.3	178	12.51	142,330

El FIEZ durante la zafra 2010 obtuvo un % de rendimiento de 12.51, el cual lo colocó en el cuarto mejor Ingenio a nivel nacional después de los Ingenios Casasano del Estado de Morelos, El Molino de Nayarit y Cía. Azucarera la Fe de Chiapas respectivamente. No obstante, de los Ingenios con mejores rendimientos es el segundo con mayor capacidad de molienda después de Cía. Azucarera la Fe de Chiapas.

Por lo descrito anteriormente el FIEZ fue elegido como Caso de Estudio para la realización de este trabajo de tesis. Se llevó a cabo la presentación del proyecto ante la Gerencia y Departamento Ambiental para su aceptación y apoyo para el acceso a las instalaciones y a la información tanto de la Industria como del Campo Cañero encargado de su abastecimiento; de esta manera, se pudo dar inicio con las etapas planteadas en la Guía General para la elaboración del “Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera en México” que se presenta a continuación.

4.2 Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera en México

La Guía Metodológica para la elaboración del “Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera en México” (Figura 4.2) se ha estructurado con las etapas planteadas en la metodología y con las características sustanciales de los programas de prevención desarrollados por la U.S. EPA y de producción más limpia desarrollados por la ONUDI, descritos en el Capítulo de Antecedentes.

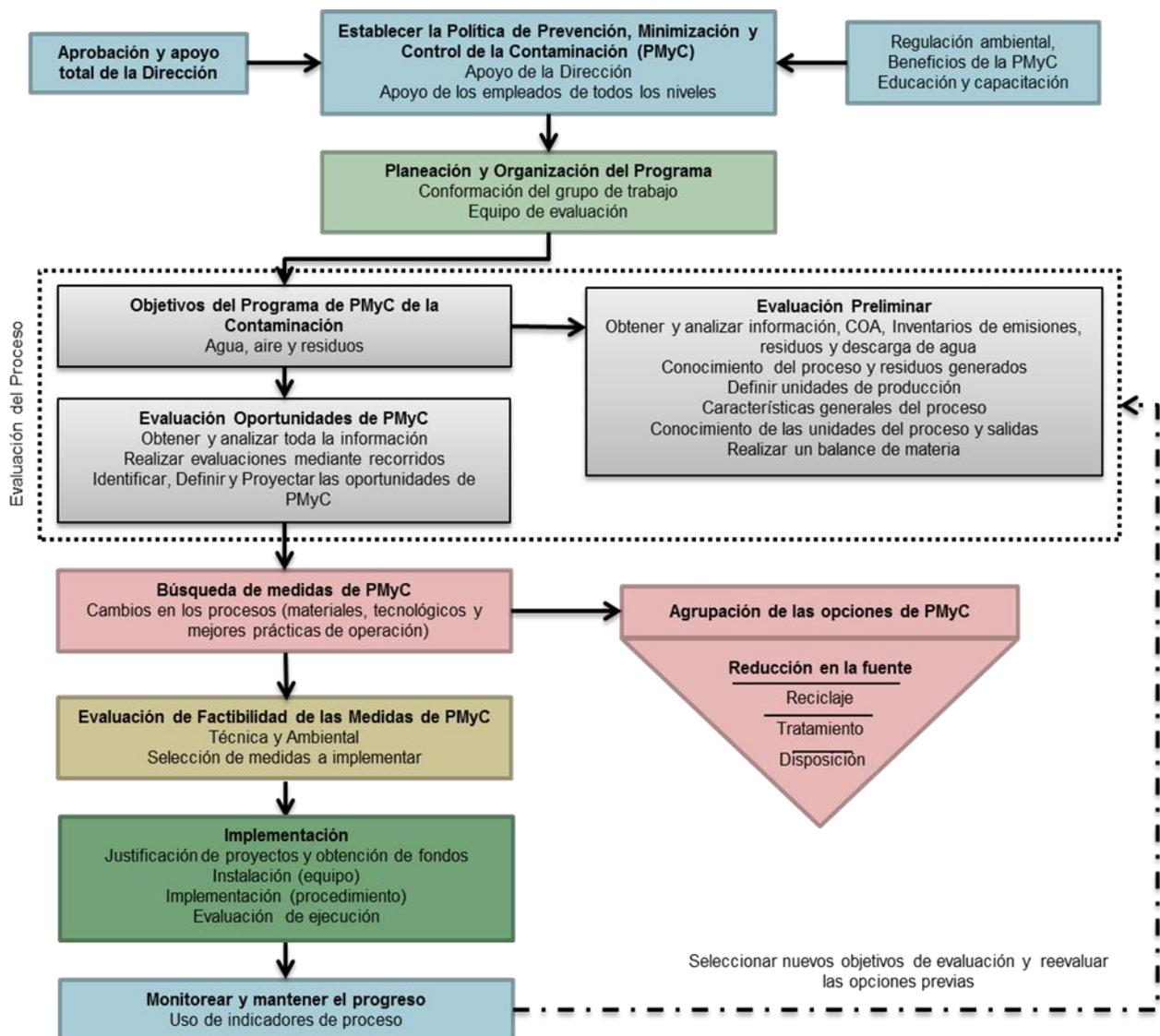


Figura 4.2 Guía de etapas del Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental aplicada en el Caso de Estudio.

Cabe señalar que la primera etapa del programa, *aprobación y apoyo total de la Dirección* es la más importante y compleja, ya que la mayoría de la gente que labora en los ingenios son personas con amplia experiencia y por tanto escépticos en el éxito de proyectos de este tipo; no obstante, la presentación de los objetivos y beneficios asociados a un programa de prevención ha permitido establecer la vinculación ciencia-industria para la exitosa realización de esta tesis (Figura 4.3).



Figura 4.3 Presentación del proyecto ante la Gerencia del FIEZ caso de estudio.

Con la aprobación del proyecto se logró el acceso a la información y a las instalaciones para el desarrollo del Programa. A continuación se presentan los resultados obtenidos en las etapas del Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental.

4.3 Evaluación del proceso de producción de azúcar

Se llevaron a cabo estancias en el FIEZ, durante la etapa de Mantenimiento y la etapa de Zafra; así como, en las etapas de siembra y cosecha del Campo Cañero que se encarga del abastecimiento de caña. Durante estas estancias se programaron y planearon las actividades con el Departamento de Mejoramiento Ambiental del FIEZ, se recopiló información, se realizaron recorridos y se entrevistaron a Ingenieros encargados de la operación tanto de la fábrica como de campo para una evaluación integral del proceso; se realizaron los balances de materia y energía del proceso global de producción de azúcar y por operación unitaria; finalmente se trabajó en la implementación de algunas medidas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental en conjunto con el Departamento de Mejoramiento Ambiental.

4.3.1 Evaluación del campo cañero

En campo es donde empieza el proceso de producción de azúcar y consecuentemente donde se puede implementar gran cantidad de medidas de prevención de la contaminación, para obtener una materia prima de mayor calidad, que al ser procesada produzca la menor cantidad de residuos.

Actualmente la zona de abasto de caña del FIEZ está conformada por 11,000 ha, las cuales se ubican en 14 municipios del Estado de Morelos. En la Figura 4.4 se muestra la distribución del campo cañero y su división en 12 grandes zonas cañeras, también llamados frentes cañeros.

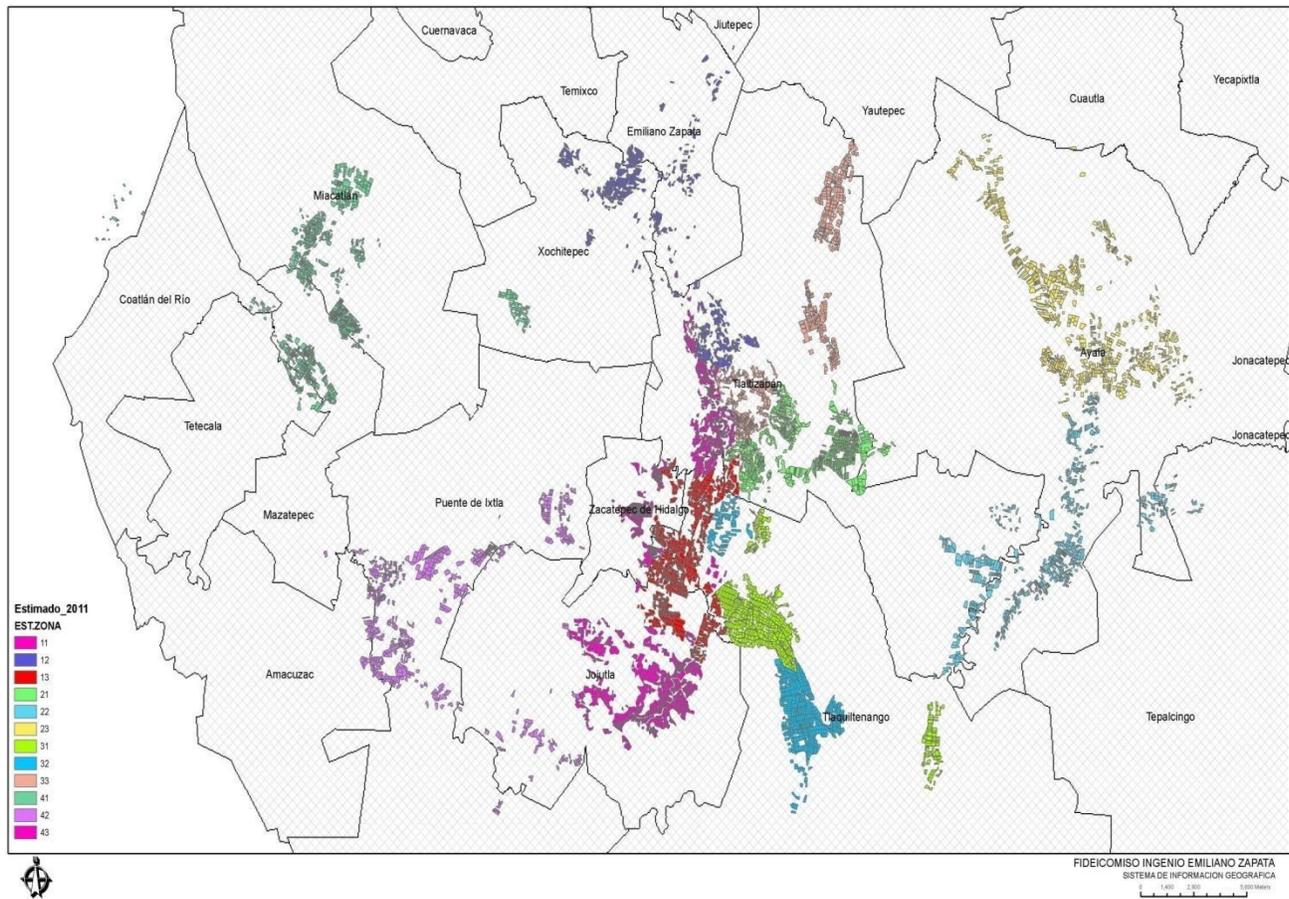


Figura 4.4 Distribución de zona cañera del FIEZ en el estado de Morelos (FIEZ, 2011).

De acuerdo a la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar se celebra un Contrato Uniforme de compraventa y de siembra, cultivo, cosecha, entrega y recepción de caña de azúcar con los Abastecedores de Caña por 3 años.

Durante la Zafra 2009/2010 la zona de abasto de caña de azúcar se integró por 63 sociedades cañeras dentro de 12 municipios manejando 10,633.5 ha, de las cuales se cosecharon 10,232.7 ha, dando una producción de 1,138,028.57 ton de caña industrializadas. La operación de la cosecha se realizó con 9 frentes de corte manual y 3 de corte mecánico, con un promedio de 1,044 cortadores de caña (52.33% locales y 47.67% foráneos), 231 camiones y 38 alzadoras. El equipo de alzadoras movió 967,874.7 ton (85.48%) y las cosechadoras 170,153.9 ton (14.95%) (CNIAA, 2011).

Cada frente se encuentra dividido en ejidos, campos y en parcelas, todos los campos se tienen identificados en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para su organización durante las labores de siembra y cosecha. En la Figura 4.5 se presentan dos ejemplos de ejidos en el Municipio de Tlaquiltenango, “Tlaquiltenango A” y “Tlaquiltenango B”.

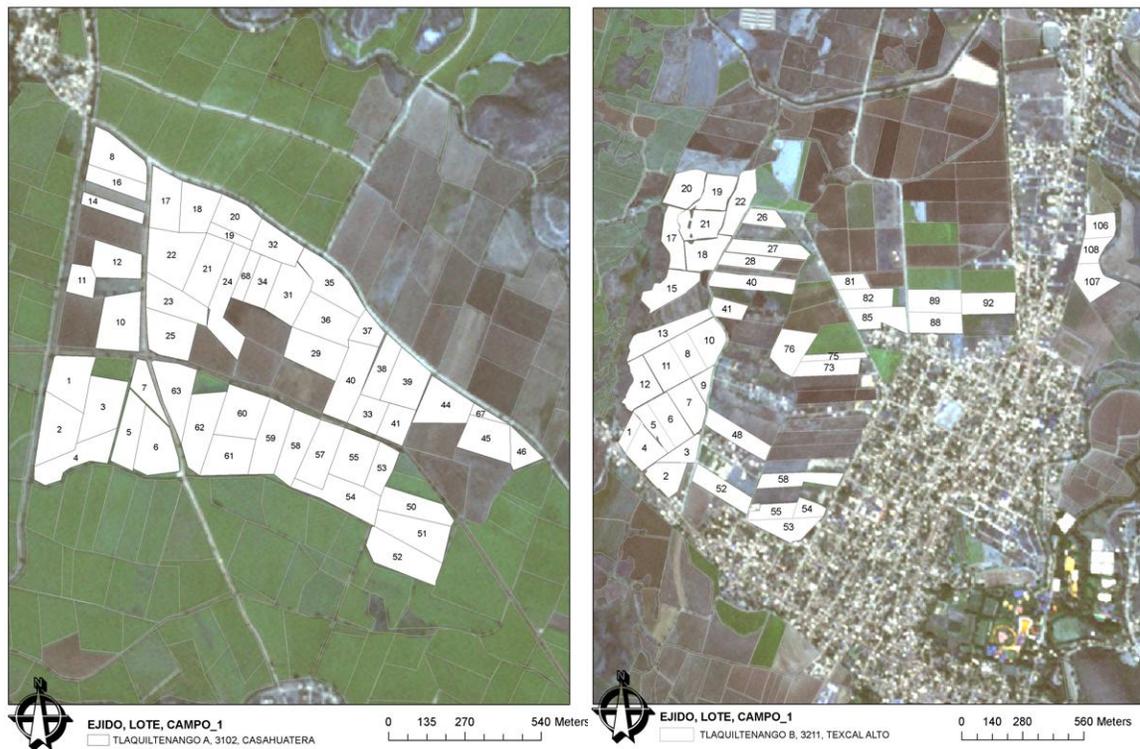


Figura 4.5 Ejemplos de mapas del SIG del FIEZ y su organización en ejidos, campos y parcelas (FIEZ, 2011).

El proceso de producción de caña en campo se divide en labores de siembra y cosecha. Para las labores de siembra el FIEZ cuenta con un paquete tecnológico para plantilla, socas y resocas donde se especifica por cada labor de campo, las actividades y productos

que se utilizan; así como, las dosis por hectárea. El proceso de cosecha se establece en 3 pasos: determinación de madurez, programa semanal de cosecha y abastecimiento de caña en base al proceso.

Labores de siembra:

Con la finalidad de mejorar y facilitar las actividades agronómicas para el buen desarrollo del cultivo son necesarias cuatro labores de siembra: preparación de la tierra, selección de la semilla, siembra y riego.

La preparación de la tierra consta del barbecho que es el volteo de la capa arable del suelo para airear el suelo principalmente y para exponer al sol todas las larvas o huevecillos de plagas; el rastreo mediante rastras dentadas o discos lisos con la finalidad de mullir el suelo y prepararlo para la formación del surco mediante arado, con un ancho desde 1.20 a 1.40 m; en el fondo del surco se aplica un desinfectante, generalmente insecticida granulado, con la finalidad de combatir las plagas del suelo.

La caña de azúcar se propaga en trozos de su tallo de 50 a 60 cm con 4 a 5 yemas (Figura 4.6 a) de donde emergerá la planta. En algunos casos, se fracciona antes de tirarse al surco, y en otras, se tira la caña entera en el fondo del surco (Figura 4.6 b).

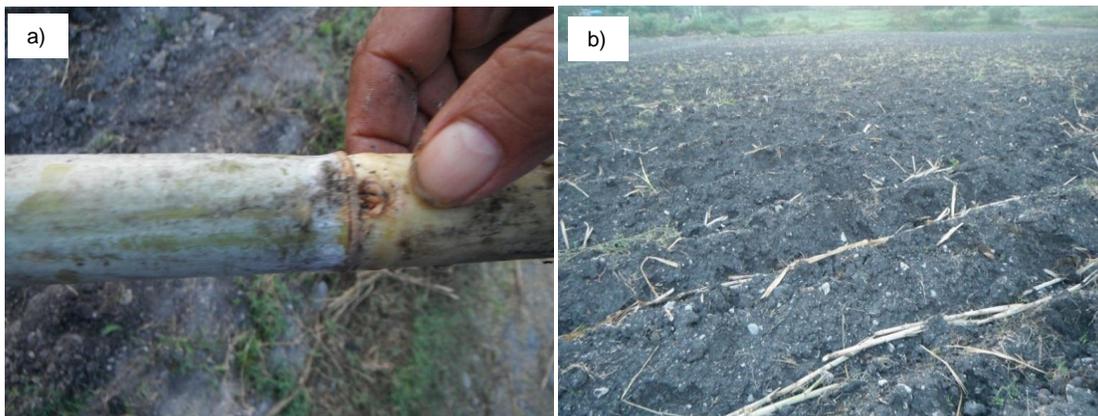


Figura 4.6 a) Yema de la caña de azúcar, b) Siembra de la caña de azúcar.

La caña que se cosecha después de plantar la semilla; es decir en su primer ciclo de cultivo es llamada plantilla; la caña que se cosecha después de la plantilla se llama soca y resoca la segunda soca o del tercer ciclo de cultivo. Se procura que la semilla sea renovada cada 5 ciclos de cultivo. Es importante que exista reposición de cultivo de caña;

es decir, siembra de semilla para obtener plantilla aproximadamente del 20% del total de campo cañero que abastece el FIEZ.

La semilla debe provenir de semilleros preferentemente de plantillas con una edad de 8 a 10 meses, propagando las variedades que mejor se han adaptado en la zona de influencia del FIEZ y procurando que los semilleros estén lo más cerca posible de los campos que se van a sembrar para no incrementar los costos de cultivo.

Cuando se realizan las actividades antes mencionadas, se procede a tapar la semilla si se siembra en agosto, septiembre y octubre; cuando se siembra en los meses de noviembre y diciembre, se da un riego de asiento con la finalidad de ablandar el suelo y que al pisar la caña se entierre lo suficiente para motivar su germinación (Figura 4.7 a).

La finalidad del riego es el crecimiento de la planta para que produzca la mayor cantidad de sacarosa, la exigencia de agua es alta, por lo que debe ser suministrada en forma oportuna y en la cantidad requerida. En las plantillas se aplican de 10 a 12 riegos. En socas y resocas de 8 a 10 riegos. La forma de riego en la mayoría de los campos se realiza por gravedad de agua de ríos o manantiales y se conducen por medio de canales de riego (Figura 4.7 b); el 18.7% del riego es por bombeo y en algunos casos se dispersan por regaderas; el tipo de riego por goteo o por compuertas aún no se implementa en la zona.



Figura 4.7 a) Riego de asiento, b) Canales de riego campos del ejido Tlaltizapan.

La siembra se organiza para todos los agricultores y se les designa un periodo de 15 días para cultivar todas las parcelas. De junio a octubre se llevan a cabo las siembras tempranas, que corresponde al 40% del total de cultivos.

El tipo de suelo en la zona de estudio es vertisol (suelos arcillosos >35% hasta 50cm). Son profundos, muy duros cuando están secos y lodosos al mojarse, debido a su alto contenido de arcillas. Aunque no se consideran suelos fértiles, con prácticas tecnológicas adecuadas e insumos apropiados mantienen cultivos con alta productividad.

Las clases de tierras en general son planas con pendientes ligeras y una fracción con topografía accidentada. De origen ígneo y calizo. Deficientes en nitrógeno y fósforo con un intervalo de pH 6.8-8.2.

La aplicación de plaguicidas es de tipo preemergente y selectivo. Los agroquímicos autorizados para su uso en la siembra de la caña se enlistan en la Tabla 4.2. El uso de los agroquímicos están autorizados por la CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Químicas) y COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios).

Tabla 4.2 Agroquímicos autorizados para su aplicación durante la siembra de caña de azúcar en el FIEZ.

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE CIENTIFICO
BRIGADIER 0.3G	Bifentrina	GRAMOPOL	Sal monosódica de acido metil arsónico
CHAPOLEO	Amentrina	GLYFOS	Sal de isopropilamina de N-fosfometil Glicina
DRAGOPAX 375	Amentrina Ester Isobutílico de Acido	LA FAM	Glifosato
FACTOR COLOIDAL	Oligomeros proteicos Sacaridos, ácidos orgánicos y ácidos silícicos	PROMAS CAÑA	Ácidos silícicos
FOCUS	Carfentrazone etil 2,4 Damina	SINERGE 500CE	Clomazone
FELINO	Difacinona	VERSATIL	Amentrina 2,4-D Ester Butílico
FURADAN 56	Carbofuran	C-REAL B	Bromadiolona
GESAPAX COMBI	Ametrina y Atrazina	COUNTER 5G	Terbufus
GESAPAX H-375	Ametrina	KNOCKAOUT	Glifosato

Antes de tirar la semilla de la caña se fertiliza al fondo del surco con la fórmula 18-4.5-3, conocida en la región como la fórmula cañera a razón de 1,000 kg/ha. Se da una 2da fertilización con sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ en las áreas que lo requieran a razón de 500 kg/ha. También se utiliza una fertilización líquida a base de factor coloidal en dosis de 10 L/ha con los siguientes elementos: 50 kg de fertilizantes solubles; 200 kg de urea, 10 L de

agribat (mejorador de suelos que optimiza el aprovechamiento de los nutrientes); 2 kg de nitrato de magnesio, 4 kg de microelementos. Esta fertilización debe realizarse cuando está tirada la semilla en el surco. En socas y resocas, después de efectuar el primer cultivo o antes de realizar el segundo cultivo, se realiza una aplicación foliar con 5 L/ha de “promas caña” máxima producción, cuando haya suficiente follaje.

Los agroquímicos; así como, los proveedores deben estar certificados y acreditados por las agrupaciones cañeras, procurando que sea efectivo para la plaga y de baja toxicidad para el aplicador, asegurando una protección al ambiente.

En el FIEZ se llevan a cabo talleres con los campesinos sobre las buenas prácticas de campo y el manejo adecuado de los agroquímicos; sin embargo, la poca apertura a la información y al cambio es el factor limitante en la aplicación real en campo de estos talleres.

Labores de cosecha:

El proceso de cosecha se establece en 3 pasos: determinación de madurez, programa semanal de cosecha y abastecimiento de caña en base al proceso.

Para lograr un balance de variedad de caña, se determina una curva de madurez y se clasifica su cosecha respecto a esta curva. A partir del estimado de producción, se calculan los recursos de cosecha para cada frente (tractores, alzadoras, camiones, etc.) y tomando en cuenta el plan de producción de fábrica, se elabora el programa semanal de cosecha.

La época ideal para el corte es durante los tres meses en que la caña alcanza su desarrollo máximo y conserva su máxima calidad. El máximo desarrollo o la maduración de la caña se promueve por la aplicación de agentes que permiten disminuir el ritmo de crecimiento y acortan el periodo vegetativo de la planta (floración) para acelerar la concentración de sacarosa. La maduración también se favorece naturalmente por una baja temperatura y artificialmente por la detención del riego.

La cosecha puede ser de forma manual o mecánica y puede ser o no quemada la caña antes de la cosecha (Figura 4.8). La quema se realiza con la finalidad de facilitar el corte de la caña, eliminar la maleza o ahuyentar animales.



Figura 4.8 a) Corte manual y b) Corte mecánico de la Zafra 2011/2012.

El corte manual de caña quemada se realiza al ras del suelo, despunte al viento y se junta en manojos de 300 a 500 kg; la caña se colecta por medio de alzadoras y se coloca en los camiones que se encargan de su acarreo (Figura 4.9). Un jornalero en promedio puede cortar máximo 5 ton/día. Si el corte manual se realiza en verde el rendimiento del jornalero se reduce a 1 ton/día ya que se requiere trabajo adicional para el corte de las hojas; debido a que el pago del corte de caña es por tonelada se prefiere la quema de la caña.



Figura 4.9 a) Manojos de caña b) Alzadoras y camiones para acarreo de caña.

El corte mecánico puede realizarse para caña en verde o quemada (Figura 4.10); a pesar de que tiene mayores ventajas el corte en verde, el corte mecanizado de caña quemada permite a los operadores de las máquinas evitar las piedras del suelo durante la operación de la máquina, las cuales desgastan rápidamente las cuchillas de la cosechadora.

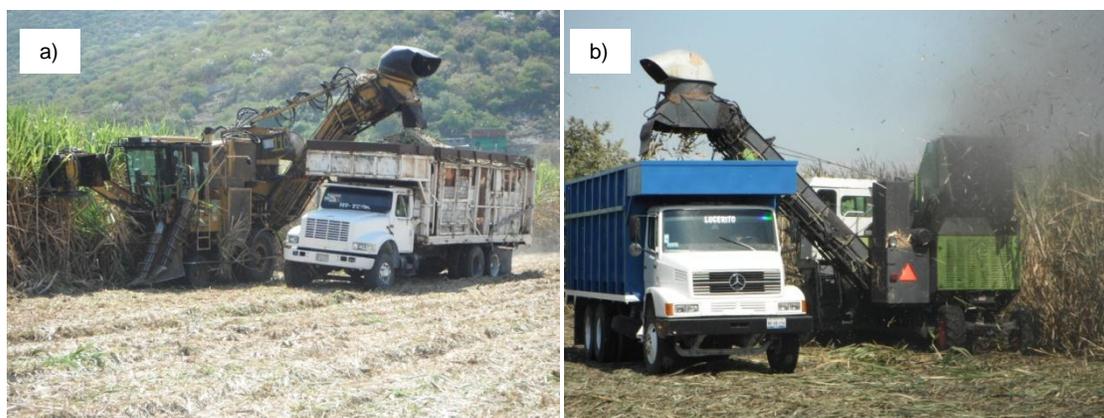


Figura 4.10 Cosechadoras mecánicas a) Cameco y b) Class.

Las máquinas cosechadoras cortan un surco por pasada, pican la caña y por diferencia de densidad mediante ventiladores son separadas las hojas; de esta manera, las hojas quedan distribuidas uniformemente sobre el campo y la cosechadora entrega la caña picada directamente a los camiones que se encargan de su acarreo al FIEZ (Figura 4.10). Para el uso eficiente de la máquina cosechadora es necesario cortar un terreno de al menos 5 ha y con distancias largas de al menos 500 m, debe ser una variedad de caña de hábito erecto, es decir, que no se caiga con facilidad y de fácil deshoje.

En el FIEZ la cosecha se lleva a cabo después de 12 a 17 meses de la plantación dependiendo de la etapa de maduración. El 86% es manual y el 14% mecanizada (zafra 2010-2011). La quema se realiza entre las 11 y 12 del día en meses de noviembre y enero; y desde las 6 am de febrero a marzo dependiendo del clima y de la variedad de la caña. La cosecha se organiza en 12 frentes: 9 de corte manual y 3 mecanizado con aproximadamente 1000 a 1200 cortadores y 2 tipos de cosechadoras (Figura 4.10).

Las impurezas que se arrastran junto con la materia prima durante la cosecha son las hojas de la punta de la caña, cepas y raíces, caña seca, basura, renuevo (caña que no ha madurado), tierra y piedras.

Durante el corte de caña en el FIEZ, se realiza en todos los frentes un muestreo para determinar el porcentaje de impurezas que lleva la materia prima. Se selecciona un manojo, se coloca en una lona y se determina el peso neto de la caña en buen estado y el peso de cada tipo de impureza; este procedimiento se realiza tanto para el corte manual como el corte mecanizado (Figura 4.11). El porcentaje de impurezas del corte manual oscila entre 1.5 – 2% mientras que en el corte mecánico es de alrededor del 6.5%.



Figura 4.11 Muestreo de impurezas a) corte manual y b) mecánico.

La determinación de impurezas en cada frente de cosecha permite tener un control de la calidad de la materia prima; ya que es una herramienta útil para el monitoreo del buen desempeño de los cortadores y la adecuada operación de las máquinas cosechadoras.

Durante el acarreo de la caña al Ingenio ha existido un impacto ambiental en las carreteras por la falta de cumplimiento del Reglamento de Transito respecto a los límites de altura y de carga de los camiones, lo que ha provocado que las carreteras que comunican al Ingenio se encuentren con residuos de caña durante la zafra.

Las medidas que se han implementado en el FIEZ para minimizar este impacto es la aplicación de un reglamento interno que establece, que el camión debe contar con cuatro bandas elásticas para sujetar la caña y no sobrepasar los límites de carga, en caso de tirar caña sobre las carreteras, están obligados a levantarla y acarrearla, ya que son pérdidas para el productor, cortador o cosechadora y en caso incumplimiento con el reglamento se suspende el uso de la unidad para el transporte de caña (Figura 4.12).



Figura 4.12 Acarreo de la caña al Ingenio.

4.3.2 Evaluación de la Industria

La evaluación de la planta se llevó a cabo mediante los datos proporcionados por el FIEZ y el análisis de cada operación unitaria del proceso de producción durante las estancias efectuadas para la obtención de las oportunidades de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental. Los pasos en esta etapa son (CPTS, 2005):

- a) Elaborar los balances de masa y energía de las operaciones unitarias.
- b) Identificar las causas de ineficiencias en el uso de materia y energía y las causas de flujos contaminantes.

Para la evaluación del proceso es necesario comprender el proceso desde diferentes puntos de vista: teórico, práctico, de la empresa, de los trabajadores, de eficiencia y del ambiente (CPTS, 2005).

Los balances de masa y energía de las operaciones unitarias en la etapa de evaluación del proceso permiten estimar las entradas y salidas; así como, identificar las pérdidas y la capacidad real de los equipos. Por lo tanto, es necesario observar el funcionamiento de cada operación unitaria bajo los parámetros normales de operación, para entender el mecanismo operativo de las máquinas asociadas a dicha operación unitaria y las responsabilidades de los trabajadores; entrevistar a los ingenieros encargados para aclarar dudas y obtener información sobre formas de operar y otros aspectos específicos.

Además de describir las actividades de cada operación unitaria y de cuantificar sus entradas y salidas, es necesario identificar las causas que originan las ineficiencias y flujos contaminantes y las condiciones de operación para la obtención de alta eficiencia durante el proceso. Una ineficiencia típica es la pérdida de insumos en una fuga de agua, el desperdicio de materias primas u otros insumos o en la pérdida de un producto intermedio o del producto final (CPTS, 2005).

Para efectos de la evaluación del proceso se divide en diez operaciones unitarias el proceso de producción de azúcar estándar, las cuales se presentan en la Tabla 4.3 y se ilustran en el diagrama de la Figura 4.13.

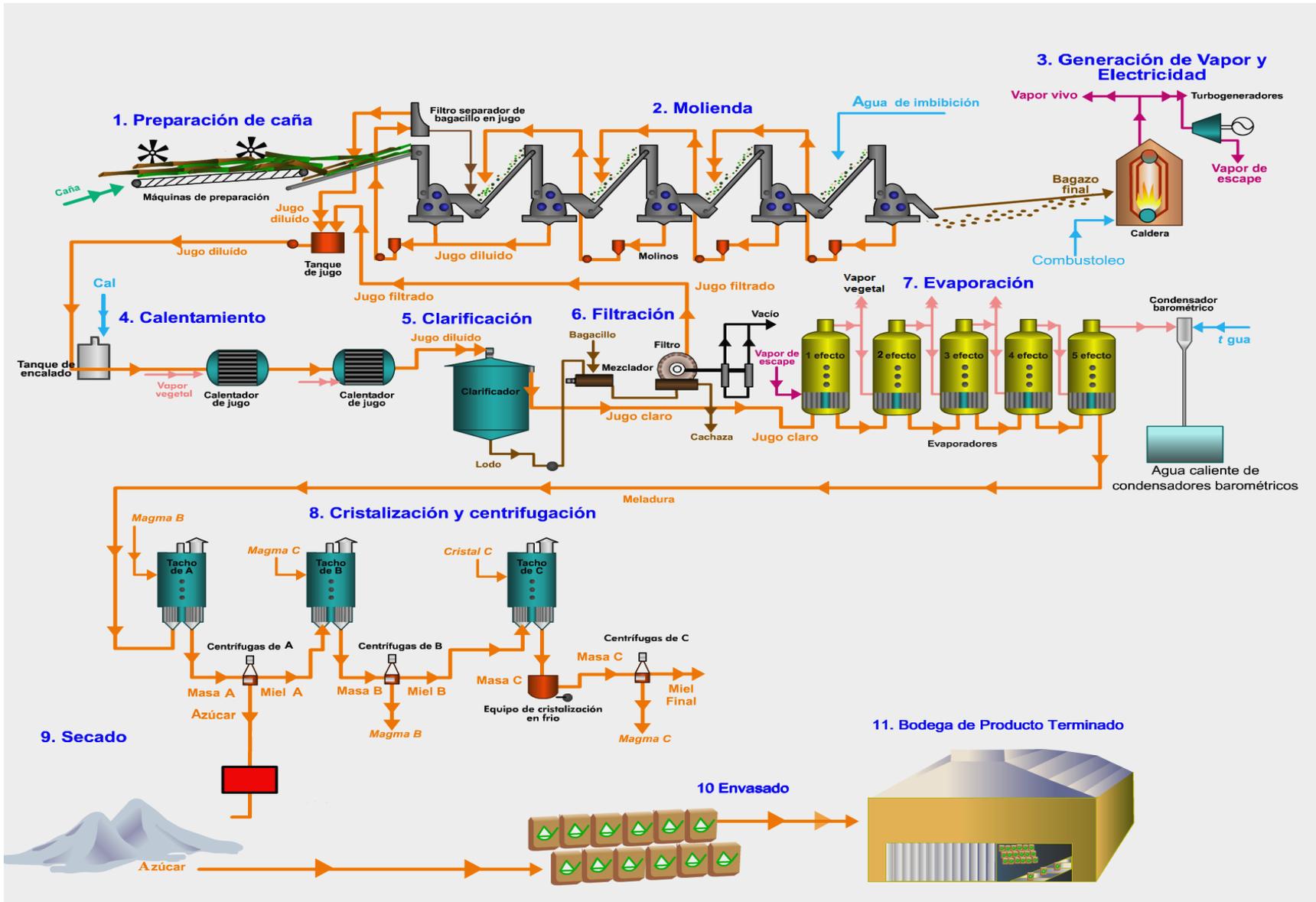


Figura 4.13 Proceso de producción de azúcar de caña de azúcar del FIEZ (SAGARPA-FEESA, 2011).

Tabla 4.3 Operaciones unitarias del proceso de producción de azúcar

1. Preparación de la caña	2. Molienda
3. Generación de vapor y electricidad	4. Calentamiento
5. Clarificación	6. Filtración
7. Evaporación	8. Cristalización y centrifugación
9. Secado	10. Envasado

El balance global del proceso de producción de azúcar estándar del FIEZ se presenta en la Figura 4.14. Los datos que se muestran en la Figura 4.14 se obtuvieron de la Cédula de Operación Anual 2011(COA, 2011) correspondiente a la zafra 2010/2011 del FIEZ la cual tuvo una duración de 183 días; cabe señalar que la COA 2011 fue elaborada junto con el Departamento de Mejoramiento Ambiental durante las estancias en el FIEZ. Además, la forma en que se presentan estos resultados es una forma útil de conocer la disminución o aumento de los contaminantes e insumos a razón de la caña que es procesada; esto se le conoce también como indicadores de proceso.

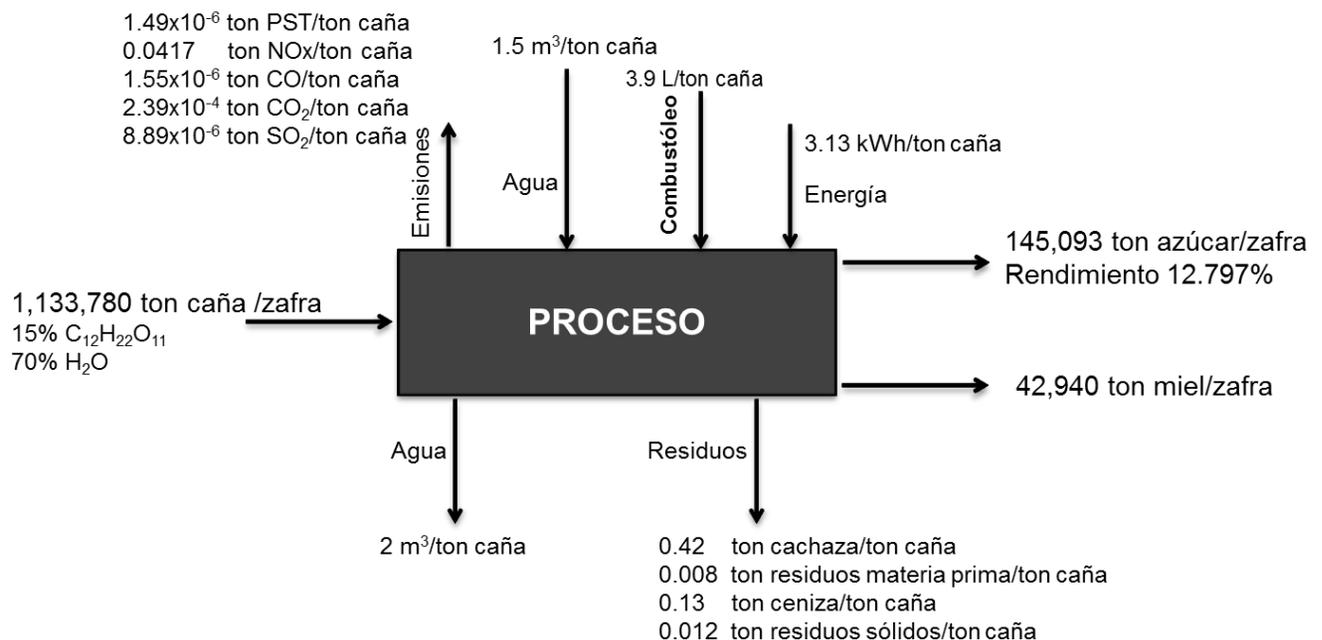


Figura 4.14 Balance global del proceso de producción para la zafra 2010/2011 con los indicadores ambientales y productos.

A continuación se presenta la descripción, evaluación, recomendaciones de prevención de contaminación ambiental y mejores prácticas de las operaciones unitarias que conforman el proceso de producción de azúcar estándar en el FIEZ.

1. Preparación de la caña

La caña se recibe y pesa en dos básculas de plataforma electrónicas para 80 ton en el área de batey del Ingenio, una para peso en la recepción de caña y la segunda para el destare de los camiones.

El abastecimiento de caña se realiza con una frecuencia diaria conforme el plan de producción programado y es acarreada al Ingenio en camiones que esperan su turno en el área de batey del Ingenio, de esta manera la caña es molida guardando una frescura rigurosa no mayor de 24 horas desde el momento en que es cortada.

La frescura de la caña es uno de los aspectos más cuidados de esta operación unitaria, porque cuando la caña es cortada se torna más susceptible a la proliferación de microorganismos que promueven la inversión de la sacarosa

El *Leuconostoc mesenteroides* es la principal bacteria que agrede a la caña; el nivel de exposición a esta bacteria en el tejido interno de la caña se incrementa con el corte mecanizado, el trozado o por la quema, lo cual provoca la inactivación de las enzimas fenol oxidasas de acción protectora o bactericida en la planta (Rodríguez J. E. 2005).

Los camiones descargan en una mesa alimentadora y en un conductor auxiliar que a su vez descargan en el conductor principal (Figura 4.15). La limpieza de la caña se lleva a cabo en forma seca, por medio de un sistema de vibración en la mesa alimentadora, manejando los residuos de hojas y tierra en forma sólida y evitando de esta manera el uso de agua para la limpieza de la caña.

El sistema de limpieza de caña en seco es manejado actualmente en algunos Ingenios del país (CNIAA, 2011), para evitar el uso de agua de extracción o de reúso en el lavado de la caña; sin embargo, si no se disminuye el contenido de impurezas de la caña en campo, la limpieza en seco puede generar la obtención de mayor cantidad de impurezas durante el proceso de clarificación y por lo tanto la necesidad de mayores cantidades de sustancias químicas para removerlas.



Figura 4.15 Descarga de camiones en el FIEZ.

Para la preparación de la caña, previa a la molienda se tienen instalados 3 niveladores cuya función consiste en distribuir y nivelar la caña en el conductor; 4 juegos de cuchillas y una desfibradora, con las que se obtiene una aceptable preparación de la caña (Figura 4.16a). Las cuchillas y las desfibradoras aseguran la alimentación a los molinos y mejoran la preparación de la caña para hacer eficiente la extracción de jugo. Se cuenta con dos juegos de cuchillas de 17 porta-machetes, 34 cuchillas movidos por dos motores eléctricos. La desfibradora es de 700 r.p.m. con 93 martillos de 34 kg cada uno (Figura 4.16b).

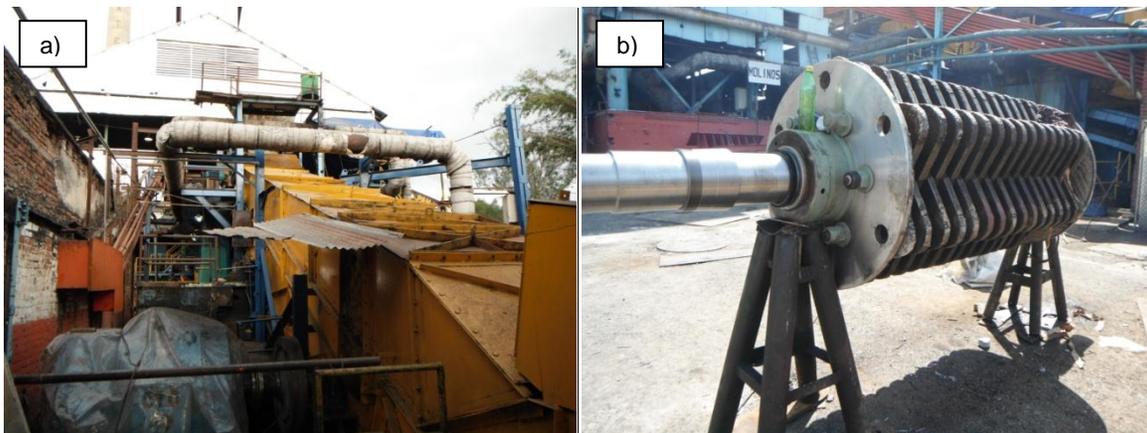


Figura 4.16 a) Nivelador de caña, b) Desfibradora desmontada.

2. Molienda

Proceso en el que se extrae o separa el jugo contenido en la caña. Se realiza en una serie de molinos donde se exprime y se lava el colchón de bagazo. El conjunto de molinos se le llama tándem y se compone de cinco molinos de 3 mazas adaptados con una 4ta maza (Figura 4.17).

Los molinos 1, 2, 3 y 4 son Fultón de 3 mazas de 40" x 6.5 ft, acondicionados con una 4ª maza de 38" x 6.5 ft. El molino 5 es Farell con mazas de las mismas dimensiones que los anteriores (CNIAA 2011).

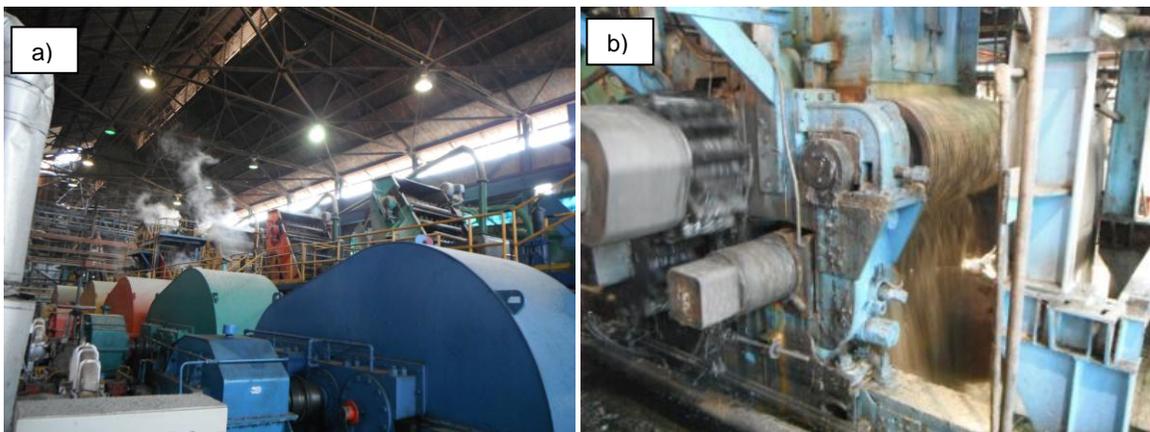


Figura 4.17 a) Tándem de molinos b) Molino 1 Fultón de 4 mazas.

El jugo de los molinos 3, 4 y 5 es recirculado a los molinos 2, 3 y 4 respectivamente agregando al 5to molino 25% de agua de imbibición para extraer hasta el 94 o 95% del azúcar contenida en la caña, este proceso se le conoce como imbibición compuesta múltiple.

El jugo extraído en los molinos se colecta en 4 tanques, el jugo de los molinos 3, 4 y 5 descargan a tanques individuales para una imbibición compuesta múltiple, el jugo del molino 1 y 2 se lleva a un tanque común donde se bombea al colador rotativo para eliminar bagacillo del jugo (Figura 4.18a).

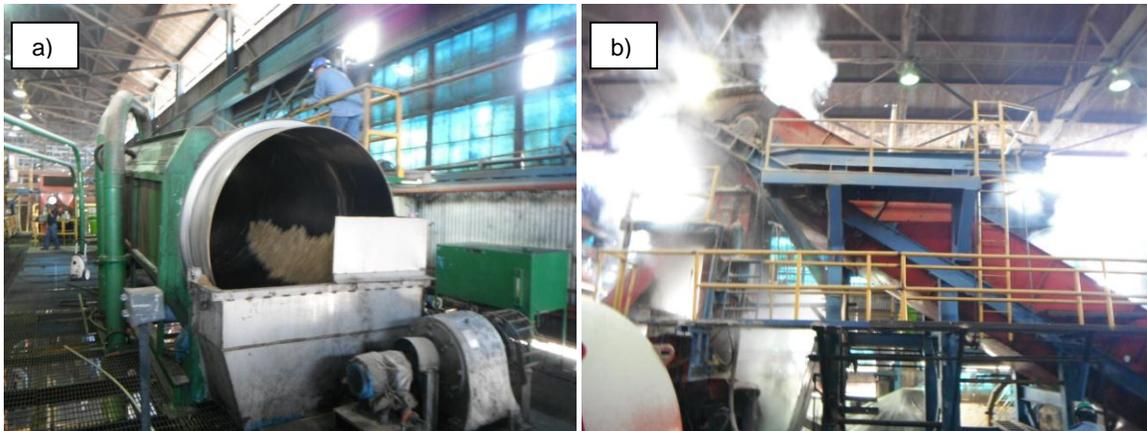


Figura 4.18 a) Limpieza de Filtro de bagacillo para el jugo de los molinos 1 y 2 b) Aplicación de vapor al Molino 5 para limpieza.

En esta operación unitaria es necesaria la aplicación controlada de un bactericida al jugo extraído ya que existe proliferación del microorganismo *Leuconostoc-menesteroides*, por lo que el nivel de dextranasa se incrementa con rapidez. Las dextranas son compuestos indeseables, sintetizados por microorganismos contaminantes a partir de la sacarosa, que provocan pérdidas significativas al incrementar la viscosidad en los flujos y reducir el rendimiento en la industria.

Durante la operación unitaria de molienda o extracción, es importante llevar a cabo las principales medidas para obtener alta eficiencia, uso adecuado de insumos y eliminar los flujos contaminantes:

- a) Preparar correcta y completamente la caña, mediante la supervisión del buen funcionamiento de los conductores de caña desfibrada, con un colchón regular en el conductor para una molienda uniforme.
- b) Cumplir con una molienda de 300 ton caña/hora, para obtener una producción de jugo sin grandes variantes y sin alterar la velocidad para mantener la molienda.
- c) Obtener una concentración máxima de sacarosa en bagazo del 2% y humedad del 50-51%.
- d) Controlar parámetros del agua de Imbibición en 72-75 ton y 70°C.
- e) Tener un tiempo perdido máximo por turno de 40 min.
- f) Llevar a cabo una limpieza con vapor y agua caliente en todo el tándem para evitar infecciones (Figura 4.18b).

- g) Comprobar en inspecciones de vigilancia las velocidades de turbinas y que las velocidades de operación y volumen de agua de imbibición correspondan a la molienda obtenida.
- h) Vigilar que la presión hidráulica se encuentre entre los parámetros establecidos. Si la presión tiende a reducirse, es posible que exista una fuga de aceite por lo que es necesaria una corrección inmediata, para evitar flotación de la maza superior.
- i) Vigilar la operación del equipo de lubricación y corregir fugas para el ahorro de insumos y evitar paros en la producción.
- j) Comprobar que el agua de enfriamiento que sea utilizada como emergencia para las chumaceras no se mezcle con el guarapo.
- k) Supervisar y corregir fugas o derrames de guarapo en tuberías, bombas o tanques. Debido a que por acción corrosiva del guarapo es común encontrar fugas en todo el departamento de molienda, provocando pérdidas irreversibles y no cuantificables (Figura 4.19).
- l) Aplicar de forma uniforme el agua de imbibición o jugo de maceración a todo lo ancho del conductor, mediante una cortina uniforme y no en forma de chorro.
- m) Revisar las temperaturas y ruidos anormales en los equipos.
- n) Revisar periódicamente el estado de desgaste de los equipos.
- o) Realizar evaluaciones continuas al personal técnico encargado de la operación de los molinos.
- p) Realizar un programa de automatización de toda la operación unitaria priorizando las acciones que conducen a mayores errores humanos.
- q) Reemplazar el lavado de suelo en todo el departamento de batey y molienda por los procesos de limpieza en seco.



Figura 4.19 Fugas y derrames en el departamento de molinos.

Los controles automáticos que se han implementado en el FIEZ en esta operación unitaria son, llenado de alimentación de caña por flujo al tándem de molinos; monitoreo de temperatura de agua de imbibición, medición del flujo de agua de imbibición y control del nivel del tanque de agua de imbibición (CNIAA 2011).

El balance de masa de la operación unitaria de extracción o molienda se presenta en la Figura 4.20 para la zafra 2010/2011 y en la Figura 4.21 para una base de cálculo de 300 ton caña/h con base en el Plan de Producción Oficial 2011/2012. Los cálculos correspondientes se encuentran en los Anexos A y B.

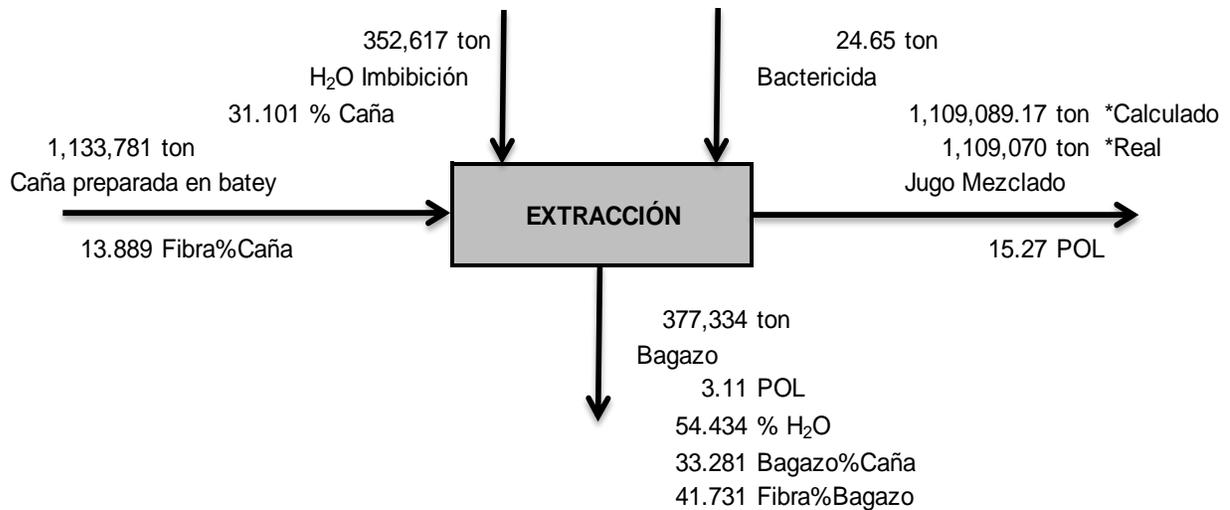


Figura 4.20 Balance de masa de la operación de extracción para el periodo correspondiente a la zafra 2010/2011.

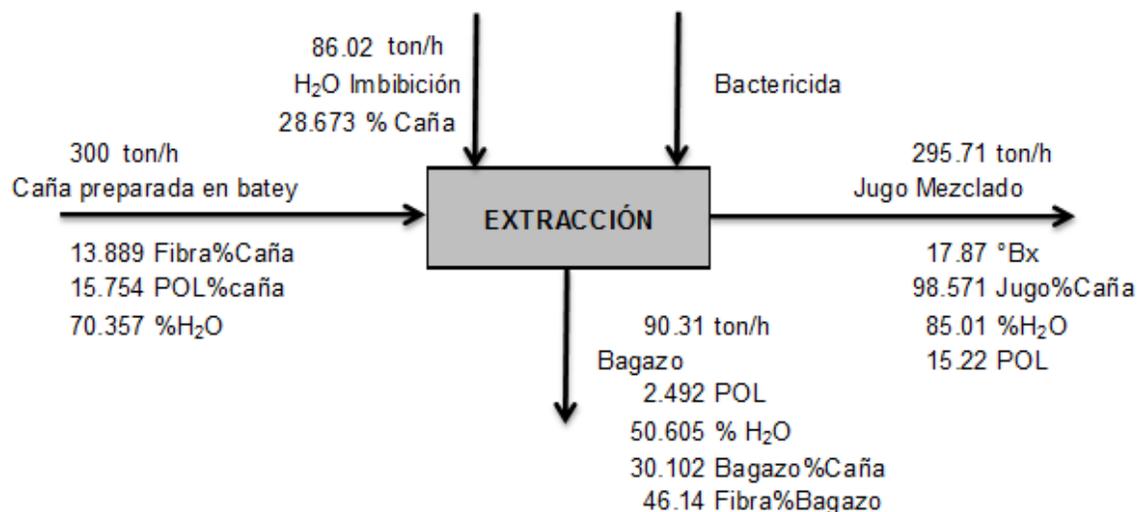


Figura 4.21 Balance de masa de la operación de extracción para una molienda de 300 ton caña/hora y con base en el Plan de Producción Oficial 2011/2012.

El balance de la Figura 4.21 se presentan con la finalidad de presentar las cantidades total por zafra de los insumos y productos de esta operación; por ejemplo, el bactericida, el cual no es cuantificado por hora porque la cantidad no es representativa; sin embargo se tiene registrada la cantidad utilizada en total en la zafra.

Existen diferencias significativas entre el balance obtenido por zafra (Figura 4.20) y el balance ideal u horario (Figura 4.21); algunas de estas diferencias son las pérdidas de sacarosa en el bagazo representada en el alto valor del parámetro POL. Estos parámetros pueden ser corregidos y llevados a la idealidad con la correcta operación y atención en las medidas descritas anteriormente.

En búsqueda de incrementar la capacidad de molienda en los tándems existentes con molinos de cuatro mazas, una de las mejores opciones es convertir el molino de cuatro mazas en un molino de seis mazas (Figura 4.22). Esta modificación permite incrementar la capacidad de molienda en un 30%, mejorando los resultados operativos como la extracción y el contenido de humedad en el bagazo. No se requiere realizar cambios a los accionamientos existentes, ya que el alimentador forzado tendrá su propio accionamiento de velocidad variable, lo que asegurará la carga constante dentro del molino y la extracción óptima (Wesche G. *et al* 2011).

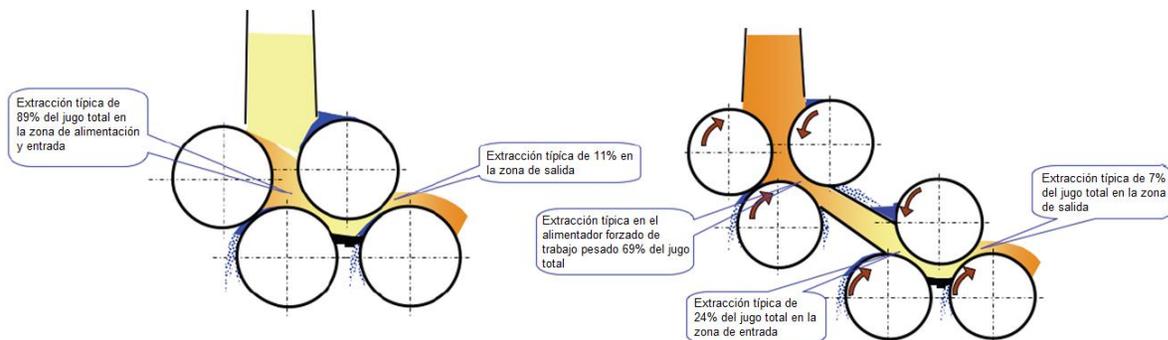


Figura 4.22 Comparativo entre molino de 4 y 6 mazas (Wesche G. *et al* 2011).

Los molinos de seis mazas ofrecen mejor alimentación que los molinos de cuatro mazas, ofrecen mejor drenaje, reducen la reabsorción dando como resultado una mayor capacidad de molienda y mayor extracción. La conversión del molino de cuatro mazas a uno de seis mazas es relativamente simple desde el punto de vista mecánico y el molino actual de cuatro mazas no requerirá de ningún cambio al accionamiento existente (Wesche G. *et al* 2011).

3. Generación de vapor y energía eléctrica

El vapor vivo o vapor de alta presión es generado en las calderas por la combustión de bagazo final y combustóleo (Figura 4.23). El vapor es utilizado en turbinas de vapor que accionan los molinos y en los turbogeneradores de energía eléctrica; el vapor de escape de las turbinas es utilizado para el calentamiento de los jugos y cocimiento de las masas de jugo de la caña de azúcar.



Figura 4.23 Calderas del FIEZ.

Durante la Zafra 2010/2011 del FIEZ se contaban con 8 generadores de vapor de combustión mixta con las capacidades en MJ/h y características de las chimeneas que se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Características de las chimeneas de cada caldera del Ingenio

Calderas	Capacidad MJ/h	Ducto o chimenea					
		Altura (m)	Diámetro (m)	Área (m ²)	Velocidad de flujo de gases (m/s)	Gasto volumétrico (m ³ /min)	Temperatura de salida de gases (°C)
2 a 5	33,930.4	110	0.60	0.28	5.94	100.77	53
7	43803.7	30	1.62	2.06	9.16	1132.65	160
9	58504.0	36	1.60	2.01	9.16	1105.15	175
10	67564.2	30	1.60	2.01	8.20	989.07	180
11	76166.8	36	1.60	2.01	9.13	1,101.76	129

Los gases de combustión de las calderas 2 a la 5 descargaban en la chimenea de concreto de 110 m de altura y los gases de las calderas 7 a 11 son conducidos por una chimenea diferente para cada caldera.

Durante el periodo de mantenimiento de la Zafra 2010/2011 se llevó a cabo la instalación de una caldera 100% bagacera de 65,000 kg/h de vapor de marca Dallas Boiler, con parrilla Pin-Hole y sistema de separación de partículas multiciclónico vía seco, la cual en la Zafra 2011/2012 reemplaza a las calderas 2, 3, 4 y 5, las cuales se encontraban operando desde los inicios del Ingenio, por lo que se encontraban en un estado obsoleto. De esta manera el esquema de operación de la Zafra 2011/2012 quedó conformado por 5 generadores de vapor, reenumerados como se muestra en la Figura 4.24.

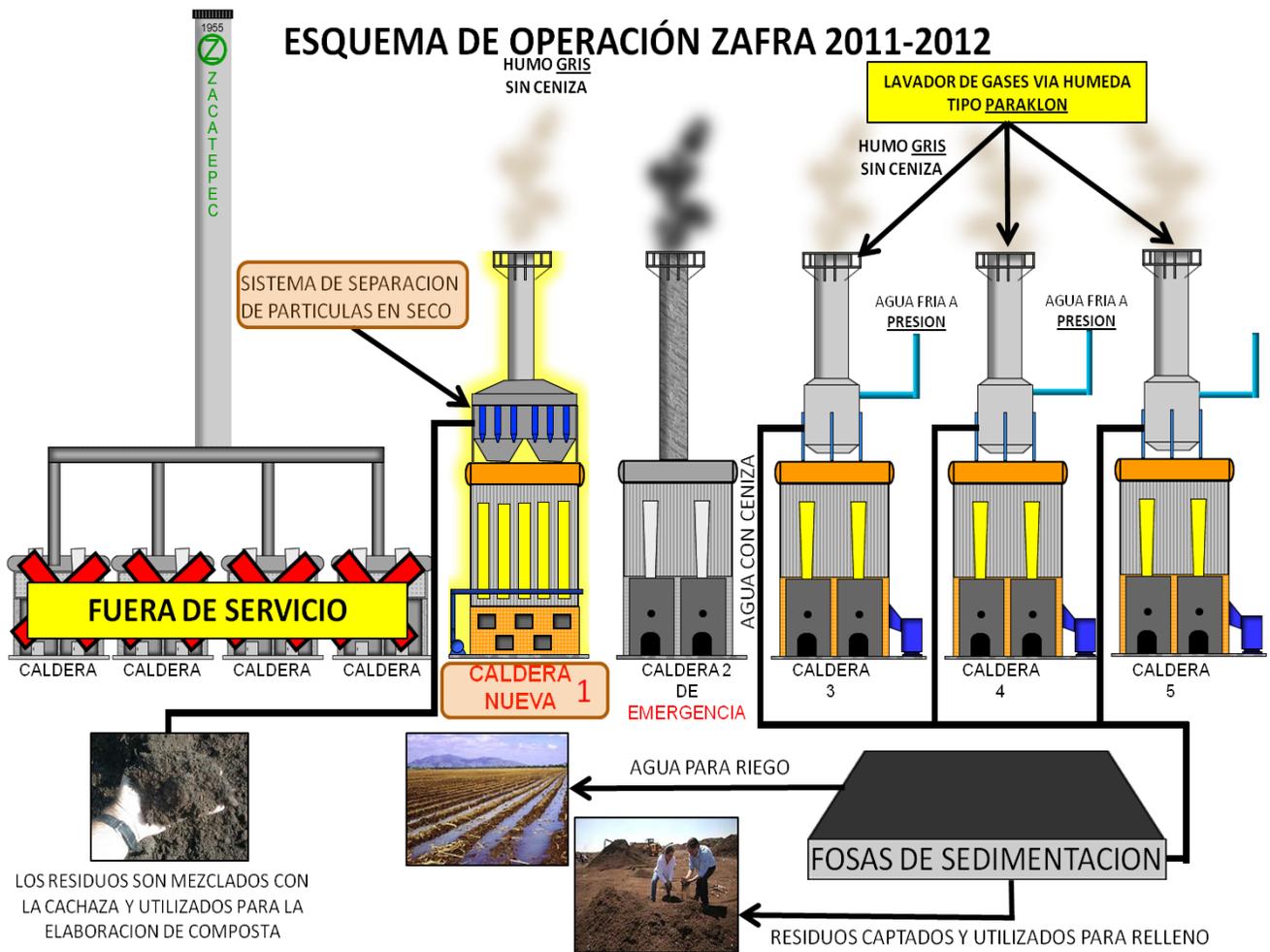


Figura 4.24 Diagrama de operación de calderas de la Zafra 2011/2012 (FIEZ, 2011).

Como se muestra en el diagrama de la Figura 4.24 las calderas 7, 9, 10 y 11 se reenumeraron con los número 2, 3, 4 y 5 respectivamente; la caldera nueva fue nombrada Caldera 1 y la Caldera 2 entra en operación solamente en caso de emergencia debido a que es la única que no cuenta con un sistema de control de partículas como las demás.

Los sistemas de control de partículas en la Caldera 3, 4 y 5 son de tipo húmedo; es decir, se aplica un chorro de agua fría en la chimenea para arrastrar en el agua las partículas de ceniza, la corriente de agua con ceniza es llevada a fosas de sedimentación (Figura 4.25a) donde por un lado son separados los sólidos y reutilizados para relleno en campo y por otro lado el agua es mezclada con el agua residual del Ingenio y utilizada en el riego agrícola (Figura 4.25b).

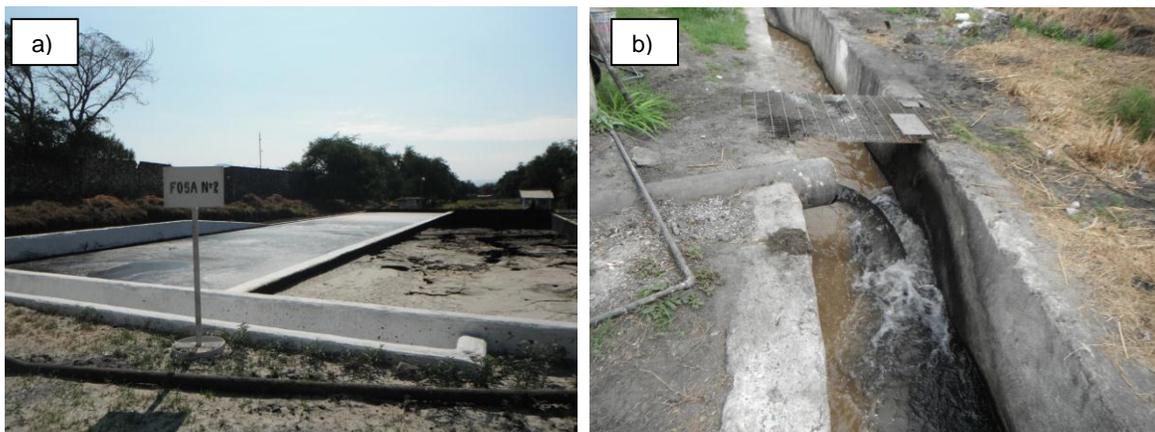


Figura 4.25 a) Fosas de sedimentación, b) Punto de mezcla de agua residual de fosas y agua residual del proceso.

Durante las estancias realizadas en el FIEZ se realizó una práctica de reúso de agua de fosas de sedimentación; se llevó a cabo la instalación del equipo para reutilizar el agua de las fosas de sedimentación en el lavado de los gases de combustión; de esta manera se eliminó la descarga de agua residual de las fosas y se aprovecha en el proceso, en la Figura 4.26a se muestra la instalación del equipo necesario para recircular el agua de las fosas de sedimentación en el proceso.

Por otro lado, el manejo de ceniza de los separadores multiciclónicos vía seca de la caldera 1 y la ceniza caliente que se obtiene de los hornos cuando se lleva a cabo la limpieza de los mismos se maneja en forma sólida en el patio de calderas (Figura 4.26b) y es llevada a campo para utilizarla como relleno.

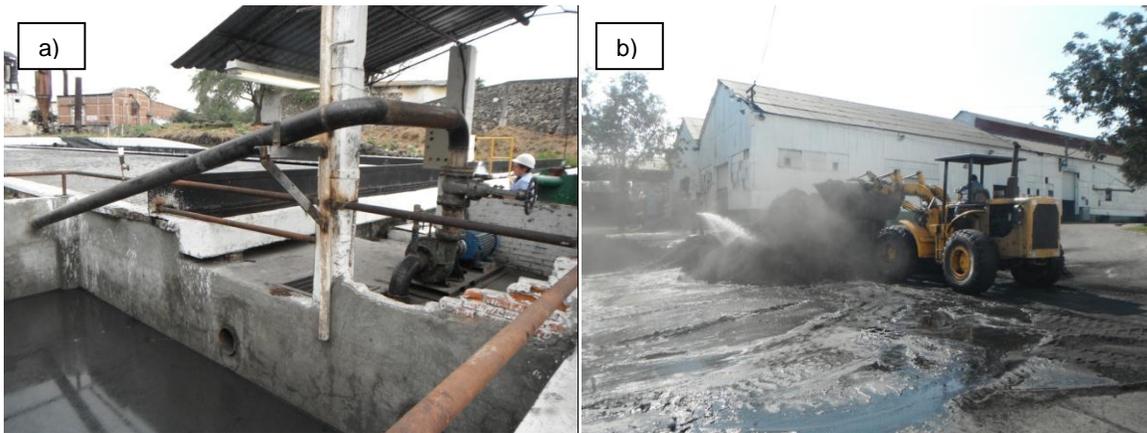


Figura 4.26 a) Instalación de equipo para reúso de agua de fosas de sedimentación, b) Manejo de residuos de ceniza de la caldera 1 y de hornos.

Una medida para mejorar el manejo de ceniza de la caldera 1 que se implementó durante la Zafra 2011/2012 fue la instalación de tuberías para arrastrar la ceniza mediante una corriente de agua y disponerla en las fosas de sedimentación (Figura 4.27). Esta medida fue más viable que la instalación de un conductor para disponer la ceniza en la tolva de cachaza, debido a que la instalación del equipo necesario fue sencilla; por otro lado el agua utilizada para arrastrar las cenizas es de reúso de las mismas fosas de sedimentación.

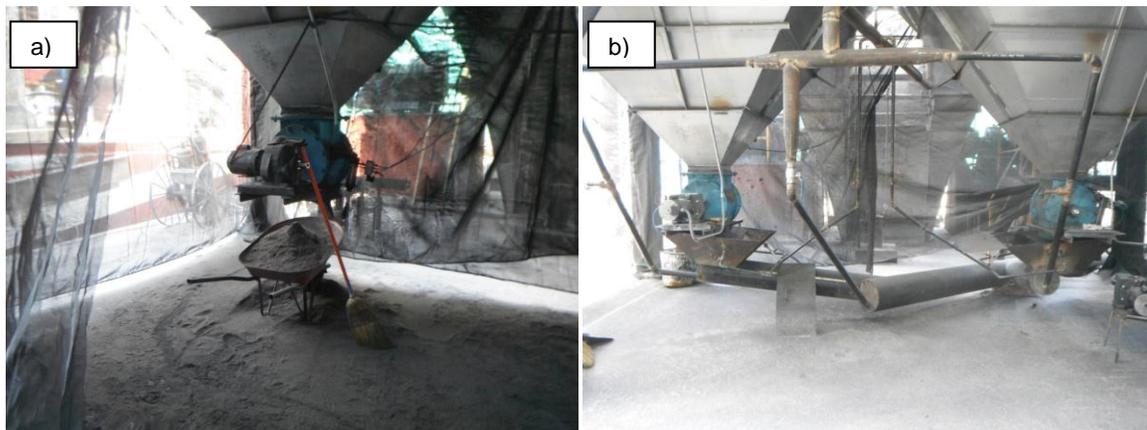


Figura 4.27 a) Tolvas de ceniza de la caldera 1 b) Instalación de equipo para manejo de ceniza de caldera 1.

La generación de vapor es la operación unitaria más importante del Ingenio, debido a que el vapor generado es utilizado en las demás operaciones para la producción de azúcar, es por esto que la correcta operación de las calderas es indispensable para obtener vapor a la presión necesaria para una operación eficiente de todas las operaciones del Ingenio. Además una alta eficiencia de las calderas permite la disminución de la generación de partículas contaminantes. Las principales medidas de prevención en la operación de las calderas son principalmente:

- Llevar a cabo reparaciones y mantenimiento de los ductos de aire; así como, cálculos del flujo de aire necesario para la combustión del bagazo y la instalación de equipo necesario para garantizar la demanda de aire, como por ejemplo ventiladores centrífugos de aire.
- Realizar un programa de mantenimiento del interior de la caldera, sobre todo de paredes refractarias y parrillas basculantes para evitar el desperdicio de bagazo.
- Controlar el exceso de aire en la caldera. La temperatura de la flama aumenta conforme el exceso de aire se reduce; en el combustóleo la temperatura de la flama con 0% de exceso de aire es de 2300°C y con 100% de exceso de aire es 1320°C (CONAE, 2007).

A mayor temperatura de la flama, la transferencia de calor por radiación es más intensa; por lo tanto, si la temperatura en la sección de radiación de la caldera se reduce por bajar la temperatura de la flama, habrá una menor transferencia de calor por radiación. Finalmente, esto ocasionará un aumento en la temperatura de gases en la chimenea, debido a que parte del calor del combustible no se aprovecha en esta zona y sale con los gases de combustión, reduciendo la eficiencia (CONAE, 2007).

- Vigilar las pérdidas de calor en gases de combustión, debido a que es la fuente de pérdida más importante. Estas pérdidas pueden deberse a que el horno está produciendo más calor que el que se requiere para la carga específica de la caldera, las superficies de calefacción de la caldera no estén funcionando correctamente y el calor no se está transfiriendo al agua, debido a presencia de incrustaciones o falta de limpieza en las superficies de calefacción (CONAE, 2007). Los gases de combustión pueden ser recirculados al proceso para el precalentamiento del agua o del aire de combustión e incluso para el secado del bagazo como se realiza en algunos Ingenios de Sudamérica.

- Reparar las tuberías con fugas de vapor o con aislamiento dañado, mal instalado o falta de aislante ya que las pérdidas por radiación aumentan considerablemente debido a la falta de un buen aislamiento (CONAE, 2007).
- Llevar a cabo un análisis para buscar el nivel adecuado de purga a la caldera, una pérdida insuficiente no impide la formación de incrustaciones y arrastres mientras que una purga excesiva producirá pérdidas elevadas de calor. Las purgas se realizan en la parte inferior de las calderas donde se encuentran más concentrados los sólidos disueltos y en suspensión; ya que al vaporizarse el agua la concentración de sólidos aumenta en el agua que queda, lo cual conduce a problemas de incrustación (CONAE, 2007).
- Reemplazar el lavado de suelo en todo el departamento de calderas por los procesos de limpieza en seco.

Por otro lado, para el movimiento del bagazo en el FIEZ se cuenta con dos conductores tipo fuera de borda cerrados y 4 conductores de rastras para retornar bagazo excedente. Sin embargo, para mejorar tanto el aspecto de limpieza como el de salud del personal, por la exposición a partículas de bagacillo, es necesario que todos los conductores de bagazo sean cerrados. Además como medida de mejora para disminuir las emisiones de partículas en el patio de almacén de bagazo excedente (Figura 4.28) es necesaria la instalación de un silo para el almacén de bagazo excedente, dimensionado adecuadamente para la capacidad necesaria.



Figura 4.28 Patio de almacén de bagazo excedente.

4. Calentamiento

Antes del calentamiento que se lleva a cabo en dos etapas, se adiciona lechada de cal para neutralizar la acidez del jugo; el FIEZ cuenta con 8 calentadores cilíndricos horizontales, 3 para el primer calentamiento (1 de 3,000 ft² y 2 de 3500 ft²) y 5 para el segundo calentamiento (2 de 840 ft² y 3 de 1,250 ft²) y la alcalinización es de tipo continuo, controlada automáticamente por un potenciómetro Foxboro (Figura 4.29).

El vapor utilizado en los calentadores es vapor vegetal obtenido del proceso de evaporación de efecto múltiple para el primer calentamiento y vapor de escape de turbinas para el segundo calentamiento; para alcanzar una temperatura de hasta 105°C en el jugo al final de la operación como se muestra en el diagrama de la Figura 4.30.

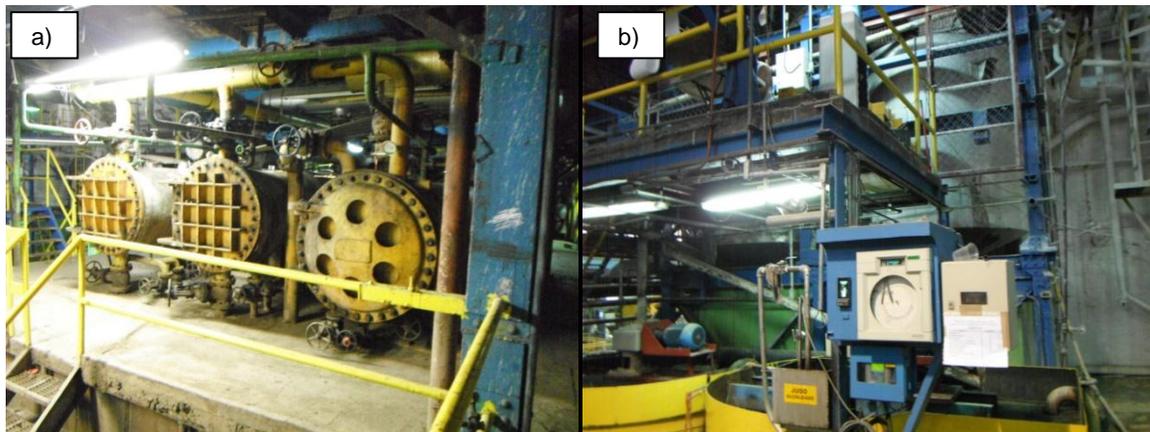


Figura 4.29 a) Calentadores b) Potenciómetro Foxboro y adición de lechada de cal.

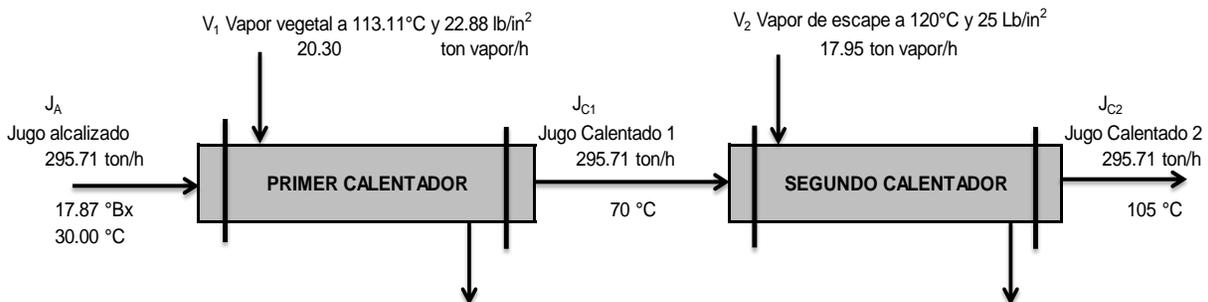


Figura 4.30 Balance de masa y energía de los calentadores para una molienda de 300 ton caña/hora.

El balance de masa y energía realizado para la operación de calentamiento presentado en el diagrama de la Figura 4.30 permite calcular la cantidad de vapor necesario para

alcanzar las temperaturas de 70 y 105°C, los cálculos correspondientes se presentan en el Anexo A.

Para obtener alta eficiencia durante la operación de los calentadores es necesario llevar a cabo las siguientes medidas de prevención en la operación de los equipos:

- Verificar la correcta operación de las válvulas de entrada y salida tanto del guarapo como del vapor de los calentadores que se encuentran en operación.
- Verificar que los condensados del calentador que se encuentra en operación sean depositados en los tanques de condensados puros y no puros según corresponda.
- Verificar las temperaturas del jugo a la salida de cada calentador.
- Monitorear la eficiencia de los equipos para programar el mantenimiento preventivo y de limpieza cuando la eficiencia disminuye.
- Vigilar y reparar las fugas de vapor; así como, el aislante en las tuberías por donde es transportado el vapor.

5. Clarificación

Proceso en el que se separan los sólidos insolubles del jugo diluido. La clarificación consiste en una separación de fases del jugo para decantarlo. La decantación se lleva a cabo en clarificadores de jugo en los cuales las impurezas, por efecto de procesos químicos, se van al fondo y el jugo clarificado se extrae por la parte superior.

El clarificador consiste de un tanque lo suficientemente grande para que la velocidad de escurrimiento y de circulación sea tan baja que no impida la decantación ni deteriore el jugo. En el FIEZ se cuenta con 3 clarificadores para jugo claro con una capacidad de 228,000 L que operan con un tiempo de retención de 2.4 h (Figura 4.31a).

En el clarificador se adiciona una cantidad de floculante en una concentración de 3 a 5 ppm base caña; el uso del floculante hace más eficiente el proceso de clarificación, durante la operación del clarificador se realiza una toma de muestra cada media hora para monitorear la eficiencia del proceso y adicionar más floculante en caso necesario (Figura 4.31b).

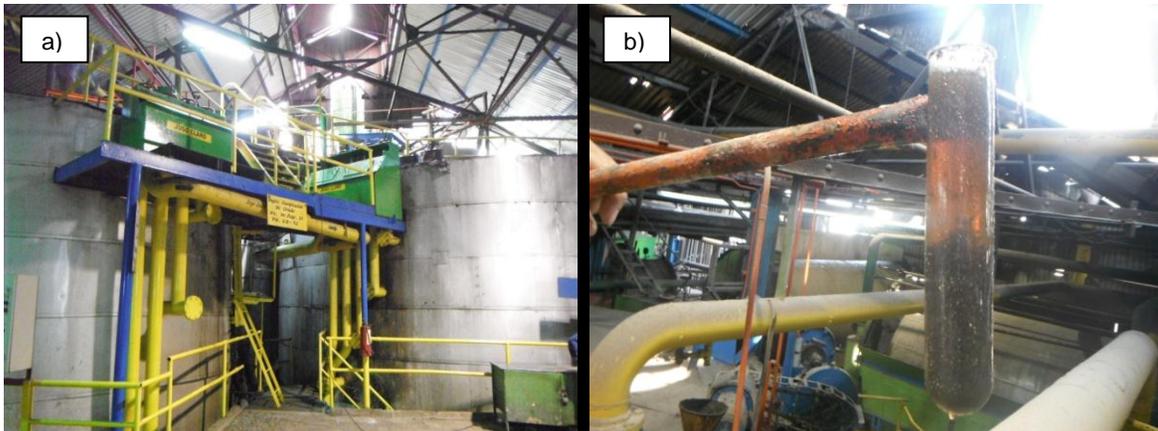


Figura 4.31 a) Clarificadores, b) Muestra de monitoreo de eficiencia del proceso de clarificación.

6. Filtración

Los lodos que se obtienen de los clarificadores se mezclan con bagacillo y pasan por filtros rotativos al vacío para recuperar el azúcar contenido en éstos; por un lado, el jugo filtrado retorna al proceso y el sólido obtenido, conocido como cachaza se lleva a campo para ser utilizado como fertilizante por su alto contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y materia orgánica.

En el FIEZ se cuenta con 3 filtros rotatorios Eimco 10 x 8 ft, 8 x 16 ft y 10 x 20 ft respectivamente (Figura 4.32a), tolva de cachaza de capacidad de 18 ton que descargan directamente a camiones de volteo (Figura 4.32b), los cuales disponen la cachaza en el campo y 3 coladores de placa de acero al carbón para jugo, los cuales descargan a dos tanques de jugo claro de 40,000 L cada uno.

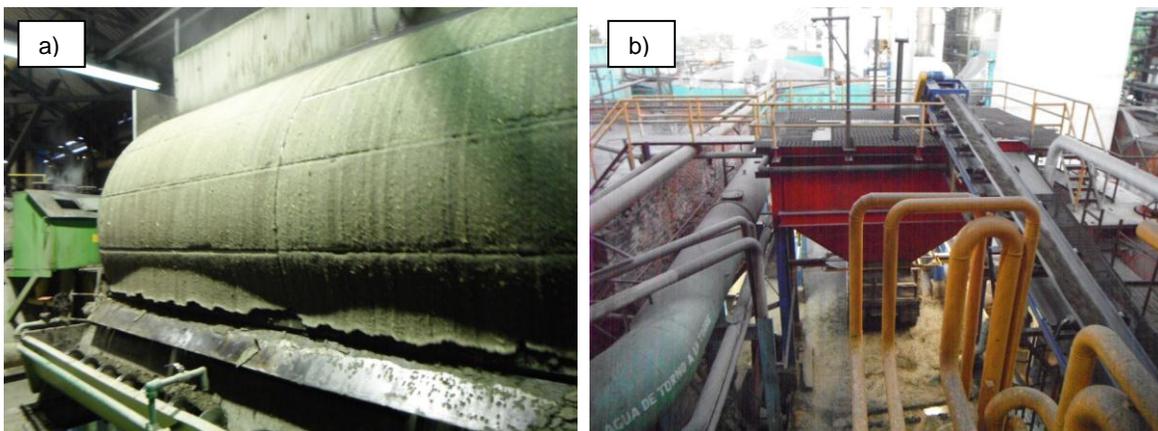


Figura 4.32 a) Filtro de cachaza b) Tolva de cachaza

El balance de masa de las operaciones unitarias de clarificación y filtración se representa en la Figura 4.33, en este balance se incluyen ambas operaciones, debido a que el producto final del conjunto de ellas es el jugo claro y la cachaza. Los datos con los cuales se calcularon los balances de estas operaciones son correspondientes a Zafra 2010/2011 y condiciones del proceso que se verificaron en el FIEZ; así mismo se presenta el balance de masa para una producción ideal de 300 ton/h (Figura 4.34) con la finalidad de hacer una comparación respecto a los flujos de entrada y salida reales respecto a los ideales; en el Anexo A y B se encuentran los cálculos correspondientes de ambos balances.

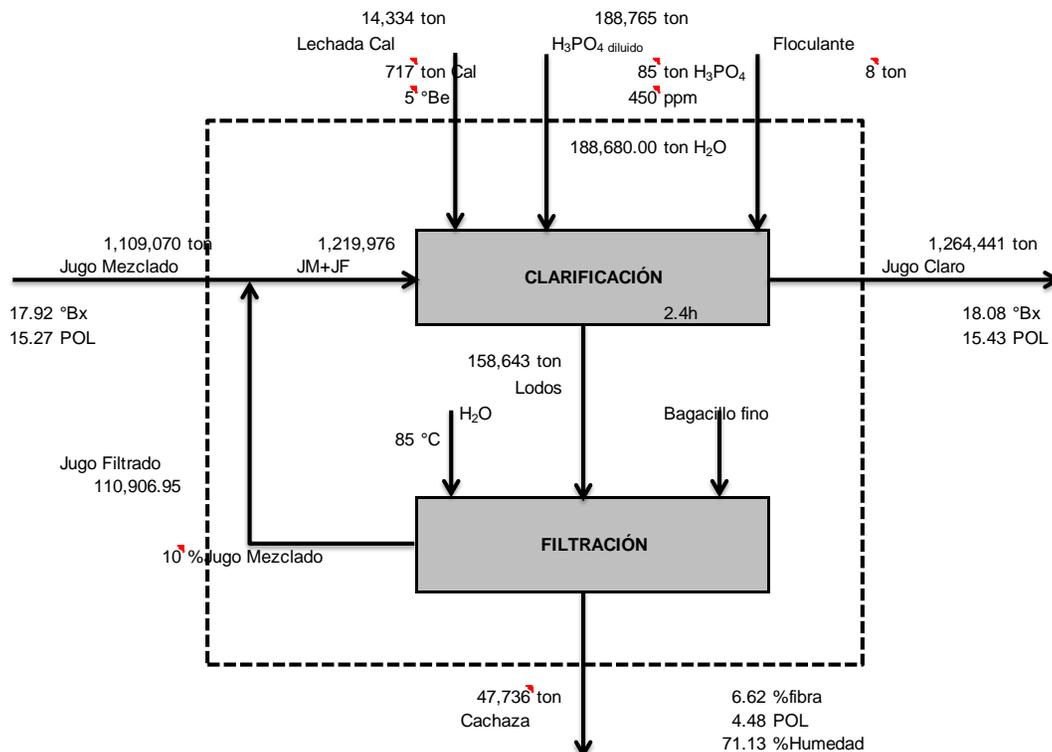


Figura 4.33 Balance de masa de las operaciones unitarias de clarificación y filtración, para el periodo correspondiente a la zafra 2010/2011.

El porcentaje de sacarosa en la cachaza idealmente debe ser menor o igual al 2% al igual que en el bagazo debido a que es una de las pérdidas cuantificables de sacarosa en el proceso de producción de azúcar.

Para hacer más eficiente la extracción de sacarosa del lodo que sale del clarificador se adiciona bagacillo y agua caliente, la proporción del jugo que sale de la operación de

filtración es del 10% en base al jugo mezclado que entra al proceso y la cantidad de cachaza se calcula idealmente con el parámetro de 3.579% Cachaza%caña.

Realizando una comparación del balance de masa ideal para una molienda de 300 ton/h (Figura 4.29) y del real con los datos de la zafra 2010/2011 la cantidad de cachaza producida es mayor que la esperada idealmente, considerando el parámetro Cachaza%caña de acuerdo al Plan de Producción Oficial 2011/2012 es de 3.579 y el real es de 4.210, por lo tanto durante la Zafra 2010/2011 se produjeron 7,157.97 ton más de cachaza de las que se esperaba idealmente.

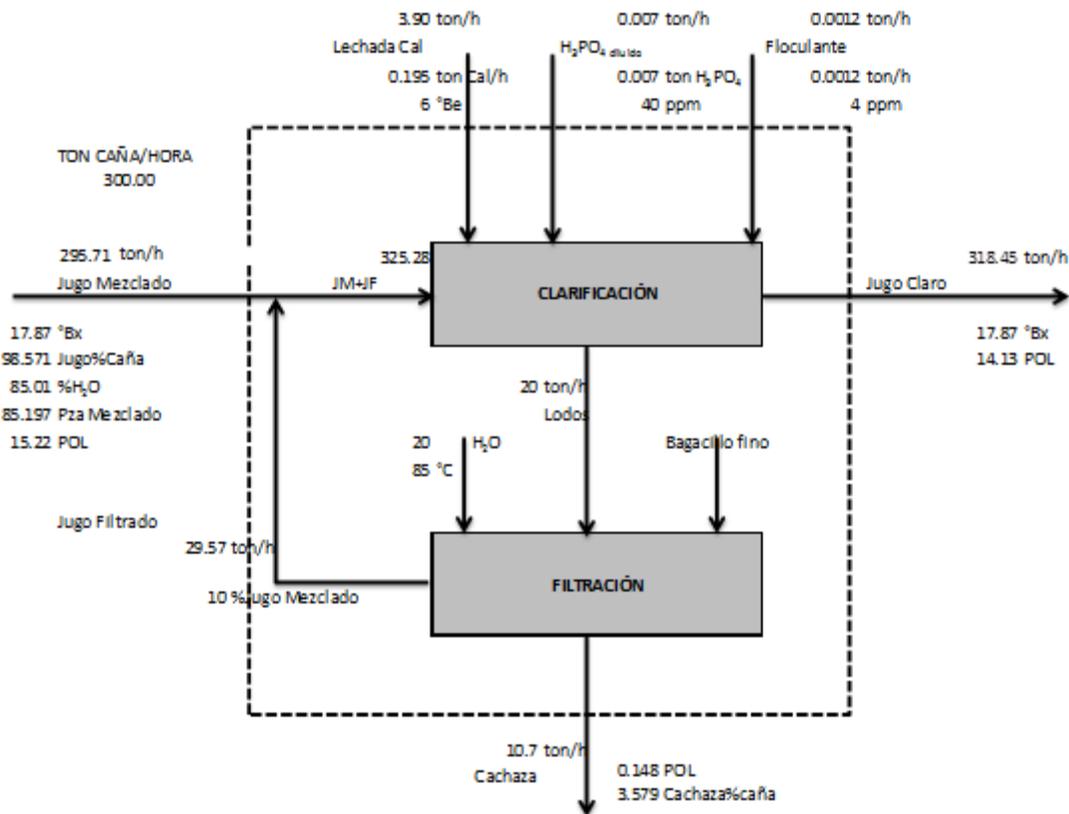


Figura 4.34 Balance de masa de las operaciones unitarias de clarificación y filtración, para una molienda de 300 ton caña/hora y con base en el Plan de Producción Oficial 2011/2012.

Los insumos como la lechada de cal, el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el floculante si presentan diferencia entre el balance ideal y el real; sin embargo, las cantidades que se utilizan de estos insumos no son constantes durante la operación, debido a las diversas

características que presenta el jugo y que deben ajustarse utilizando diferentes cantidades de estos insumos para obtener una alta eficiencia y bajas pérdidas.

Durante las operaciones unitarias de clarificación y filtración, es importante llevar a cabo medidas para obtener alta eficiencia, uso adecuado de insumos y eliminar los flujos contaminantes:

- Verificar que las salidas del jugo claro se encuentren libres de impurezas como cachaza para no afectar el proceso de evaporación.
- Verificar constantemente los niveles de cachaza en el clarificador para programar su descarga a la operación de filtración.
- Verificar que el pH del jugo alcalizado oscile entre 7.5 a 8.4 y el pH del jugo claro entre 6.8 y 7.2.

7. Evaporación

El jugo claro es recibido en la calandria del preevaporador, la cual es alimentada con vapor de escape de las turbinas del área de extracción, para lograr la evaporación de agua del jugo, el vapor obtenido es denominado vapor vegetal y utilizado para alimentar las calandrias de los tachos donde se lleva a cabo la cristalización. Los preevaporadores están equipados con termómetro y manómetro para medir la temperatura y la presión de vapor en la calandria y en el cuerpo del vaso.

El jugo que sale del preevaporador, entra a uno de los dos sistemas de evaporación de cuádruple efecto con los que cuenta el FIEZ; el primer evaporador del cuádruple efecto trabaja con vapor de escape igual que el preevaporador, mientras que en los demás se utiliza el vapor vegetal obtenido del evaporador precedente. El vapor de salida del último efecto es llevado a un condensador barométrico en el que se pone en contacto con agua de enfriamiento para ser condensado (Figura 4.35).

El principal problema de contaminación en esta operación es el arrastre de jugo con el vapor vegetal. No obstante, el equipo de evaporación está equipado con un separador de arrastres de tipo centrífugo cuyo principio es la utilización de cambios bruscos de velocidad, dirección, fuerza centrífuga e impactos sobre un obstáculo para adherir las gotas de jugo a una pared y de esta forma regresen al fondo del evaporador mediante tuberías.



Figura 4.35 Evapores de cuádruple efecto y condensadores barométricos.

Durante la operación unitaria de evaporación, es importante llevar a cabo las siguientes medidas para obtener alta eficiencia, uso adecuado de insumos y eliminar los flujos contaminantes:

- Controlar los arrastres de jugo en el vapor mediante:
 - Control del nivel de jugo en la calandria, una recomendación para detectar posibles derrames de material en los equipos de evaporación es la instalación de controladores de nivel con alarmas y la operación adecuada de la válvula que regula la entrada de jugo al equipo.
 - Evitar subir el vacío a valores más altos de los parámetros de operación establecidos. El peligro de arrastres es mayor cuando el vacío es más alto; por lo tanto, el último vaso del cuádruple efecto es el que presenta los arrastres más perjudiciales.
 - No sobrepasar la capacidad de trabajo del múltiple efecto.
 - Llevar a cabo un mantenimiento adecuado de los separadores de vapor.
- Establecer una temperatura crítica en cada vaso de evaporación, ya que el azúcar del jugo se carameliza si se excede la temperatura crítica, provocando pérdidas de sacarosa por inversión de sacarosa y paros en los equipos para su limpieza. Las temperaturas críticas de los vasos del cuádruple efectos son del FIEZ: 1er Vaso

120°C, 2do vaso 100-110 °C, 3er vaso 90°C y 4to vaso 70°C. La regulación del pH del jugo es otro parámetro importante para evitar pérdidas por inversión de sacarosa, ya que la reacción de inversión es catalizada por ácidos.

- Establecer procedimientos para el arranque, operación, cambio de preevaporador o evaporadores de cuádruple efecto y limpieza química o mecánica de los equipos.
- Realizar capacitaciones y evaluaciones constantes al personal encargado de la operación de los equipos, enfatizando en el cuidado del ambiente; sin dejar de lado la importancia de evitar pérdidas económicas por el manejo inadecuado.
- Disponer de forma adecuada los condensados puros y no puros que son recuperados para evitar contaminación y aprovechar su uso de acuerdo a su calidad.
- Supervisar y corregir fugas o derrames de jugo claro, meladura o vapor en tuberías, bombas, bridas, válvulas o tanques. Debido a que la falta de atención en este problema provoca tanto contaminación como pérdidas irre recuperables y no cuantificables de sacarosa.
- Revisar periódicamente el estado de desgaste de los equipos y monitorear continuamente la eficiencia de los equipos mediante la supervisión de los parámetros de presión de vapor de escape, el vacío del último vaso del múltiple efecto o los registros de limpieza del equipo.
- Supervisar el buen funcionamiento de las trampas de vapor y programar mantenimiento o reemplazo en caso necesario.
- Verificar durante la limpieza de los equipos que los enjuagues se envíen al tanque neutralizador para su tratamiento.
- Realizar un programa de automatización de toda la operación unitaria priorizando las acciones que conducen a mayores errores humanos.
- Reemplazar el lavado de suelo con agua en todo el departamento de evaporación y cristalización por los procesos de limpieza en seco.

8. Cristalización y centrifugación

La operación unitaria de cristalización se lleva a cabo en equipos evaporadores a vacío conocidos como tachos. En los tachos (Figura 4.36a) se obtienen masas con diferentes proporciones de cristales y miel o licor madre, componentes que luego son separados en las centrifugas (Figura 4.36b).

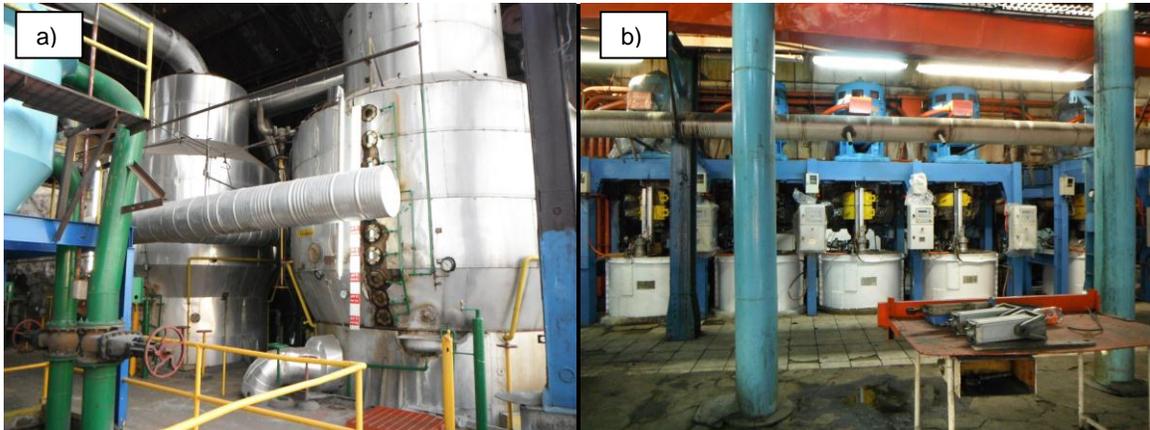


Figura 4.36 a) Tachos, b) Centrifugas

El proceso y el balance de masa de cristalización y centrifugación se presentan en el diagrama de flujo de la Figura 4.37. La meladura proveniente del proceso de evaporación con una concentración de 60 a 65°Bx, se introduce en el tacho A y se obtiene el producto de cristalización llamado masa “A”, la cual es la mezcla de cristales de sacarosa y miel, la masa “A” pasa a través de la centrifuga A, equipo encargado de retener los cristales de sacarosa que serán enviados al proceso de secado y la miel A que se retorna al tacho B para continuar con el proceso de agotamiento de sacarosa.

Al igual que el tacho A, el tacho B es el equipo de la estación de cristalización donde se elabora la masa B a partir de miel y magma C. El producto del tacho B (masa “B”) pasa a través de la centrifuga B, equipo encargado de retener los cristales de sacarosa que serán enviados como semilla (magma B) al proceso de cristalización en el tacho A y la miel B que ingresará al tacho C.

El tacho “C” es el equipo de la estación de cristalización donde se elabora la masa “C” a partir de la miel B, la masa C se lleva al proceso de centrifugación donde se obtiene la miel final y los cristales de sacarosa que serán enviados como semilla (magma C) al proceso de cristalización en el tacho B.

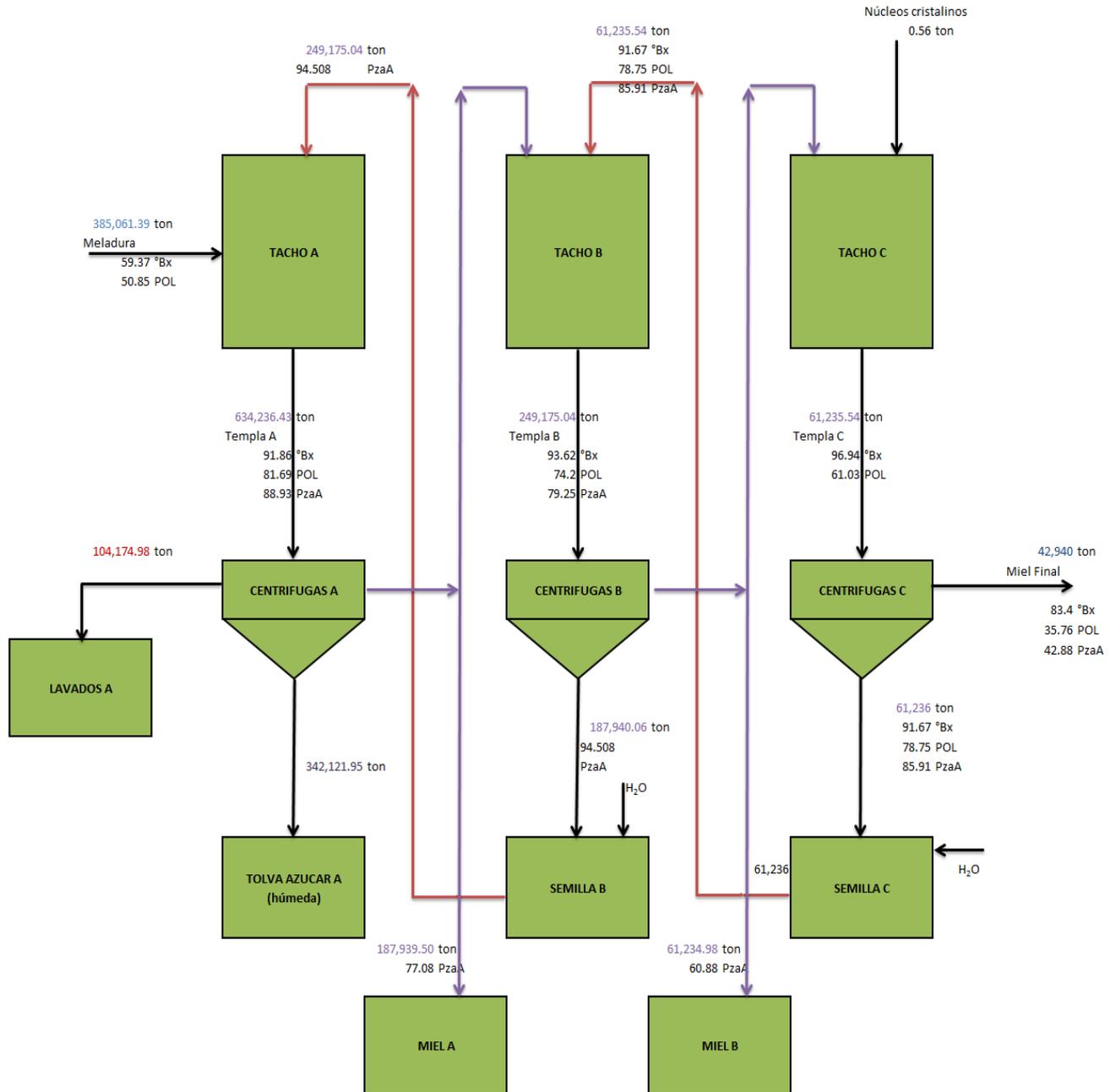


Figura 4.37 Balance de masa de la operación unitaria de cristalización y centrifugación, para el periodo correspondiente a la zafra 2010/2011.

La miel final es el producto de agotamiento final de la sacarosa en el proceso de cristalización y centrifugación de la masa C. La miel final subproducto de estas operaciones unitarias es vendida para la producción de alcohol o como alimento para ganado.

Durante las operaciones unitarias de cristalización y centrifugación, es importante llevar a cabo las siguientes medidas para obtener alta eficiencia, uso adecuado de insumos y eliminar los flujos contaminantes:

- Vigilar la concentración de la meladura alimentada a los tachos al vacío en el rango de 60 a 65°Bx; las altas densidades reducen el consumo de vapor durante la operación de los tachos, pero una densidad demasiado alta puede implicar el riesgo de producir conglomerados y falso grano (Chen J. P. 1991).
- Vigilar constantemente que la presión de vacío, de vapor y temperatura del tacho se encuentren dentro de los siguientes rangos: presión de vacío: 23 a 25 in Hg, presión de vapor: 5 a 14 lb/in², temperatura de: 55.0 a 65.0 °C.
- Controlar los arrastres de cristales durante la operación de los tachos mediante la instalación de controladores de nivel con alarmas y el trabajo de los equipos a la capacidad adecuada.
- Establecer procedimientos para el arranque, operación, fuera de operación y limpieza de los tachos y centrifugas.
- Realizar capacitaciones y evaluaciones constantes al personal encargado de la operación de los equipos, enfatizando en el cuidado del ambiente; sin dejar de lado la importancia de evitar pérdidas económicas por el manejo inadecuado.
- Disponer de forma adecuada los condensados puros y no puros que son recuperados para evitar contaminación y aprovechar su uso de acuerdo a su calidad.
- Vigilar la uniformidad del tamaño de grano en la masa cocida y la viscosidad del licor madre, ya que de estos factores depende la alta eficiencia de la operación de centrifugación. En caso de que los granos no sean uniformes se puede efectuar centrifugación de aceleración lenta y gradual para obtener azúcar de mejor calidad.
- Vigilar los parámetros de velocidad de centrifugación de acuerdo al diámetro de la máquina, ya que si se varía la velocidad, se obtendrá un secado más rápido y más completo a medida que la fuerza centrífuga y velocidad de rotación sea mayor. Por lo tanto, si dos centrifugas idénticas operan con la misma cantidad de masa cocida a diferentes velocidades, la centrífuga que opera a una velocidad mayor terminará su ciclo antes que la otra.

- Vigilar el tiempo de operación de las centrífugas, el cual depende de los siguientes factores (Hugot, 1984):
 - La viscosidad de las mieles, temperatura, densidad y pureza.
 - El tamaño y regularidad de los cristales.
 - La rapidez de aceleración de la máquina, es decir, el tiempo necesario para alcanzar la velocidad de operación.
 - La fuerza centrífuga durante la operación.
 - El tiempo de freno y descarga.
- Supervisar, corregir y recuperar fugas o derrames de meladura o templa en tuberías, bombas, bridas, válvulas o tanques (Figura 4.38). La falta de atención en la corrección de derrames provoca tanto contaminación como pérdidas irre recuperables y no cuantificables de sacarosa.
- Revisar el estado de desgaste de los equipos y monitoreo continuo de la eficiencia de los equipos mediante la supervisión de parámetros de operación como la presión del vapor de escape y vegetal, el vacío del tacho y los registros de limpieza del equipo.
- Realizar un programa de automatización de toda la operación unitaria, tanto de cristalización como de centrifugación priorizando las acciones que conducen a mayores errores humanos.
- Reemplazar el lavado de suelo en todo el departamento de cristalización y centrifugación por los procesos de limpieza en seco.



Figura 4.38 Fugas y derrames en el departamento de cristalización y centrifugación.

Una medida que se ha adoptado para el ahorro de energía en el FIEZ es la instalación de equipo nuevo de centrifugación, el cual tiene un consumo menor de energía (Figura 4.39).



Figura 4.39 Instalación de equipo de centrifugación de alta eficiencia y ahorro de energía.

9. Secado

Después que el azúcar sale de la centrífuga pasa al proceso de secado y enfriado para asegurar su buena conservación en el almacén. Las secadoras y enfriadoras consisten en tambores rotativos (Figura 4.40) a través de los cuales se circula aire caliente a 120 °C y frío respectivamente para deshumedecerlo hasta un 0.045%, al mismo tiempo se extrae, atrapa y descarga en el tanque de granza, el azúcar que no cumple con los parámetros de calidad.



Figura 4.40 Secadores rotativos de azúcar húmeda.

10. Envasado

El área de envasado es de 5.20 x 7.60 m, la velocidad de operación es de 20 sacos/min, los cuales son enviados a la bodega de azúcar por medio de bandas transportadoras (Figura 4.41), pasando al final por un detector de metales para garantizar su inocuidad.

El producto envasado se lleva a las bodegas de azúcar o directamente a los vehículos para su distribución al mercado. El FIEZ cuenta con dos bodegas de capacidad de 13,000 toneladas.



Figura 4.41 a) Área de envasado b) Banda transportadora de sacos de azúcar.

Una medida de recomendación en el área de secado y envasado es vigilar las pérdidas de azúcar, teniendo un mantenimiento adecuado y reparando fugas o la inadecuada operación de los equipos. Además, el departamento en general debe contar con una limpieza integral del departamento para cumplir con los requisitos de calidad y evitar riesgos de contaminación del producto.

4.3.3 Gestión ambiental en la Industria

El FIEZ cuenta un Departamento de Higiene y Seguridad, un Departamento de Mejoramiento Ambiental y un Departamento de Tratamiento de Aguas.

El Departamento de Higiene y Seguridad tiene como objetivos establecer las medidas necesarias de prevención de accidentes y enfermedades, para lograr que la prestación del trabajo se desarrolle en condiciones de seguridad, higiene y medio ambiente adecuados para los trabajadores, conforme a lo dispuesto en la Ley Federal del Trabajo y los Tratados Internacionales celebrados y ratificados por los Estados Unidos Mexicanos en dichas materias.

El Departamento de Mejoramiento Ambiental tiene por objeto establecer e implementar acciones orientadas a dirigir la gestión ambiental de la industria; cuidar el cumplimiento de la normatividad ambiental y prevenir, minimizar y controlar la generación de cargas contaminantes al ambiente.

Gestión ambiental del recurso agua y descarga de agua residual

La gestión en el uso y reúso de agua se encuentra a cargo del Departamento de Tratamiento de Agua, el cual realiza las siguientes funciones:

- Suministrar y acondicionar agua fría y de condensados a las diferentes áreas de la fábrica.
- Llevar a cabo la recuperación y manejo de los condensados que se obtienen durante el proceso para su utilización.
- Acondicionar el agua para calderas para la generación de vapor, con tratamiento químico externo e interno para mantener los parámetros de calidad.
- Llevar a cabo la operación y control del sistema de torre de enfriamiento.
- Llevar a cabo la operación de las bombas de pozos y el suministro del agua extraída para el uso en los servicios generales.
- Llevar el control de la temperatura de las descargas al tanque neutralizador.

El uso de agua en la fábrica se clasifica en agua fría y condensada. El agua fría se extrae de cuatro pozos, la extracción correspondiente a la Zafra 2010/2011 fue de 1,685,522 m³ valor que comparado con el de la Zafra 2010/2011 es 2.79% menor. El agua fría se utiliza

para la generación de vapor en calderas al inicio de la zafra, en los sistemas de enfriamiento de las transmisiones hidráulicas de los conductores de caña, molinos y turbinas, en los turbogeneradores eléctricos, servicios sanitarios, riego de áreas verdes y lavado de pisos del exterior. El reúso se aplica solamente para el lavado de los gases de combustión de las calderas; así como, el enfriamiento y lavado de equipos.

El agua condensada de alta y baja pureza se obtiene de la condensación del vapor generado por las calderas y el vapor vegetal producido en las operaciones de evaporación respectivamente. Es distribuida en diferentes procesos de acuerdo a su calidad; en los procesos de imbibición, elaboración de masa “B” y “C”, en el proceso de clarificación, filtración y cristalización, en el lavado de equipos y pisos interiores de la fábrica y para la generación de vapor en calderas.

El FIEZ cuenta con dos sistemas de circuito cerrado de agua. Un sistema de torre de enfriamiento y dos celdas de enfriamiento (Figura 4.42). La torre de enfriamiento se utiliza para la recirculación de agua en circuito cerrado hacia los condensadores de los tachos y el cuarto vaso del evaporador del cuádruple efecto. Al inicio de la zafra la torre de enfriamiento se abastece con agua fría y se reabastece con la misma hasta que sea necesaria una purga. Las celdas de enfriamiento fueron instaladas en el año 2011 y son utilizadas para recircular el agua de uso de la planta de fuerza, molinos y agotamiento de masas de “C”.

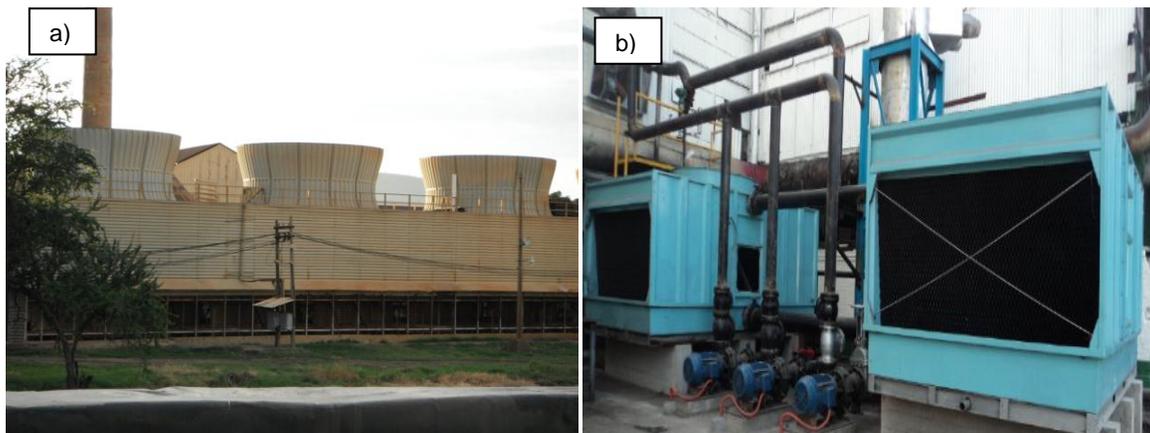


Figura 4.42 a) Torre de enfriamiento y b) Celdas de enfriamiento del FIEZ.

Durante las estancias realizadas en el FIEZ, se apoyo en la identificación tanto de fugas como derrames para la reparación por el personal encargado, además, se identificaron las

tomas de agua que eran utilizadas para el lavado de pisos, para gestionar la clausura de las mismas e implementar el lavado en seco.

Otras actividades realizadas por el FIEZ para el ahorro de agua durante el año 2011, fue la instalación de las celdas de enfriamiento (Figura 4.42b) y la recuperación de líneas de drenaje de los evaporadores para la reutilización de agua en el lavado de los gases de combustión; el conjunto de estas actividades consiguió una disminución de hasta 4000 m³/día del consumo de agua fría o de extracción en la Zafra 2011/2012 respecto a la Zafra 2010/2011, lo cual se aprecia gráficamente en la Figura 4.43.

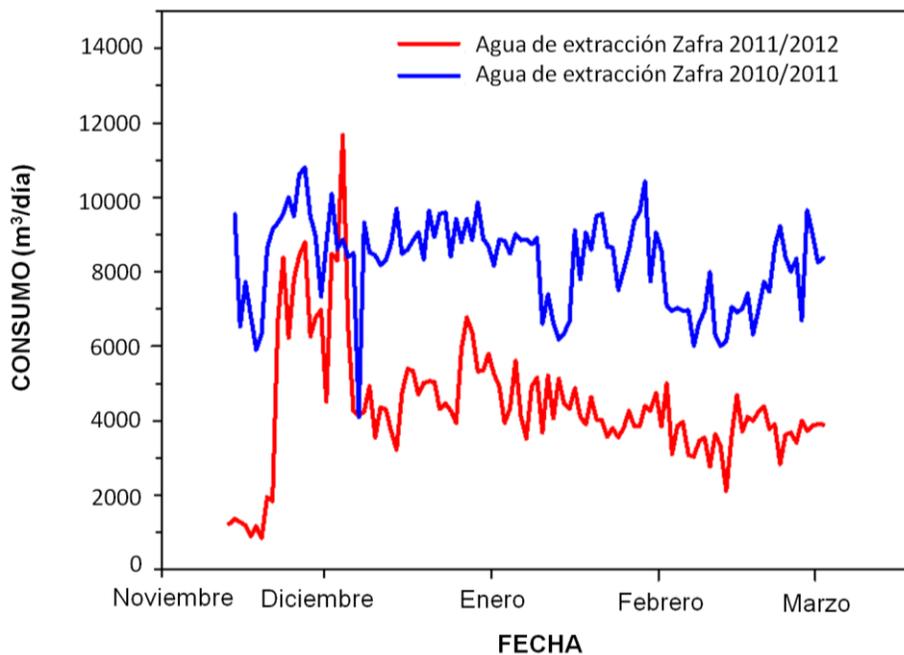


Figura 4.43 Gráfica de comparación de consumo de agua de extracción de la Zafra 2010/2011 y la Zafra 2011/2012.

Las descargas de aguas residuales en el FIEZ son separadas en afluentes de aguas residuales industriales y servicios sanitarios o administrativos; las aguas residuales industriales son destinadas a uso agrícola y la descarga sanitaria se vierte al Sistema de Drenaje Municipal. La descarga de agua residual industrial durante la Zafra 2010/2011 fue de 1,949,900 m³ y la descarga de agua residual de servicio sanitario y administrativo fue de 284,276 m³.

La descarga de agua residual industrial y de servicios de la Zafra 2010/2011 respecto de la Zafra 2009/2010 tuvo una disminución del 14.3% y del 0.46% respectivamente; esta

disminución se ha logrado por el reúso de un mayor porcentaje de los condensados producidos en las diferentes operaciones unitarias; no obstante, esta estrategia puede seguir implementándose y mejorando; ya sea mediante el estableciendo de más circuitos cerrados de agua y el cumplimiento de las medidas descritas anteriormente para obtener alta eficiencia durante la operación y por lo tanto la obtención de condensados de mejor calidad.

Antes de disponer el agua residual industrial en el uso agrícola, se realiza un tratamiento convencional para la eliminación de grasas y aceites; sí como, regulación del pH; posteriormente es llevada por medio de un canal hacia los campos donde es aprovechada (Figura 4.44). Actualmente se abastece a 650 ha de campo cañero en la zona sur de Zacatepec, con un caudal promedio de 135L/s.



Figura 4.44 Canal de agua residual del proceso de producción de azúcar.

La gestión del uso de agua residual industrial en el riego agrícola fue establecida con base en estudios realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en el año 2010; mediante los cuales se evaluó el suelo como sistema natural de tratamiento no convencional (humedal artificial de flujo intermitente) de agua residual; así como, el diseño y evaluación del sistema de riego superficial para minimizar los escurrimientos superficiales y la percolación profunda y el estudio de la dinámica y calidad de las aguas freáticas en el área de estudio (Figura 4.45).

Los parámetros del agua residual del FIEZ se presentan en la Tabla 4.5, en la cual se comparan con los límites máximos permisibles de la descarga al suelo y uso en riego agrícola de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

Tabla 4.5 Parámetros del agua residual industrial del FIEZ en promedio mensual correspondientes al año 2011

Parámetro	LMP*	Resultados 2011												Unidades
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep-tiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Arsénico	0.2	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	mg/L
Cadmio	0.05	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	mg/L
Cianuros	2.0	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	mg/L
Cromo	0.5	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	mg/L
Cobre	4.0	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	mg/L
Fósforo total	NA	11.17	16.017	7.98	21.02	22.351	17.364	8.49	18	3.047	10.44	13.12	5.976	mg/L
Mercurio	0.005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	mg/L
Níquel	2.0	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	<0.800	mg/L
Plomo	0.5	<0.200	<0.200	<0.200	<0.200	<0.200	<0.200	<0.200	<0.200	<0.200	<0.200	<0.200	<0.200	mg/L
Zinc	10	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	mg/L
DBO	NA	126.34	129.63	124.4	126.06	136.12	149.23	88.3	101.69	134.67	71.84	72.38	103.52	mg/L
SST	NA	100	105	100	100	110	120	75	75	110	60	65	80	mg/L
SS	NA	2	2	2	2	2	2	2	2	1.5	0.5	1	2	mL/L
Coliformes fecales	1000	305	1167	556	1166	1239	1165	1373	1089	1538	1604	1553	1573	NMP/100mL
Huevos de helminto	5	1	3	1	2	4	3	4	3	4	4	5	0	Huevos/L
Nitrógeno Total kjeldahl	NA	29.12	32.26	24.34	24.92	13.13	33.58	15	14.08	18.01	21.19	21.75	14.56	mg/L
DQO	-	287.19	285.2	281.21	279.21	225	350	211.2	235.33	295.17	163.54	159.55	237.7	mg/L

*LMP (Límite Máximo Permisible) correspondiente a la Norma NOM-001-SEMARNAT-1996



Figura 4.45 Sistema de riego agrícola con agua residual del FIEZ.

El uso de agua residual industrial del Ingenio en el riego agrícola proporciona beneficios al suelo, por el alto contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo; por lo que, esta práctica se realiza en la mayoría de los Ingenios del País; no obstante, es importante contar con estudios de la dinámica y calidad de las aguas freáticas en el área donde se aplica agua residual para vigilar posibles arrastres de contaminantes y tomar medidas preventivas o correctivas en caso de encontrar concentraciones elevadas de componentes perjudiciales a la salud.

El FIEZ cuenta con 18 pozos de monitoreo de calidad de agua a nivel freático, con los cuales se tiene una vigilancia constante del aprovechamiento responsable del agua residual, en la Figura 4.46 se presentan dos ejemplos de pozos de observación.



Figura 4.46 Pozos de monitoreo de calidad de agua a nivel freático, de la zona cañera que se abastece con agua residual del FIEZ.

Gestión ambiental de residuos sólidos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos

En el FIEZ se generan residuos sólidos producto de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades productivas, de limpieza y de productos que se consumen y de sus envases, embalajes o empaques; durante la Zafra 2010/2011 se generaron 133.59 ton de residuos sólidos con un promedio diario de 1 ton. Los residuos sólidos son transportados hacia el tiradero municipal con una frecuencia diaria y a partir de la zafra 2011/2012 son cuantificados (Figura 4.47a).

Como medida para mejorar la gestión en el manejo de los residuos sólidos durante las estancias realizadas en conjunto con el Departamento de Mejoramiento Ambiental se apoyo en la instalación de botes de separación de basura, con la clasificación en orgánicos, inorgánicos, plásticos, cartón y papel (Figura 4.47b).



Figura 4.47 a) Recolección diaria de residuos sólidos y b) Botes para la separación de residuos sólidos

Además de la instalación de los botes de basura se llevaron a cabo pláticas cortas con los trabajadores del Ingenio y la circulación de trípticos de información para la separación adecuada de los residuos y el buen funcionamiento de los botes de basura. Durante los meses de diciembre de 2011 a marzo de 2012 se observó una disminución en la cantidad de residuos sólidos generados de hasta un 50%, esta disminución se asocia a la correcta separación de basura, que dio oportunidad al aprovechamiento de los residuos sólidos, mediante la recuperación y venta por parte del mismo personal de la planta.

Como parte de la gestión de residuos sólidos se implementó en conjunto con el Departamento de Mejoramiento Ambiental un Programa Integral de Limpieza en toda la

planta, mediante la asignación de responsabilidades al personal encargado de las actividades de limpieza y recolección de residuos; estas actividades fueron supervisadas durante las estancias en el FIEZ (Figura 4.48).



Figura 4.48 a) Limpieza del área de centrifugación, b) limpieza del área de clarificación.

Los residuos de manejo especial son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos y que son producidos en grandes cantidades.

El principal residuo de manejo especial es el bagazo, el cual es utilizado como combustible en las calderas, la cachaza es el segundo residuo especial más importante y es utilizado en campo como mejorador de suelo junto con los residuos de materia orgánica de batey con un tratamiento previo de composta; finalmente la ceniza es utilizada en la compactación de terrenos. Durante la operación, camiones de volteo llevan a cabo el acarreo de los residuos de manejo especial a campo (Figura 4.49).

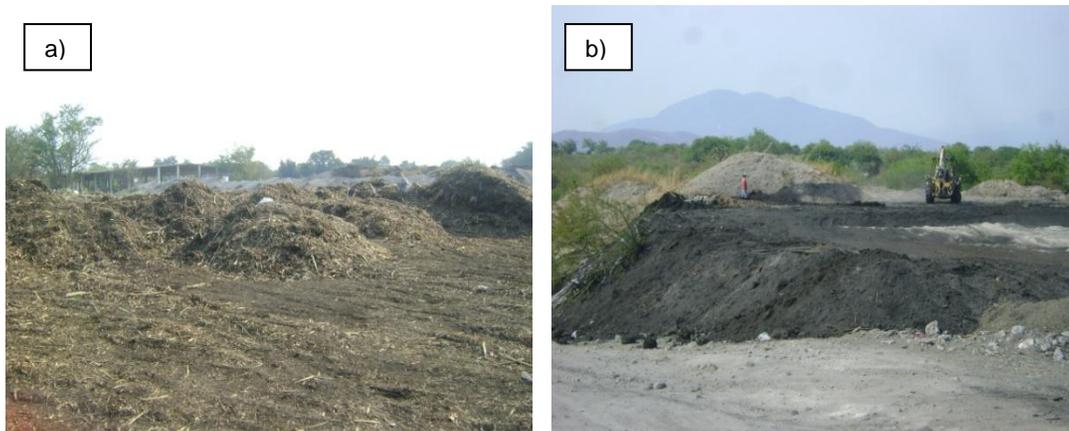


Figura 4.49 a) Cachaza en campo, b) Reúso de ceniza como relleno de terreno en minas.

Las cantidades de residuos especiales y de residuos sólidos generados durante la Zafra 2010/2011 se presentan en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Cantidad de residuos sólidos y de manejo especial generados en el FIEZ durante la Zafra 2010/2011.

Residuo	Cantidad (ton)
Lodos provenientes de clarificación de jugo	47,736.00
Residuos de la materia prima	923.21
Cenizas de calderas	14,654.88
Residuos sólidos	133.59

Los residuos peligrosos generados por el FIEZ son aquellos que poseen alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.

Actualmente el FIEZ se encuentra registrado como pequeño generador de residuos peligrosos ante la SEMARNAT, debido a que genera una cantidad mayor a 400 kg y menor a 10 ton en peso bruto total de residuos peligrosos al año. En la Tabla 4.7 se presentan los tipos y cantidades de residuos peligrosos generados durante el año 2010 y 2011.

Tabla 4.7 Residuos peligrosos generados durante el año 2010 y 2011

Residuo Peligroso	Cantidad 2010 (ton)	Cantidad 2011 (ton)
Lámpara fluorescente	0.63	0.60
Grasa con bagacillo y agua	1.5	0.75
Papel filtro impregnado con subacetato de Plomo	0.55	1.04
Estopa impregnada con grasa y aceite	1.44	2.3
Foco	-	0.56
Total	4.12	5.25

En las instalaciones del FIEZ se cuenta con un almacén temporal de residuos peligrosos (Figura 4.50), donde se sitúan los residuos mientras se lleva a cabo el transporte y disposición final.



Figura 4.50 a) Almacén temporal de residuos peligrosos b) Forma de almacenamiento de filtros con sub-acetato de plomo

El manejo de los residuos peligrosos se lleva a cabo por el departamento que ha generado residuo; por ejemplo, el Departamento Eléctrico es el encargado del manejo de las lámparas fluorescentes hasta el almacén temporal de residuos peligrosos y el Departamento de Mejoramiento Ambiental es el encargado del control de ingreso al almacén temporal de residuos peligrosos.

Es importante capacitar al personal encargado de recolectar y acarrear los residuos peligrosos hacia el almacén temporal; establecer puntos de control de los residuos peligrosos, la planificación de la ruta que se deberá recorrer para llevar de un sitio a otro los residuos dentro del FIEZ y contar con los registros de estos procedimientos para evitar accidentes.

El transporte y disposición final de los residuos peligrosos se realiza cada seis meses por una compañía certificada ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

4.4 Medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera de México

En este apartado se presentan las medidas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental en campo y en la industria azucarera. Las medidas fueron obtenidas como resultado de las estancias realizadas en el Caso de Estudio FIEZ y complementadas con las guías de producción más limpia y mejores prácticas ambientales del sector azucarero existentes:

- Guía de Evaluación Industrial para la Prevención de la Contaminación y Eficiencia Energética de la US EPA (US EPA, 2001).
- Guía Ambiental para el Subsector de Caña de Azúcar del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Sociedad de Agricultores de la República de Colombia (MAVDT, 2005).
- Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector azucarero del Ministerio de Medio Ambiente de España y El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MMA, 2006).
- Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México (SAGARPA, 2007).
- Guía de Producción más Limpia para el procesamiento de la caña de azúcar del Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras (CNP+LH, 2009a).
- Guía de buenas prácticas ambientales para el procesamiento de caña de azúcar del Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras (CNP+LH, 2009b).
- Guía de Producción Más Limpia en Ingenios Azucareros del Centro Mexicano de Producción más Limpia (CMP+L, 2011).

Las medidas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental que se presentan a continuación pueden ser implementadas en los Ingenios Azucareros del país para mejorar su desempeño ambiental.

Cabe señalar que las medidas presentadas están siendo implementadas actualmente por el FIEZ y han tendido beneficios ambientales medibles como se ha explicado anteriormente. Además, con la práctica de estas medidas se planea la obtención de la certificación ISO 14001:2004 a largo plazo.

4.4.1 Medidas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental en el Campo Cañero

Los impactos ambientales originados por el cultivo de caña de azúcar pueden ser minimizados mediante la adopción de buenas prácticas de agricultura, lo cual se ve asociado a beneficios económicos hacia el productor a través de la reducción de insumos.

En 30 Ingenios del País, se está llevando a cabo *El Proyecto Nacional de Alta Rentabilidad para la Transformación del Campo Cañero Mexicano (PRONAR 2009)*. Este proyecto está sustentado en los 10 pasos para la alta rentabilidad de campo (SAGARPA, 2009b) y está siendo implementado por medio de Unidades Compactas Cañeras de Alta Rentabilidad y Transferencia Tecnológica (UCCARETT) donde se llevan a cabo las buenas prácticas de campo y se demuestra al productor su eficacia.

Las medidas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental, que pueden ser aplicadas en los Ingenios del país, así como las acciones necesarias para implementarlas se presentan a continuación:

1. Impulsar el cambio de mentalidad del cañero para el éxito en la implementación de buenas prácticas de campo:

La resistencia al cambio por falta de credibilidad del productor hacia cualquier programa para mejorar su productividad en campo puede ser atacada por medio de cursos de capacitación y la demostración de los beneficios de las buenas prácticas de campo en zonas de estudio específicas o delimitadas a este propósito.

2. Preparar adecuadamente el suelo para la siembra:

La alta productividad del campo (toneladas de caña/ hectárea) depende inicialmente de la preparación adecuada del suelo, la cual se puede obtener mediante las siguientes acciones:

- Labranza específica por sitio y uso de maquinaria que ejerza menor presión sobre el suelo, uso de tractores con llantas de alta flotación.
- Realizar un diagnóstico del suelo y factores limitantes para conocer sus características y aplicar los elementos realmente necesarios para el buen desarrollo del cultivo.

- El uso de multiarado facilita el acopio de agua y retención de humedad.
- Realizar dos o tres pasos de rastra según sea el caso y tipo de suelo, que permita eliminar maleza existente y picar residuos de cosechas anteriores.
- Aprovechar los residuos de la cosecha anterior mediante su incorporación al suelo como materia orgánica.
- Utilizar acondicionadores de suelo como cachaza, biosólidos, composta etc.
- Determinar la fecha ideal de siembra para obtener alta densidad de producción. Esta acción garantiza más de la mitad de la producción y cada región debe analizar y definir la fecha idónea. Un ejemplo exitoso de esta práctica aplicada en el Estado de Jalisco se muestra en la Tabla 4.8.
- Construir o mejorar los drenajes existentes en zonas húmedas y suelos pesados.

Tabla 4.8 Alta densidad y fecha ideal de siembra en Jalisco

Fechas	Producción probable ton	Pérdidas en ton
Junio y Julio	200	00
Agosto	195	05
Septiembre	185	15
Octubre	170	30
Noviembre	160	40
Diciembre	150	50
Enero	140	60

Por otro lado, para obtener una buena población de plantas por metro y con esto aumentar el rendimiento, se recomienda además del adecuado tratamiento a la semilla, el “Sistema tipo Piña” o “Doble Surco” el cual ha dado los mejores resultados con un incremento de 20 a 30 ton extras por hectárea debido a que se aprovecha al máximo los terrenos no dejando espacios sin plantas, es compatible con la cosecha mecanizada y pisado de los camiones (SAGARPA, 2009b).

La mecanización del campo es una de las limitantes de esta medida; a nivel nacional se ha desarrollado un estudio sobre las necesidades de mecanización del campo cañero llevado a cabo por la SAGARPA y el Colegio de Postgraduados (COLPOS) en el cual destacan la necesidad de por un programa continuo de capacitación en el mantenimiento, operación y planeación de carácter teórico-práctico, que permita utilizar eficientemente la

maquinaria, equipos de transporte y cosecha existentes, antes de implementar un programa de renovación y reparación de equipos (COLPOS-SAGARPA *et al*, 2010).

Los equipos con los que se cuenta en campo con una utilización menor a 5 años se encuentran en estado mecánico deplorable porque sus condiciones mecánicas y operativas en la práctica no tienen calidad. Los principales equipos identificados con estas características durante el estudio de COLPOS-SAGARPA son: tractores, alzadoras, carretas cañeras y la mayoría de implementos (arados, rastras, equipos de subsuelo, surcado, fertilización y de siembra).

El 85 % de los implementos para las labores de preparación de suelos y cultivo de caña de azúcar, presentan un grado de obsolescencia mayor a 10 años y el 70% de los equipos adquiridos a través de programas gubernamentales, no se ajustan a las necesidades del campo cañero mexicano, por lo que algunos implementos y tractores son abandonados y retirados de la labores (COLPOS-SAGARPA *et al*, 2010).

3. Mejor gestión en el uso de agroquímicos:

La gestión adecuada del uso de agroquímicos inicia con una fertilización balanceada. Durante más de 40 años se aplicaron a las casi 700,000 ha cañeras del país solamente 4 formulas de fertilizantes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) (SAGARPA, 2007). Sin embargo, la caña de azúcar requiere de 16 nutrientes; tres de ellos Carbono, Hidrógeno y Oxígeno los toma del aire pero los demás los toma de la raíz, por lo tanto la fertilización balanceada es necesaria para la alta productividad. Además la gestión adecuada en el uso de agroquímicos contempla:

- Aplicar las dosis de agroquímicos requeridas y en el momento oportuno.
- Revisar especificaciones de preparación de agroquímicos antes de ser aplicados; por ejemplo, cuando se deben disolver comúnmente se utiliza indistintamente agua de río o potable pero se desconocen los parámetros del agua que pueden afectar a la efectividad del agroquímico como el pH.
- Realizar un procedimiento de gestión integral de residuos peligrosos, como los envases que han contenido agroquímicos.
- No realizar lavado de los equipos y recipientes o envases en inmediaciones a fuentes de agua y no aplicar productos agroquímicos cuando se presenten lluvias.

- Considerar la dirección y velocidad del viento, así como temperatura ambiente en el momento de efectuar las aplicaciones de agroquímicos, evitando las horas del día con altas temperaturas.
- Informar a la comunidad de los alrededores de la aplicación de agroquímicos con anticipación para que tomen medidas preventivas de exposición.
- Delimitar y conservar las áreas en donde existan especies de flora y fauna diferentes a las establecidas en cultivos de caña.

Las necesidades del campo actualmente se puede conocer mediante una estrategia desarrollada por el COLPOS para la SAGARPA, la cual consiste la digitalización del campo cañero para alcanzar la agricultura de precisión de la caña de azúcar considerando los siguientes elementos: estudios de suelo y cartografía digital detallados; utilización de red de estaciones agroclimáticas y sensores de humedad de suelos; georreferenciación del campo; establecimiento de módulos de administración de datos y de unidades de capacitación virtual y monitoreo satelital continuo (COLPOS-SAGARPA, 2008).

Los sistemas de información geográfica se van desarrollando para cada Ingenio del país y es una herramienta útil para conocer las características del suelo y aplicar los agroquímicos que son realmente necesarios y es de libre acceso a través del Sistema Nacional de Información de la Agroindustria Azucarera.

4. Seleccionar variedades de caña y semillas adecuadas:

Los programas de producción de nuevas variedades deberán llevarse a cabo con los productores en coordinación con el Ingenio en campos bien encalado, regados, con los nutrientes suficientes y sin problemas de plagas o malezas, donde la pureza vegetal esté bien definida para que garantice una buena semilla. Un ejemplo de esta labor en el FIEZ se presenta en la Figura 4.51.

Para el ahorro de los costos de la semilla es necesario contar con campos semilleros cercanos a los campos que abastecen de caña al Ingenio; por lo tanto es necesario el estudio de variedades prometedoras que demuestren adaptación, buen desarrollo, menor porcentaje de floración, resistencia a enfermedades y las características principales de la caña de buena calidad (Tabla 4.9).

Además es necesario utilizar las variedades con alto potencial para concentrar sacarosa en condiciones naturales y cosecharlas en el momento de óptima maduración.



Figura 4.51 Experimento de adaptabilidad de variedades de caña prometedoras para la zona del FIEZ.

Tabla 4.9 Principales características de la caña de buena calidad

Características agronómicas	Aspectos morfológicos	Calidad del jugo
Alta producción	De fácil manejo	Alto % de azúcar recuperable estimado
Alto tonelaje de azúcar/ha/año	De hábito erecto	Caña fresca
Maduración uniforme	De crecimiento uniforme	Caña limpia
Buen vigor	Buen despaje	Sin daños (plagas y enfermedades)
Desarrollo rápido y uniforme	Dureza del tallo	Caña madura
Buena germinación	Tallos largos	Alto nivel de sacarosa
	Entrenudos largos	Alta pureza
		Baja fibra

5. Mejor manejo de agua y drenaje:

Más del 95% del agua que toma la planta, la utiliza en el proceso de transpiración que se da a través de los estomas en las hojas, el elemento que regula la cantidad de agua que sale por estas células es el potasio, que además es indispensable para formar azúcar por lo que este nutriente es vital en la eficiencia del agua.

La superficie de caña bajo riego a nivel nacional representa aproximadamente el 40% de la superficie cultivada, mientras que el temporal representa el 60%. El rendimiento promedio de caña bajo riego es de 92.40 ton/ha, en temporal el rendimiento es de 64.0 ton/ha. Así, el rendimiento en riego es 44% superior al de temporal (COLPOS-SAGARPA, 2010).

El sistema de labranza es importante para el ahorro de agua y por tanto es importante subsuelear para que el agua no corra sino penetre; por otro lado, la materia orgánica en el suelo es relevante para que se retenga el agua y no se evapore.

La tecnificación del riego a nivel parcela incrementa el rendimiento promedio en 29 ton/ha, debido a que se incorporan sistemas de riego por multicompuertas, presurizados (aspersión, cañones, pivotes) e inclusive goteo; para zonas que no tienen una nivelación adecuada los sistemas presurizados son altamente recomendables (COLPOS-SAGARPA, 2010).

En el riego por aspersión es necesario cuidar la fuerza del viento para evitar la desproporción en la lámina de riego. La aplicación de nitrógeno a través del riego por aspersión es de las últimas aplicaciones como fertirrigación.

El sistema de riego por goteo técnicamente es superior a cualquier sistema, por su distribución, gasto de agua y eficiencia en la nutrición; no obstante, es uno de los más costosos y debe considerar que su implementación requiere un cambio de las labores culturales realizadas en forma tradicional y una mejor capacitación del productor para poder operar ese sistema de manera adecuada.

El riego debe programarse de acuerdo a las necesidades de la planta, en las cantidades adecuadas y en la medida de las posibilidades reutilizar sobrantes de agua si las condiciones técnicas y de calidad así lo permite.

El sistema de acolchado cañero es una de las tecnologías más recientes en el uso eficiente del agua y consiste en colocar entre el surco de cultivo una película plástica (Figura 4.52) diseñada con resinas, pigmentos y aditivos especiales. Las ventajas que destaca esta tecnología es la reducción de la erosión del suelo, el incremento del rendimiento, prevención de la aparición de maleza por el bloqueo de rayos UV, lo que se traduce en un uso eficiente de fertilizantes por lo tanto reducción de gastos, uso más

eficiente del agua por la retención de humedad y perforaciones especiales para lograr una distribución eficiente a lo largo del surco con un gradiente de riego uniforme.

De acuerdo a un estudio realizado por el COLPOS y SAGARPA “*Estudio de gran visión para la identificación de necesidades de riego y drenaje en las zonas de abasto cañeras y propuestas de tecnificación en zonas potenciales como base para el desarrollo de proyectos de inversión*”; el uso de aguas industriales del Ingenio en el uso agrícola presenta una gran oportunidad ya que aporta nutrientes al suelo y los contenidos de metales encontrados en el agua de entrada y salida de los ingenios no rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-ECOL-1996, para uso en suelo por medio del agua de riego en cinco Ingenios estudiados (La Constancia, La Gloria, La Providencia, San José de Abajo y Tres Valles) (COLPOS-SAGARPA, 2010).



Figura 4.52 Sistema de acolchado cañero (SAGARPA 2009b).

Finalmente al realizar un proyecto de riego debe considerarse, además de la disponibilidad de agua, el acceso a la corriente eléctrica necesaria para operar las fuentes de abastecimiento así como los sistemas de riego. Sin embargo, la elección dependerá de las condiciones del lugar, principalmente factores como topografía, tipo de suelo, velocidad del viento, superficie a regar, fuente de agua y disponibilidad de energía (COLPOS-SAGARPA, 2010).

6. Manejo integrado de plagas y malezas:

Las plagas más comunes de la caña de azúcar son barrenador del tallo (*Diatraca spp*), gallina ciega (*Phillophaga spp*), rata de campo (*Sigmoden hispidos*) y la tuza (*Cratogeomys castanops*). Para prevenir la formación de huevecillos es necesaria la

preparación correcta del suelo, posteriormente pueden prevenirse con aplicaciones de fertilizantes al suelo al momento de la siembra, o con aplicaciones en banda. En el caso de rata se recomienda aplicar cebos envenenados (SAGARPA, 2009b).

Es necesario promover la utilización del control biológico con el objeto de reducir cada vez más el uso de productos químicos, por lo que es conveniente generar las condiciones para el desarrollo de predadores y hacer aplicaciones del hongo *Metarhizium anisopliae* y *Bervaria bassiana* contra la gallina ciega, directamente al suelo durante la preparación o en la mezcla con el fertilizante en la primera dosis para que se incorpore al suelo, además de *Avispita Tricograma (Trichogramma ssp)* contra el barrenador del tallo (SAGARPA, 2009b). Sin embargo, la introducción de nuevas especies debe ser cuidadosamente estudiada en cada zona, porque puede tener efectos adversos sobre el ecosistema.

Para el control de malezas en socas es necesario destroncar, subsuelar, fertilizar, regar e inmediatamente aplicar el herbicida preemergente y no mover el suelo, debido a que la maleza es de ciclo mucho más corto que la caña y crece más rápido; por lo tanto, su demanda de necesidades es mayor en los primeros 60 a 70 días cuando el pelillo (extremos de la raíz por donde absorbe la planta los nutrientes) de la caña se encuentra en desarrollo. Un factor importante para usar eficientemente el producto es usar la dosis correctamente por hectárea, considerando el tipo de suelo y la humedad (SAGARPA, 2009b).

7. Preparar adecuadamente la cosecha

Antes de llevarse a cabo la cosecha, es necesaria la aplicación de maduradores para concentrar la sacarosa y hacer madurar la caña hasta las últimas secciones; sin embargo, la maduración natural puede promoverse por la suspensión de riego.

El periodo para la suspensión del riego antes de la cosecha depende del mes o temporada en que se corte y del tipo de terreno; por ejemplo, para las cañas que se cortan en noviembre, diciembre y enero, es importante y conveniente suspender los riegos de 30 a 40 días antes de la cosecha en terrenos ligeros (arenosos) y en terrenos pesados de 40 a 45 días antes, aunque algunos requieren hasta 60 días. En cañas programadas para ser cosechadas en febrero y marzo, es conveniente suspender los riegos entre 25 y 30 días máximos, debido a que estos meses son más calurosos y los terrenos se resecan más rápido. Para cañas programadas para cosechar en abril, mayo y

junio deberán suspenderse los riegos 20 días antes y no deberán exceder de los 30 días ya que estos meses son los de temperaturas más altas y las cañas se deshidratan más rápido, perdiendo calidad y peso.

Además de una adecuada preparación de la cosecha mediante el estudio y programación de la cosecha de acuerdo a su maduración; es necesario durante el corte cuidar que se realice de forma adecuada al ras del suelo, de lo contrario son kilos que se quedan en campo donde se encuentra el mayor porcentaje de sacarosa.

8. Promover la cosecha mecanizada en verde y mejorar la cosecha manual:

La cosecha mecanizada se realiza en un 20% de la superficie zafable del país, debido principalmente a tres factores: campos no planificados para cosecha mecánica, tamaños de los lotes de cosecha y pedregosidad. Se requiere incrementar el número de cosechadoras en 200% respecto de las existentes, pero primero se deben compactar, nivelar y en su caso hacer un despedrado del suelo, contar con superficies compactas mínimas de 50 ha, con longitudes de surcos mayores a 250m y con espaciamientos entre surcos óptimas para cosecha mecánica (COLPOS-SAGARPA *et al*, 2010).

Las ventajas del corte de caña en verde son: aumento de la producción de caña de azúcar por hectárea de 8 a 10 ton, aumento del valor de la tonelada de caña al mejorar la calidad de los jugos y el porcentaje de sacarosa de 0.5 a 1% lo cual significa entre 20 y 25 pesos más por tonelada aproximadamente (SAGARPA, 2009b), mejora la calidad del ambiente evitando la quema de la planta..

Además, los residuos de la caña de azúcar que ha sido cortada en verde sirven como forraje para el ganado y de abono al suelo, incorporándolos como materia orgánica al suelo con la adición de sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) evitando que sean quemados.

En la cosecha manual es necesario llevar un estricto control mediante manuales o procedimientos, para efectuar la quema con un plan de contingencia en caso de incendio; respetar los horarios de quema, controlar el tamaño del área a quemar; quemar en condiciones de baja humedad relativa y baja humedad de la caña; efectuar las quemas con las condiciones meteorológicas óptimas y eliminar la requema; programar y supervisar la quema por profesionales y establecer cuotas de compensación en caso de daños a cultivos vecinos.

9. Reducir el porcentaje de impurezas de la caña durante su recolección:

El porcentaje de impurezas del corte manual oscila entre 1.5 – 2% mientras que en el corte mecánico es de alrededor del 6.5%. Para disminuir este porcentaje en el corte manual es necesario estimular a los cortadores, ya sea aumentando el precio por tonelada de caña cortada o con premios que inciten una mejor labor en el corte, otorgados con base en evaluaciones diarias.

La reducción de impurezas en el corte mecanizado se puede lograr con una siembra adecuada para el acomodo de las cosechadoras, respetando la distancia entre surcos, con la selección correcta de la variedad de caña respecto a los aspectos morfológicos, como la dureza del tallo, fácil despaje y hábito erecto.

10. Disminución de emisiones de partículas y gases contaminantes; así como, residuos durante el acarreo de caña del campo hacia el Ingenio:

Se recomiendan las siguientes acciones para la disminución de las emisiones de partículas, gases contaminantes y residuos durante el acarreo de la caña:

- Cubrir con material inerte las zonas de salida de los predios para disminuir el arrastre de polvo y la emisión de partículas. Utilizar diesel de bajo contenido de azufre en los camiones y maquinaria que se utilizan para el corte y acarreo
- Sembrar variedades de caña con baja producción de residuos y alta concentración de sacarosa. No cosechar mecánicamente en épocas húmedas o con abundante precipitación.
- Utilizar de forma adecuada los vehículos de transporte, llenarlos hasta el límite adecuado de carga, utilizar bandas para amarrar la carga o cubrir la carga de manera que la caña no se disperse a lo largo del recorrido. Controlar los horarios de circulación de maquinaria y vehículos de acarreo de caña y utilizar rutas específicas que permitan optimizar el transporte, disminuyendo tiempo y distancia recorrida.
- Disminuir la cantidad de camiones para el acarreo de caña de acuerdo a las necesidades y capacidad de la planta. El equipo de transporte más empleado para el transporte de caña a nivel nacional es el tipo torton (75%), sin embargo en los ingenios del país, existe un excedente del 60 % de camiones, situación que provoca aumentos en el costo de los fletes, disminución de la frescura y por consiguiente, baja producción de azúcar (COLPOS-SAGARPA *et al*, 2010).

4.4.2 Medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental en la Industria

Las medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera se presentan con la siguiente clasificación de acuerdo a la metodología establecida:

1. Reducción en la fuente o Prevención de la contaminación.
2. Minimización de los contaminantes generados en materia de agua, aire y energía, suelos y residuos.
3. Control para los contaminantes generados en materia de gestión ambiental, agua, aire y energía, suelos y residuos.

Dentro de las medidas recomendadas en la primera categoría **Reducción en fuente o prevención de la contaminación** se clasifican en dos categorías: cambios en los productos y cambios en los procesos:

A. Cambios en los productos:

La producción de etanol, la generación y cogeneración de energía, productos químicos, mieles intermedias y alimentos para ganado, como productos principales además del azúcar puede hacer más versátil, económica e independiente a la industria generando nuevas producciones que abrirían nuevos mercados; convirtiéndose en una agroindustria multipropósito y multiproductiva (Enríquez, 2008, 2001). Sin embargo, aunque se han obtenido resultados importantes en este sentido, no han sido en su totalidad exitosos en varias regiones cañeras de México por la tradición de ver a la caña como productora exclusiva de azúcar (Aguilar *et al*, 2009).

I. Producción de etanol

En México, desde hace varios años, se produce Etanol de Caña de Azúcar a partir de melaza en los diferentes Ingenios del País que cuentan con destilerías (12 Ingenios), sólo que su uso es para bebidas embriagantes e industriales, no para uso en combustibles. La producción de Etanol ha venido disminuyendo en México, en 1988 se llegó a producir 70 millones de litros, en el 2008 sólo se producían 19.4 millones de litros y en el 2010, 11.8

millones de litros (CNIAA, 2011), con una eficiencia nacional de 13.13% respecto a la capacidad instalada (SAGARPA, 2010).

De acuerdo a un estudio realizado por la SAGARPA en conjunto con el Colegio de Postgraduados (COLPOS), para la producción de biocombustibles en el país a partir de Caña de Azúcar (SAGARPA, 2010), el factor humano sería el recurso indispensable, al igual que estudios sobre el tipo de suelo, la pendiente, el clima, el agua y las variedades de Caña de Azúcar. Los factores limitantes son la compactación de las áreas de producción y el agua; las áreas de producción deben estar bien localizadas, con infraestructura adecuada y no deberán ser menores a 50 hectáreas (SAGARPA, 2010).

De acuerdo al estudio realizado por SAGARPA para la producción de biocombustibles, otro factor importante es el diseño de Unidades de Riego por ingenio para evitar que los efluentes del proceso de producción de etanol contaminen ríos y mantos freáticos. La demanda de agua por tonelada de caña es de aproximadamente 180 m³ que deben ser abastecidos utilizando los efluentes de proceso; lavado, vinazas y agua de dilución de vinazas como agua de riego (SAGARPA, 2010).

Los Estados productores de Alcohol de Caña son Campeche, Chiapas, Jalisco, Puebla, Tamaulipas y Veracruz, los cuales pueden producir en promedio anualmente 41.9 millones de litros. En 2008 el precio promedio en México por tonelada de Caña de Azúcar, fue de \$ 400, mientras que en Brasil la caña tuvo un precio en ese mismo año de \$ 200, lo que significa un costo promedio por litro de etanol para México de \$ 5.70, mientras que para Brasil de \$2.85; por lo que, el esquema productivo actual, no es competitivo para producir Etanol como aditivo para combustibles (SAGARPA, 2010).

Consecuentemente, es necesario llevar a cabo un plan de diversificación de la industria azucarera con estudios basados en las condiciones locales donde las nuevas tecnologías se aplicarán, los conocimientos disponibles por parte de los productores en relación al problema productivo que se pretende remediar, el entorno socio-económico, la heterogeneidad social y la racionalidad específica de los pequeños productores; para incrementar el número de opciones de rentabilidad y equilibrio económico, mediante, la expansión de actividades que generan ingresos dentro y fuera de la actividad agroindustrial, autoempleo y la creación de pequeñas empresas que a nivel regional

significaran elevar las ganancias del productor de caña de azúcar y a nivel nacional la transformación estructural de la agroindustria nacional (Aguilar *et al*, 2009).

B. Cambios en los procesos

I. Mejores prácticas de operación

Las mejores prácticas de operación deben ser evaluadas para cada Ingenio mediante la inspección detallada de cada operación unitaria y la identificación de los flujos contaminantes para proponer estrategias que permitan evitar, disminuir o controlar dichos flujos como se realizó en la sección de evaluación del proceso para el FIEZ. A continuación se presentan de forma general las medidas de mejores prácticas de operación que deben ser verificadas y ajustadas para cada Ingenio:

- Mejorar el control de inventarios para tener un mayor control de los materiales de entrada y salida, mediante un plan de monitoreo del consumo de materia prima por etapa del proceso; lo cual, permitirá llevar a cabo evaluaciones constantes de manejo de insumos para identificar y eliminar causas del consumo excesivo, como falla de equipo y malas prácticas.
- Implementar un control de consumo de la materia prima, mediante la instalación de sensores con alarmas en equipos de insumos para controlar el exceso en el uso de lubricantes, aceites, lechada de cal y floculantes. Verificar y monitorear la efectividad del control de consumo de la materia prima.
- Prevenir los arrastres, fugas o derrames de productos o subproductos mediante controladores de nivel con alarmas y supervisando periódicamente las condiciones de operación de cada proceso.
- Fomentar entre los empleados el desarrollo de buenas prácticas para la reducción del consumo de materias primas.
- Implantar un sistema de supervisión y análisis de contaminación por microorganismo *Leuconostoc-menesteroides* mediante una red de monitoreo de calidad de todas las operaciones unitarias y puntos que presentan mayor proliferación del microorganismo.
- Diseñar manuales de procedimientos para normalizar y controlar la operación, arranque, fuera de operación y limpieza de cada operación unitaria o equipo con los respectivos parámetros de proceso (presión, temperatura, etc.) tan cerca como

sea posible de los niveles deseados. Por ejemplo, mantener regímenes de molienda altos y estables para disminuir el tiempo de ejecución del proceso y por lo tanto el ahorro de insumos y energía.

- Implementar capacitaciones y evaluaciones continuas al personal encargado del manejo de equipos y/o operaciones unitarias.
- Realizar un programa de automatización de todas las operaciones unitarias priorizando las acciones que conducen a mayores errores humanos.
- Mantener un sistema o programa de limpieza de toda la planta.
- Implementar un programa de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, en el que se deberán considerar, entre otras, las siguientes acciones (CNP+LH, 2009b):
 - a. Contar con los manuales de uso y mantenimiento original del equipo.
 - b. Establecer un manual de buen uso para los operarios de la maquinaria, que incluya la limpieza del equipo y el área de trabajo.
 - c. Capacitar al personal encargado del mantenimiento.
 - d. Crear un registro de averías e incidencias, que será de constante uso por parte de los responsables del mantenimiento. Esto sirve de guía al operador para el óptimo mantenimiento del equipo.
 - e. Establecer un registro de puntos de comprobación tales como niveles de lubricante, presión, temperatura, voltaje, peso, etc. así como sus valores, tolerancias y la periodicidad de comprobación, en horas, días, semanas.
 - f. Establecer un plan o programa de lubricación, comenzando con plazos cortos, analizando resultados hasta alcanzar los plazos óptimos.
 - g. Calcular la sustitución de transmisiones, cadenas, rodamientos, correas de transmisión etc., con base en comentarios de los operarios, la experiencia de los técnicos y el registro de incidencias; ya que, el número de horas aproximado o máximo de funcionamiento, dependerá mucho de las condiciones de trabajo: temperatura, carga, velocidad y vibraciones.
 - h. Crear un listado de accesorios, suministros, repuestos para el equipo, procurando disponer siempre de la cantidad óptima para la etapa de zafra y mantenimiento; de acuerdo al plazo de entrega del fabricante, sin olvidar épocas especiales como vacaciones.
 - i. Contar con sitios adecuados para el mantenimiento del equipo para evitar incidentes.

- En el caso de que el programa de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de la maquinaria no sea funcional, debe rediseñarse e implementarse un procedimiento más riguroso que permita evitar fugas y bajas eficiencias.

II. Sustitución de insumos o materias primas

La sustitución de insumos puede implementarse en la utilización de materiales menos tóxicos o renovables con mayor tiempo de vida de servicio. Las medidas recomendadas para la sustitución de insumos o materia prima son:

- Sustitución del lavado de la caña por la limpieza en seco.
- Reúso del agua de lavado de gases de combustión con la previa separación de sólidos, para el mismo fin en lugar de utilizar agua condensada o de extracción.
- Reemplazar el lavado de suelo en todas las áreas del Ingenio por los procesos de limpieza en seco.
- Uso de lubricantes biodegradables y de mejor calidad.

III. Modificaciones tecnológicas

Las modificaciones tecnológicas son expectativas que no pueden quedar de lado en este tipo de industria ya que la mayoría de los equipos con los que cuentan se encuentran en estado obsoleto. Las recomendaciones de modificaciones tecnológicas son:

- La conversión de molinos de cuatro mazas en molinos de seis mazas; esta conversión permite incrementar la capacidad de molienda un 30%.
- Instalación de un silo para el almacén de bagazo excedente, dimensionado adecuadamente para la capacidad necesaria.
- Instalación de motores y equipo de alta eficiencia energética con base en una evaluación previa de la eficiencia de los motores; por ejemplo, evaluar la instalación y reemplazo de los motores del equipo de centrifugación, por motores de mayor eficiencia energética; así mismo, evaluar y verificar que los componentes mecánicos de los equipos se encuentren en condiciones óptimas, para asegurar el funcionamiento correcto y evaluar la conveniencia de la instalación de variadores de velocidad en los motores de mayor consumo de energía. Monitorear y verificar los resultados de los cambios en los niveles de eficiencia de los motores.

- Instalación de calderas 100% bagaceras, con sistemas de control de partículas multiciclónico vía seca. Aumentar la eficiencia de calderas para dejar de utilizar combustibles pesados y utilizar solamente bagazo para la generación de energía.
- Instalación de sistemas de automatización de equipos, procesos e instrumentos de medición y control principalmente en evaporadores y tachos para evitar la caramelización, arrastre de miel o espumeo y cuidar la calidad de la meladura.
- Instalación de sistemas de circuitos cerrados de agua y bombas de vacío con tanques de almacenamiento de capacidad adecuada para evitar derrames.
- Aplicar grasa y lubricantes de buena calidad en engranes y transmisiones mecánicas, para minimizar fugas.
- Implementar procedimientos y tecnologías eficientes de lavado de acuerdo a las condiciones económicas de la empresa (boquillas de presión en mangueras, lavadoras de presión).
- Diseñar e implementar tecnologías para el uso del calor sobrante del proceso en el secado del azúcar procesada y secado de bagazo.
- Capacitar al personal encargado del uso de la tecnología adquirida y monitorear la efectividad de la tecnología implementada.
- Realizar un registro de los cambios tecnológicos y mejoras en la distribución de los procesos para optimizar el flujo de materias primas.

Las medidas recomendadas para la **Minimización de Contaminantes, en materia de aire y energía, agua, suelos y residuos** son:

AGUA

- Separar la descarga de agua industrial y la descarga de agua sanitaria o de servicios.
- Analizar la reducción o eliminación del lavado de la caña si aún no se implementa.
- Elaborar, implementar y monitorear programas de ahorro, uso eficiente y reúso de agua con base en los siguientes 6 circuitos cerrados de agua (Ingaramo *et al*, 2009):

Circuito 1: Agua de recuperación de condensados de vapor vegetal, provenientes de los evaporadores y tachos de cocimiento para utilizarlos como agua de imbibición, agua de lavado en centrífugas de crudo y refinado, agua de disolución en refinería, lavado de tachos, trapiche y filtros. Esta es una estrategia de reúso que se emplea en todos los

ingenios azucareros con diverso grado de integración. Para eliminar gases incondensables de los vapores vegetales es necesario realizar una purga en este circuito mediante venteo de vapores. El exceso de condensado vegetal que arrastra azúcares podría derivarse a dos consumidores:

- a) Al circuito de limpieza de grillas de calderas y lavado de gases de combustión que es una práctica usada en algunos ingenios.
- b) Como agua de reposición al circuito de agua de condensadores barométricos.

Circuito 2: Agua de lavado de gases de combustión y grilla de calderas. Los efluentes del limpiador de gases y parrilla pueden ser filtrados y usados nuevamente como alimentación en el sistema. En este circuito existen pérdidas por evaporación y arrastre. Para compensarlas, se alimenta al sistema agua vegetal y la purga de la caldera ya que la carga de contaminantes en dichas corrientes es compatible con la que circula en esta operación. El efluente resultante del sistema de filtrado es un lodo que podría ser secado y usado para acondicionar el suelo.

Circuito 3: Agua de generación de vapor en caldera. La mayor parte del vapor vivo generado se condensa y retorna a la caldera después de ser usado. Este es un circuito de uso generalizado en la industria azucarera. Existen algunas pérdidas de vapor o de condensado debido al goteo en las juntas, al accionamiento de válvulas de seguridad, etc. Para mantener la concentración de sólidos en el agua de la caldera es necesario purgar por medio de una corriente de agua que tiene solamente sales disueltas por lo que sería viable reusarla para el lavado de gases de combustión y grilla de calderas. El agua de reposición de la caldera puede ser agua ablandada o de condensado de vapor vegetal de primer o segundo efecto.

Circuito 4: Agua de refrigeración de máquinas motrices. Para poder implementar este circuito es necesario disponer de un sistema de enfriamiento que permita disminuir la temperatura del agua para que sea utilizada nuevamente como refrigerante. Además, el agua que circula arrastra aceite y grasa y por lo tanto será necesario contar con un separador de grasa. En este sistema, las pérdidas por evaporación son pequeñas. El efluente en este caso es grasa y aceite y prácticamente no contiene agua. El agua de reposición debe ser monitoreada y registrada adecuadamente ya que generalmente se utiliza agua superficial o de extracción de pozo.

Circuito 5: Agua de refrigeración de cristalizadores y filtros de vacío. En este caso el incremento de temperatura del agua es poco y por lo tanto las pérdidas por evaporación pueden considerarse despreciables. El agua de reposición debe ser monitoreada y registrada adecuadamente ya que generalmente se utiliza agua superficial o de extracción de pozo.

Circuito 6: Agua para condensadores barométricos. Esta representa el mayor volumen de agua usada en el proceso de fabricación de azúcar, debido fundamentalmente a la baja eficiencia de los condensadores barométricos en la transferencia de energía, y puede ser reciclada empleando algún sistema de enfriamiento para mantener una diferencia de temperatura entre la entrada y salida del condensador. En este circuito hay pérdidas asociadas a la evaporación y al arrastre producido en el proceso de enfriamiento.

Para evitar la concentración de azúcares en este circuito es necesario realizar una purga continua. Usualmente, el agua de reposición proviene de agua superficial o de extracción de pozo; sin embargo, la calidad de agua de reposición se puede mejorar reusando parte del agua del circuito 1 que es la que proviene del condensado de vapor vegetal del segundo efecto.

- Realizar un diseño del sistema de recirculación y reúso de agua mediante planos y diagramas de flujo, con la instalación requerida para monitorear la calidad del agua y disponerla para reúso de acuerdo a su calidad.
- Contar con la infraestructura necesaria para almacenar el agua condensada y que sea reutilizada en el arranque de producción. Se deberá controlar los niveles de llenado para evitar los desbordes de material
- Contar con un laboratorio para el monitoreo de la calidad del agua para ser reutilizada como condensados puros o impuros de acuerdo a su calidad.
- Contar con sistemas de enfriamiento de agua de circuito cerrado para disminuir el consumo y la descarga de agua.
- Recuperar la miel o jugo derramados por fuga o mal manejo de un equipo y reprocesarlos para recuperar la sacarosa que contengan.
- Implementar metodologías de limpieza en seco en las áreas del proceso con derrames de materiales o exceso de polvo para realizar su manejo como residuo sólido; capacitar al personal encargado de limpieza y recuperar los materiales aprovechables y disponer de forma adecuada los que no lo sean.

- Desmontar llaves de agua que son prescindibles.
- Realizar pláticas cortas de concientización en el uso del agua, sobre todo para mantener las llaves de agua cerradas cuando no son ocupadas.

AIRE Y ENERGÍA

- Utilizar combustibles más limpios para la generación de energía.
- Realizar un programa de vigilancia de eficiencia de las calderas que incluya:
 - Verificación periódica de la eficiencia de la combustión.
 - Monitoreo de los gases de combustión para comprobar la eficiencia de la combustión.
 - Observar la acumulación de hollín en el área donde pasan los humos negros, ya que esto impide el intercambio eficiente de calor al convertirse en aislante, por lo que debe limpiarse periódicamente.
- Contar con un programa de vigilancia y reparación de las pérdidas de calor.
- Instalar aislantes térmicos y sistemas aisladores de ruido para las tuberías de vapor y maquinaria; implementar un programa de verificación de periódica del buen funcionamiento de la maquinaria para evitar generación de ruido por mal funcionamiento.
- Instalar sistemas de control de emisiones a la atmósfera eficientes como separadores de partículas multiciclónicos vía seca.
- Llevar a cabo reparaciones y mantenimiento de los ductos de aire; así como, cálculos del flujo de aire necesario para la combustión del bagazo y la instalación de equipo necesario para garantizar la demanda de aire; por ejemplo, ventiladores centrífugos de aire.
- Realizar un balance de energía para identificar los puntos críticos de consumo e identificar y eliminar las causas del consumo excesivo por equipo y etapa del proceso.
- Implementar un programa de ahorro y eficiencia energética.
- Instalar medidores de consumo de energía en cada una de las áreas del proceso.
- Instalar un banco de capacitores.
- Diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo del sistema energético, equipo y maquinaria; incluyendo el aislamiento de circuitos eléctricos

de forma adecuada y revisar con regularidad que no presenten corrosión ni posibilidad de corto circuito.

- Utilizar el nivel apropiado de iluminación por actividad y área de la planta. Utilizar luz natural colocando en la medida de lo posible láminas traslúcidas.
- Realizar acciones de concientización para los empleados para el uso eficiente de energía; por ejemplo, mantener puertas y ventanas cerradas y debidamente selladas para evitar fuga del aire acondicionado.

SUELOS

- Capacitar a los empleados en el manejo de productos químicos, para reducir las probabilidades de derrame en el suelo de estos insumos.
- Realizar un buen manejo de los lubricantes o productos químicos para evitar la contaminación del suelo (almacenar adecuadamente en bodegas, control de derrames en transporte interno y aplicación).
- Se recomienda implementar un plan de reforestación y mantenimiento de la zona con especies nativas o especies adaptadas en el área del ingenio azucarero para mejorar las condiciones del suelo.
- Implementar un sistema de composta con los residuos orgánicos generados en el Ingenio previamente separados para la disminución de residuos y mejoramiento del suelo.

RESIDUOS

- Establecer un programa de control de recibo y manejo de materia prima para reducir las pérdidas por materia prima en mal estado o que no cumplan con las especificaciones necesarias para ser utilizadas en el proceso; el cual debe incluir la revisión de las hojas técnicas y especificaciones de los productos; así como, el control de las cantidades de compra para evitar su acumulación y caducidad por exceso en la compra; además un almacenamiento adecuado con las características del producto para mantener su calidad durante el tiempo que tarde en ser utilizado.
- Establecer un programa de control de almacenamiento y manejo del producto terminado que contenga al menos: mapas de estibas, control de producto no

conforme o que no cumpla con las especificaciones, área destinada para azúcar de reproceso, cubrir las estibas con papel bituminado.

- Diseñar e implementar un plan de gestión de residuos generados en el proceso productivo mediante el siguiente procedimiento:
 - Determinar las áreas o etapas del proceso en las que se produce cada residuo.
 - Realizar un inventario de los residuos generados en el proceso productivo.
 - Establecer un procedimiento de recolección, separación, almacenaje temporal y disposición de los residuos.
 - Realizar análisis de composición de los residuos para definir el tratamiento a utilizar.
 - Clasificar los residuos de acuerdo a su potencial de ser reutilizables o reciclables.
 - Establecer costos de disposición y tratamiento de los residuos generados.
 - Determinar los materiales que pueden ser reutilizados en el proceso.
 - Desarrollar un plan de venta de residuos y subproductos.
 - Monitorear y verificar si las medidas de reúso y reciclado son efectivas.
- Contar con un almacén temporal de residuos peligrosos e identificar y disponer los residuos peligrosos de forma adecuada; como, las estopas con grasas y aceites, bagazo con grasa y aceite, las lámparas fluorescentes y residuos peligrosos del laboratorio químico.
- Implementar la identificación y separación de residuos sólidos mediante botes de colores diferentes y llevar a cabo talleres y pláticas con todos los empleados para lograr la correcta separación de los mismos. Designar personal para la recolección de los residuos aprovechables como plástico, papel o cartón y elaborar composta con los residuos orgánicos para disminuir la cantidad de residuos que van a disposición final, lo cual se puede realizar en las instalaciones del ingenio para remediar sitios contaminados.
- Evitar la mezcla de residuos peligrosos, de manejo especial y sólidos.
- Recuperar los materiales metálicos, disponerlos o almacenarlos en lugares protegidos de la lluvia o humedad para evitar su corrosión y daños que imposibiliten su reúso.

- Ajustar los volúmenes de residuos a transportar, de acuerdo a la capacidad del vehículo que se utilizará, y manejar los residuos en recipientes resistentes y de adecuada capacidad para su transporte.
- Implementar un programa de revisión y recuperación de polvillo de azúcar que se genera en la etapa de centrifugación y secado, llevando a cabo las acciones necesarias para su reprocesamiento.
- Buscar alternativas para la reutilización de sacos dañados y residuos de costura, por ejemplo, uso en el campo para traslado de semilla.

Las medidas recomendadas para el **Control de Contaminantes, materia de gestión ambiental, aire y energía, agua, suelos y residuos** son:

Gestión Ambiental

- Contar con un departamento de Higiene y Seguridad; así como, un departamento de Mejoramiento Ambiental, en caso de no contar con ellos. Además, establecer ambos departamentos en la jerarquía más alta, para que las decisiones que sean tomadas por ellos sean tomadas en cuenta en todos los niveles jerárquicos.
- Llevar a cabo talleres y seminarios de concientización ambiental a todo el personal de la fábrica y en todos los niveles para mejorar el cuidado del ambiente y en todos los rubros ambientales.
- Llevar un registro de todas las acciones de prevención, minimización y control de la contaminación llevadas a cabo para monitorear su eficiencia
- Llevar a cabo talleres de capacitación en la aplicación de procedimientos, en manejo y uso de registros, en prácticas de limpieza y de seguridad industrial (uso de equipo de limpieza, mascarillas, equipo de protección), en buenas prácticas de manejo de materiales, productos y de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental e implementar programas para vigilar el cumplimiento de su uso.
- Establecer registros que garanticen el control y monitoreo de las buenas prácticas implementadas.
- Implementar espacios de presentación y discusión que permitan a los empleados intercambiar conocimientos técnicos y estrategias de operación para mejorar la calidad y rendimiento.

AGUA

- Instalar medidores de flujo de agua en todas las tomas de agua de extracción para el uso en el área de producción y en servicios.
- Llevar un registro diario del consumo de agua de extracción y descarga e implementar un programa de verificación, mantenimiento y calibración de los medidores de flujo y dispositivos de extracción de agua. Cuando se observen consumos elevados de agua, fugas o cualquier anomalía que contribuya al desperdicio de agua se debe asignar un responsable para el cumplimiento del plan de ahorro y uso eficiente del agua para corregir y dar seguimiento al problema.
- Contar con procedimientos de mantenimiento, calibración y registro de los sistemas de extracción de agua, todas las líneas de conducción y tanques de almacenamiento tanto del agua de uso para el proceso de producción como de servicios; los cuales deben contener, los planos de localización y distribución de los equipos, medición de espesores, aplicación de sustancias que prevengan la corrosión, cambio o reparación de los equipos por la detección o corrección de fugas.
- Contar con procedimientos de mantenimiento y vigilancia de las líneas y equipos por los cuales se conduce vapor, contar con un registro de cambio y reparación del aislante o fuga.
- Asignar responsabilidades para los procedimientos de vigilancia anteriores.
- Conducir los efluentes de agua no reutilizados hacia el sistema de tratamiento de agua residual.
- Implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales para eliminación de grasas y aceites, neutralización de pH, sólidos sedimentables, disminución de temperatura principalmente y en caso de que sea vertida a cuerpos de agua, tratamientos secundarios para la disminución de DBO, DQO y SST y cumplimiento de la normatividad.
- Llevar a cabo un estudio agroambiental en los campos que se rieguen con el agua residual de la fábrica con el propósito de verificar el posible impacto que pudiesen tener los terrenos de cultivo ocasionada por el riego con las aguas residuales. El estudio debe considerar muestreos de suelo, levantamiento geofísico, pruebas de permeabilidad, reconocimiento ambiental en los terrenos, análisis químicos del

agua subterránea para verificar posible contaminación y análisis agronómicos pertinentes para su evaluación.

- Llevar un registro de los procedimientos de limpieza y desazolve de los drenajes a lo largo de toda la planta.
- Elaborar e implementar programas de mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales para verificar su correcto funcionamiento.
- Llevar a cabo talleres y seminarios sobre uso, ahorro, monitoreo, análisis, normatividad, tratamiento y disposición del agua dentro de las instalaciones, dirigido al personal encargado del manejo de agua en la fábrica.
- Aplicar evaluaciones continuas al personal encargado del manejo de agua en la fábrica.
- Monitorear la efectividad de las actividades realizadas para prevención, minimización y control del uso y contaminación de agua.

AIRE Y ENERGÍA

- Llevar un registro diario del consumo de energía eléctrica. Cuando se observen consumos elevados de energía eléctrica, se deberá identificar cualquier anomalía que contribuya al desperdicio de energía y se debe asignar un responsable para el cumplimiento del plan de ahorro y uso eficiente de energía para corregir y dar seguimiento al problema.
- Realizar evaluaciones periódicas de las emisiones fugitivas de partículas generadas en las distintas áreas de la fábrica como, el área de batey, bandas y conductores de transporte de bagazo y almacenamiento de bagazo.
- Proveer a las calderas de sistemas de control de partículas y evaluar constantemente su eficiencia.
- Realizar evaluaciones periódicas de los niveles de concentración de compuestos orgánicos volátiles y partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$, en las diferentes áreas de la fábrica con la finalidad de identificar y delimitar las áreas que presenten niveles críticos y que el personal expuesto cuente con el equipo de seguridad necesario y llevar a cabo acciones necesarias para reducir los niveles de emisión.
- Realizar un programa de control de ruido, temperatura en áreas de trabajo y de calidad del aire. Cuando los ruidos o temperaturas superen los niveles aceptados

de exposición se deberán analizar las causas del incremento y elaborar un plan de acción para reducirlos.

- Realizar la limpieza y desinfección de forma periódica de las instalaciones de los sistemas de tratamiento o control para evitar malos olores.

SUELO

- Desarrollar e implementar procedimientos de exploración y vigilancia de casos de derrames de materiales y residuos peligrosos, que contemple las medidas preventivas y de control, así como, los equipos, materiales y recursos humanos necesarios para atender de manera inmediata los derrames o fugas que se presenten en las áreas de proceso para promover su estabilización.
- Capacitar al personal encargado de la gestión de derrames de materiales o residuos peligrosos y llevar un registro de los derrames.
- Realizar un estudio de suelo en las áreas de recepción, suministro y almacenamiento de combustóleo para conocer el nivel de contaminación y determinar las posibles fugas en las líneas por donde es conducido a las diferentes áreas y remediar el área contaminada de acuerdo a los resultados.
- Realizar un estudio de suelo en las áreas contiguas a las trampas de grasa y aceites y remediar el área contaminada de acuerdo a los resultados.
- Realizar un estudio de suelo en las áreas de almacenamiento de miel final y áreas contiguas a las torres de enfriamiento para conocer el nivel de contaminación y remediar el área dañada.
- Registrar las actividades de remoción de contaminantes y áreas que son restauradas.
- Establecer puntos de control en las áreas de almacenamiento para la comprobación del buen estado de los recipientes para evitar la contaminación a cuerpos receptores, por derrame de sustancias químicas almacenadas.
- Elaborar un informe de emergencias ambientales ante la ocurrencia de derrames.

RESIDUOS

- Vigilar el cumplimiento del plan del manejo de residuos.
- Elaborar los procedimientos de generación, manejo y disposición final de los residuos sólidos, de manejo especial y peligrosos generados en la planta.
- Los sitios para disposición temporal o final de residuos deben ser cuidadosamente seleccionados, diseñados técnicamente, tomando en cuenta criterios geológicos satisfactorios, hidrología, uso actual y futuro del agua subterránea, geotecnia, estabilidad de pendientes, protección de la erosión, provisión de servicios, factores socioeconómicos, etc.
- Se debe capacitar y entrenar a los responsables y empleados para desarrollar, implantar y operar un programa de manejo ambientalmente adecuado de los residuos generados.
- Si han ocurrido impactos en el agua y el suelo por la gestión inadecuada de los residuos del proceso, en la medida de lo posible, se deberá proceder a realizar una limpieza del medio afectado y disponer los residuos adecuadamente (rellenos sanitarios, etc.) Igualmente, se deberá rediseñar el programa de reutilización y reciclaje definiendo parámetros técnicos adicionales. En este sentido, se puede considerar capacitar e incentivar a los trabajadores y buscar los métodos de reutilización y reciclaje más adecuado para los residuos.
- En caso de que los productos utilizados para el mantenimiento o manejo de equipo e instalaciones se mantengan almacenados sin las especificaciones técnicas recomendadas (temperatura, etc.) o cerca de cuerpos de agua, se deberá proceder a colocarlos bajo las condiciones adecuadas. No obstante, cuando ocurran derrames de estos productos al suelo se procederá a limpiar el lugar en seco, utilizando material absorbente (por ejemplo, aserrín) y recipientes de recolección. Posteriormente, los residuos deberán disponerse adecuadamente.

4.5 Factibilidad Técnico-Ambiental

El estudio de Factibilidad de las medidas propuestas en la sección anterior debe realizarse para cada Ingenio donde quieran ser implementadas; definiendo el tipo de evaluación necesaria para cada opción de acuerdo a las prioridades del Ingenio y su presupuesto para el diagnóstico para así determinar la profundidad del análisis que debe hacerse. Por ejemplo, una opción poco costosa no requiere de una evaluación económica detallada, y una opción de motivación de los empleados no necesita de una evaluación técnica (CMP+L, 2011).

El estudio de Factibilidad Técnico puede realizarse con base en una clasificación previa: cambios en los procedimientos o cambios técnicos sencillos (buenas prácticas operativas) o complejos (reemplazo de una operación). Si la opción es técnicamente viable pueden definirse los cambios técnicos necesarios para su implantación mediante el análisis previo de planeación de espacios, compatibilidad con el flujo del proceso y velocidades de producción, análisis de riesgo para los empleados, requerimientos de energía y servicios necesarios para su implementación.

El estudio de Factibilidad Ambiental es un requisito puesto que mejorar el desempeño ambiental es el principal propósito de este programa. En muchos casos, la ventaja ambiental resulta obvia; por ejemplo, reducción en el consumo de agua y energía, minimización en la generación de agua residual, residuos, mejora en la calidad del aire y suelo.

Cuando no es posible reunir toda la información necesaria para hacer una buena evaluación ambiental, se tendrá que hacer una evaluación cualitativa, con base en la información disponible; para dar prioridad a ciertos efectos ambientales respecto a otros, se deben estudiar las políticas ambientales nacionales y las prioridades gubernamentales para la protección ambiental y el uso racional del agua y la energía (CMP+L, 2011).

El estudio de Factibilidad fue realizado con base en el procedimiento que se presenta en el Capítulo de Metodología. A continuación se presentan las Medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera y las observaciones respecto a su viabilidad técnica-ambiental.

4.5.1 Factibilidad Técnico-Ambiental de las Medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para el Campo Cañero

Medida de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para el Campo Cañero	Factibilidad Técnica	Factibilidad Ambiental
1. <u>Impulsar el cambio de mentalidad del cañero para el éxito en la implementación de buenas prácticas de campo</u>	Se debe contar con personal capacitado en la implementación de buenas prácticas de campo para demostrar sus beneficios mediante la puesta en marcha de proyectos en parcelas específicas de estudio y mediante talleres de capacitación para los productores.	La demostración de los beneficios de las buenas prácticas de campo impulsará al productor a la adopción de las mismas en sus propias parcelas lo cual tendrá beneficios al ambiente al disminuir los impactos de contaminación de agua, suelo y aire.
2. <u>Preparar adecuadamente el suelo para la siembra</u>	Se requiere equipo, maquinaria y personal calificado que realice el diagnóstico del suelo, factores limitantes, evaluación de la fecha ideal de siembra y llevar a cabo capacitaciones a productores sobre las actividades requeridas para esta buena práctica de campo.	Beneficios y menor impacto sobre el suelo; además de una productividad alta en el campo.
3. <u>Mejor gestión en el uso de agroquímicos</u>	Se requieren cursos y talleres de capacitación para los productores con personal calificado.	Eliminación de la contaminación de cuerpos de agua y mantos acuíferos por mal uso de agroquímicos.
4. <u>Seleccionar variedades de caña y semillas adecuadas</u>	Se debe llevar a cabo experimentos de adaptabilidad de variedades de caña por personal calificado.	Disminución en la cantidad de residuos obtenidos durante el procesamiento de la caña.
5. <u>Mejor manejo de agua y drenaje</u>	Se requiere tecnología de riego por goteo o aspersión y estudios constantes para conocer las necesidades de riego para la planta.	Reducción en el consumo de agua
6. <u>Manejo integrado de plagas y malezas</u>	Se requiere un estudio de diagnóstico y de impacto ambiental por la introducción de especies para el control biológico. Además talleres o pláticas sobre el uso adecuado de productos químicos y las actividades necesarias para llevar a cabo esta práctica.	Menor uso de productos químicos para el control de plagas, menor impacto en suelo, fauna y flora del lugar.
7. <u>Preparar adecuadamente la cosecha</u>	Se requiere organización adecuada y estudios de madurez de la caña de todos los campos que serán cosechados.	Disminución de la cantidad de residuos o impurezas de la caña.
8. <u>Promover la cosecha mecanizada en verde y mejorar la cosecha manual</u>	Se requiere contar con máquinas cosechadoras y la selección de campos que son viables para la cosecha mecánica. Además contar con personal calificado para el manejo de la tecnología.	Prevención de la contaminación del aire y accidentes de incendios no controlados.
9. <u>Reducir el porcentaje de impurezas de la caña durante su recolección</u>	Se requiere realizar pláticas cortas con los cortadores de caña para mejorar su desempeño, capacitar a los operadores de las máquinas cosechadoras para un uso adecuado de las mismas.	Reducción en la cantidad de residuos o impurezas de la caña.
10. <u>Disminución de emisiones de partículas y residuos durante el acarreo de caña del campo hacia el Ingenio</u>	Se requiere contar con distribuidores de diesel de mejor calidad cercanos a la zona.	Mejor calidad del aire por la disminución de emisiones al ambiente. Reducción de residuos de caña en las carreteras.

4.5.2 Factibilidad Técnico-Ambiental de las Medidas de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria

Medida de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria	Factibilidad Técnica	Factibilidad Ambiental
<p><u>Cambios en los productos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Etanol • Generación y cogeneración de energía • Mielles intermedias • Alimentos para ganado 	<p>Se requiere espacios, infraestructura y tecnología para la producción de nuevos productos. Además estudios de mercado para determinar la viabilidad de producción del nuevo producto. Estudios de planeación y diseño basado en la prevención, minimización y control de la contaminación ambiental, con un análisis previo de los posibles impactos ambientales que pueden ser generados por la producción de nuevos productos.</p>	<p>La estabilidad económica de la industria puede permitir una adecuada gestión del ambiente; por lo tanto los impactos en el agua, aire, suelo disminuirían. Con el mejor aprovechamiento de los subproductos para la obtención de nuevos productos se lograría una disminución en la cantidad de residuos.</p>
<p><u>Cambios en los procesos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejores prácticas de operación 	<p>Se requiere procedimientos escritos que normalicen las operaciones del Ingenio; capacitaciones constantes al personal e inspecciones por el personal que ha sido capacitado o por quien capacita al personal.</p>	<p>Reducción en el consumo de insumos y minimización en la generación de contaminantes en agua, aire, suelo y generación de residuos.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de insumos o materia prima 	<p>Se requiere instalación de tuberías y accesorios para el cambio de flujo de agua y la clausura de llaves de agua que son prescindibles.</p>	<p>Reducción en el consumo de agua y generación de agua residual.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Modificaciones tecnológicas 	<p>Se requiere la instalación de nueva tecnología con un análisis previo de planeación de espacios, compatibilidad con el flujo del proceso y velocidades de producción, análisis de riesgo para los empleados, requerimientos de energía y servicios necesarios para su implementación. Se requieren capacitaciones constantes al personal encargado del uso de la nueva tecnología.</p>	<p>Reducción en el consumo de insumos, energía y minimización en la generación de contaminantes en agua, aire, suelo y generación de residuos.</p>
<p><u>Minimización de contaminantes</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Agua • Aire y energía • Residuos • Suelo 	<p>Se requiere un análisis previo de planeación de espacios, compatibilidad con el flujo del proceso y velocidades de producción, requerimientos de energía y servicios necesarios para su implementación. Se requieren capacitaciones constantes al personal encargado de las áreas y procesos de producción.</p>	<p>Reducción en el consumo de agua y energía, minimización en la generación de agua residual, residuos, mejora en la calidad del aire y suelo.</p>
<p><u>Control de contaminantes</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestión ambiental • Agua • Aire y energía • Residuos • Suelo 	<p>Se requiere un análisis previo de planeación de espacios, compatibilidad con el flujo del proceso y velocidades de producción, requerimientos de energía y servicios necesarios para su implementación. Se requieren capacitaciones constantes al personal encargado de las áreas y procesos de producción.</p>	<p>Mejor control en el consumo de agua y energía, minimización en la generación de agua residual, residuos, mejora en la calidad del aire y suelo.</p>

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES

5 CONCLUSIONES

1. Con base en la metodología desarrollada; así como, en los programas y guías de prevención de la contaminación existentes se desarrolló una Guía General para la elaboración del “Programa de Prevención, Minimización y Control de la Contaminación Ambiental para la Industria Azucarera en México”.
2. El apoyo total de la Dirección General de la Industria es indispensable para la elaboración e implementación de un programa de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental; ya que, es necesario conocer la situación y los problemas reales en campo y fábrica para obtener un conocimiento integral de la Industria y lograr un trabajo de colaboración exitoso entre los sectores industrial y académico.
3. Durante la etapa de evaluación del proceso, el trabajo en el Campo Cañero y el Ingenio se encontraron buenas prácticas en materia ambiental, que se han realizado en los últimos años:

Las buenas prácticas que se realizan en el Campo Cañero del caso de estudio son:

- Integración de un sistema de información geográfica de la zona cañera que permite la realización de estudios de mejora del campo.
- Organización de la siembra y cosecha adecuada.
- Establecimiento de procedimientos técnicos de siembra y cosecha.
- Realización de talleres y cursos de capacitación para la gestión adecuada de los agroquímicos y las buenas prácticas hacia una rentabilidad alta de campo.
- Estudio de nuevas variedades de caña para la zona.
- Gestión adecuada del agua industrial en su uso para riego agrícola y prevención de contaminación del agua en mantos freáticos por la instalación de pozos de observación de calidad de agua.
- Uso de sistema de acolchado cañero en parcelas que presentan altos costos de riego por bombeo.
- Estudio y aplicación del sistema de siembra tipo piña o doble surco que ha demostrado a los demás productores un aumento en el rendimiento ton caña/hectárea.

- Implementación de la cosecha mecanizada en terrenos que presentan la superficie mínima óptima.

Las buenas prácticas que se realizan en el Ingenio en materia ambiental son:

- Contar con un departamento de Higiene y Seguridad; así como, un departamento de Mejoramiento Ambiental y Tratamiento de Aguas para la gestión adecuada del ambiente y seguridad industrial.
- Implementación de un programa de ahorro de agua de extracción y disminución de agua residual.
- Implementación de un programa integral de limpieza y de separación de residuos sólidos.
- Instalación de equipos de control de emisión de partículas por la operación de los procesos de combustión de bagazo y combustóleo.
- Disminución del consumo de combustóleo por la instalación de una caldera nueva 100% bagacera con sistema de separación de partículas multiciclónico de alta eficiencia.
- Separación de las aguas residuales de proceso y sanitarias.
- Uso de aguas residuales del proceso en el riego agrícola, bajo un estudio de tratamiento por medio de un humedal artificial, con pozos de monitoreo de observación de calidad del agua de mantos freáticos.
- Cumplimiento de la normatividad ambiental en materia de agua, aire y residuos.
- Identificación, gestión, almacenamiento temporal de residuos peligrosos y disposición por medio de compañía externa acreditada; se cuenta con un almacén de materiales y residuos no peligrosos para la recuperación de materiales y chatarra, los residuos de manejo especial se disponen en campo para su reutilización como mejoradores de suelo.
- Se cuenta con procedimientos de operación de los procesos unitarios y de servicios.
- Instalación de circuitos cerrados de agua de enfriamiento.
- Instalación de tecnología de alta eficiencia energética en el departamento de centrifugación y la instalación de un banco de capacitores.

4. Durante la etapa de evaluación del proceso, el trabajo en el Campo Cañero y el Ingenio se encontraron oportunidades de prevención, minimización y control importantes:

Los puntos de mejora encontrados durante la etapa de evaluación del proceso en el Campo Cañero fueron:

- Resistencia e incredulidad del agricultor sobre los beneficios de las buenas prácticas de campo.
- Falta de capacitación para la operación y mantenimiento de la maquinaria; así como, el grado de obsolescencia de la misma.
- Rezago en la tecnología de riego y exceso en los requerimientos hídricos de la caña en algunas zonas donde abunda el agua.
- Pagos de la tonelada de caña cortada muy bajos lo que ocasiona el enajenamiento de los cortadores en las prácticas de disminución de impurezas.
- Exceso de maquinaria para la cosecha mecanizada.
- Incendios no controlados en el cierre de la zafra provocados por los productores y la incertidumbre de que se lleve a cabo la molienda de su producción.

Los puntos de mejora encontrados durante la etapa de evaluación del proceso en el Ingenio fueron:

- Falta de prácticas adecuadas para el mantenimiento de fugas en equipos y accesorios.
- Falta de cursos de concientización ambiental para lograr el compromiso en el ahorro de insumos en todos los niveles jerárquicos.
- Falta de controles operacionales para la prevención de derrames de jugo o miel.
- Falta de automatización de operaciones.
- Falta de programas de mantenimiento de tuberías de vapor y la instalación o reparación de aislantes térmicos en todas las líneas de vapor y recipientes de altas temperaturas.

5. Durante las estancias realizadas en la Industria y el trabajo realizado en conjunto con el Departamento de Mejoramiento Ambiental se logró un ahorro en el consumo de agua de aproximadamente 2000 m³/día, la separación de residuos sólidos y una disminución en la generación diaria del 50%, la disminución de emisiones de partículas por la instalación de una caldera 100% bagacera con sistema de separación de partículas multiciclónico y la implementación de un programa de limpieza efectivo en toda la planta.

6. Las medidas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental para la Industria Azucarera de México, propuestas en este trabajo están basadas principalmente en las estancias realizadas en el Ingenio caso de estudio tomando en cuenta tanto los puntos de mejora como las buenas prácticas de operación, guías de producción más limpia y mejores prácticas ambientales del sector azucarero existentes a nivel internacional:
 - Las medidas para el Campo Cañero están enfocadas a la obtención de alta productividad (ton caña/hectárea) con una gestión adecuada del ambiente.

 - Las medidas de prevención de la contaminación ambiental para la Industria se clasificaron en cambios en los productos y cambios en los procesos:
 - Los cambios en los productos se plantean con base en la diversificación de la industria como una de las soluciones de estabilidad económica que ha sido estudiada a través del tiempo. A pesar de que, la producción de alcohol para biocombustible sigue siendo inviable por los altos costos de producción y falta de competitividad internacional, debe seguir estudiándose la producción de mieles intermedias para bebidas, la venta de energía, alimentos para ganado, e incluso la producción de alcohol para otros fines.

 - Los cambios en los procesos proponen mejores prácticas de operación principalmente en cuanto a mantenimiento correctivo y preventivo adecuado, sustitución de insumos o materia prima como lubricantes biodegradables y de alta calidad y modificaciones tecnológicas; por ejemplo, instalación de sistemas de control de partículas de alta eficiencia como sistemas multiciclónicos, la

instalación de motores de alta eficiencia energética en el departamento de centrifugas.

- Las medidas de minimización de la contaminación ambiental para la Industria se clasifican en materia de agua, aire y energía, residuos y suelo; contemplan programas de uso eficiente de insumos, programas de capacitaciones constantes al personal y prácticas de reúso y reciclaje.
 - Las medidas de control de la contaminación ambiental para la Industria se clasifican en materia de gestión ambiental, agua, aire, residuos, suelo y energía; en estas propuestas se contemplan medidas de control en caso de que exista un derrame de material, desperdicio de insumos, ejecución de estudios para conocer la calidad de los rubros ambientales planteados y tomar medidas de acción en caso de que no se cumpla con la normatividad ambiental aplicable.
7. El programa realizado está siendo implementado actualmente por el Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata y han obtenido beneficios ambientales medibles. Además, con la práctica de estas medidas se planea la obtención de la certificación ISO 14001:2004 en un periodo de dos años debido a la inversión económica necesaria.

RECOMENDACIONES

- El presente trabajo puede servir de guía para impulsar el desarrollo de programas de prevención, minimización y control de la contaminación ambiental para la Industria Azucarera en México; ya que, la producción de azúcar, como todas las actividades productivas, ocasiona impactos al ambiente, los cuales deben ser prevenidos, mitigados, corregidos o remediados.
- Las medidas propuestas en este trabajo para el Campo Cañero, pueden ser aplicadas a la Industria Azucarera del país, mediante un estudio preliminar y con las adecuaciones necesarias; considerando el entorno socio-económico, la heterogeneidad social y la racionalidad específica de los pequeños productores.
- Las medidas propuestas en este trabajo para la Industria deben ser estudiadas individualmente para las condiciones particulares del Ingenio donde se desee implementar; con los respectivos estudios técnicos, ambientales, económicos y socioeconómicos para cada medida.
- La implementación del programa de prevención, minimización y control de la contaminación requiere un estudio económico detallado, organización y asignación de responsabilidades a un equipo de trabajo, establecer las prioridades adecuadas de acuerdo a los resultados obtenidos en las evaluaciones técnicas, económicas y ambientales y elaborar un plan de acción con las medidas a implementar, los tiempos o periodos designados, la forma en la que se llevarán a cabo, los costos y resultados esperados y posteriormente la evaluación de los resultados asegurando la continuación del programa y mejora continua.
- Este trabajo sirve como base de la prevención, minimización y control de la contaminación ambiental para promover su práctica en otros sectores industriales ya que en la práctica, la prevención de la contaminación puede ser aplicada tanto al sector industrial como a todas las actividades que incluyen la generación de contaminación ambiental; tales como, la producción y consumo de energía, transporte, agricultura, construcción, comercio, minería, uso de suelo, planificación de ciudades y actividades de gobierno, entre otras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, N.; Galindo, G. M.; Contreras, C. y Fortanelli, J. M. (2009). *¿Por qué diversificar la agroindustria azucarera en México? Globalización competitividad y gobernabilidad.* 3(1), pp. 62-75.

Aroche D. (2004). *Problemática y crisis de la industria azucarera mexicana en el Marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte.* Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas de Puebla. Cholula, Puebla, México, 93 pp.

Azapagic A., Nicholas M.J., Clift R., Walker F.C., Porter D.E. (2000). *Determination of 'Best Available Techniques' for Integrated Pollution Prevention and Control: A Life Cycle Approach.* Process Safety and Environmental Protection. 78, 193-203.

CEAMA (2007). *Inventario de Emisiones a la Atmósfera del Estado de Morelos 2004.* Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente. Informe. Morelos, México. 115 pp.

CEPA (1999). Canadian Environmental Protection Act, Environmental Canada, 1999.

Cheesman O. D., 2004. *Environmental Impacts of Sugar Production.* CABI Bioscience UK Centre. Surrey UK. CABI Publishing. 272 pp.

Chen J. P. (1991). *Manual de azúcar de caña para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados.* Versión en español: García Ferrer Carlos Alberto, Álvarez Medina Constantino. 1ª ed. Editorial Limusa, México, D.F. 1176 pp.

Chittock D. G. Hughey K. (2010). *A review of international practice in the design of voluntary Pollution Prevention Programs.* Journal of Cleaner Production, In Press.

CMP+L (2011). *Guía de Producción Más Limpia en Ingenios Azucareros.* Centro Mexicano para la Producción más Limpia. Manual. México, D.F. 114 pp.

CNIAA (2008). *Manual Azucarero Mexicano 2008.* Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica. México 2008.

CNIAA (2010a). Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica. Disponible en: <http://www.camaraazucarera.org.mx/>.

CNIAA (2010b). *Desarrollo Agroindustrial de la Caña de Azúcar Zafra 1999/2000 a 2009/2010.* Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica. Decimo octava edición.

CNIAA (2011). *Manual Azucarero Mexicano 2011.* Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica. México 2011.

CNP+LH (2009a). *Guía de Producción más Limpia para el procesamiento de la caña de azúcar.* Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras. Manual. República de Honduras. 101 pp.

CNP+LH (2009b). *Guía de buenas prácticas ambientales para el procesamiento de caña de azúcar.* Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras (CNP+LH). Manual. República de Honduras. 133 pp.

Colborn T., Dumanoski D., y Myers J. P., (1997). *Nuestro futuro robado.* Ecoespaña y Gaia-Proyecto 2050, Madrid, España. 387 pp.

COLPOS (2003). *Azúcar.* Fundación Produce de Veracruz, A.C. y Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y Veracruz. Veracruz, México. 137 pp. [En línea] (www.cofupro.org.mx/cofupro/Publicacion/Archivos/penit11.pdf) 02/03/12.

COLPOS-SAGARPA (2008). *Digitalización del campo cañero de México para alcanzar la agricultura de precisión de la caña de azúcar.* Colegio de Postgraduados y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Presentación. Estado de México. 21 pp.

COLPOS-SAGARPA (2010). *Estudio de gran visión para la identificación de necesidades de riego y drenaje en las zonas de abasto cañeras y propuestas de tecnificación en zonas potenciales como base para el desarrollo de proyectos de inversión. Etapa I.* Colegio de Postgraduados y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Informe Final. Estado de México. 90 pp. [En línea] www.infocana.gob.mx/materiales/Estudios/INFORME_FINAL.pdf.

COLPOS-SAGARPA, Mejía S. E., Rivera A J., Oviedo N. E., Debernardi D. V. H., Tiscareño L. M. (2010). *Estudio de Caracterización de Zonas Potenciales de Mecanización en las Zonas de Abasto Cañeras.* Colegio de Postgraduados y Secretaría

de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Informe. Estado de México. 158 pp.

CONAE (2007). *Eficiencia en calderas y combustión*. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. 21 pp. Manual. México, D.F. [En línea] www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/.../Calderas_02.pdf 01/05/12.

CPTS (2005). *Guía Técnica General de Producción Más Limpia*. Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. CPTS-GTPML-GRL-001. Bolivia. 192 pp.

Crespo H. (1988). *Historia del Azúcar en México*. México D.F. Centro del Fondo de Cultura Económica SA de CV.

Douglas J. M. (1992). *Process synthesis for waste minimization*. Ind. Eng. Chem. Res. 31, 238-243.

Enríquez P. M. (2008). "Planeación Estratégica Para la Agroindustria de la Caña de Azúcar "La Fábrica y su Diversificación" *Memorias de la XXXI Convención Nacional ATAM, 9-12 septiembre Boca del Rio Ver. México, 104 pp.*

Enríquez, P. M. (2001). "El proceso agroindustrial de la caña de azúcar del futuro". *XXIV Convención de la ATAM. Revista de la ATAM. No. 2, Vol. 8. Impresión Unión. México, D. F. 24 pp.*

FEESA-PROASA (2011). *Guía Básica para la Transformación y el Desarrollo del Campo Cañero*. Fondo de Empresas Expropiadas del Sector Azucarero, Promotores Agrícolas S.A. Guía. México.

FIGZ (2011). *Información proporcionada por el Caso de Estudio "Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata"*. Zacatepec, Morelos 2011 y 2012.

Hugot E. (1984), *Manual para Ingenieros Azucareros*. Segunda edición en Español 1984, Compañía Editorial continental S.A. 771 pp.

INE (2006). *Inventario Nacional de Emisiones de México 1999*. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 380 pp.

INEGI (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [En línea] <http://www.censo2010.org.mx/>. 21/11/11.

INEGI (2011). *Mapa del poblado de Zacatepec municipio del Estado de Morelos*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mapa virtual de México. [En línea] <http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html> 10/05/11.

Ingaramo A., Heluane H., Colombo M., Cesca M. (2009). *Water and wastewater eco-efficiency indicators for the sugar cane industry*. Journal of Cleaner Production 17, 487-495 pp.

Khan F. I., Hossain K. A., Hawboldt K. (2008). *Sustainable development of process facilities: State-of-the-art review of pollution prevention frameworks*. Journal of Hazardous Materials, 150, 4-20.

Khan F. I., Natrajan B.R. Revathi P. (2001). *GreenPro: a new methodology for cleaner and greener process design*. J. Loss Loss Prevent Proc. 14, 307-328.

Khan F. I., Raveender V. Husain V.T., (2002). *Effective environmental management through life cycle assessment*. J. Loss Loss Prevent Proc. 15, 455-466.

LGEEPA, (2010). *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. Diario Oficial de la Federación. México 1988. Actualización 2010.

Maturana S. (1970). *El azúcar problema de México*. México, D.F.: Centro de Investigaciones Agrarias. 1970. 37 pp.

MAVDT (2005). *Guía Ambiental para el Subsector de Caña de Azúcar*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y la Sociedad de Agricultores de Colombia. Manual. República de Colombia. 90 pp.

MMA (2006). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector azucarero*. Ministerio de Medio Ambiente de España y El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Manual. Gobierno de España. 89 pp.

N. Aguilar-Rivera D. A. Rodríguez Lagunes y A. Castillo Morán (2010). *Azúcar, coproductos y subproductos en la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar*.

Revista VIRTUALPRO, Procesos industriales. Bogotá Colombia [en línea]
http://www.revistavirtualpro.com/files/ti02_201011.pdf

Ohio EPA (1993). *Ohio Pollution Prevention and Waste Minimization Planning Guidance Manual.* Office of Pollution Prevention. Manual. Columbus, Ohio. 103 pp.

ONUUDI (1999). *Manual de Producción más Limpia.* Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

Patek J., Galvic P. (1996). *An Integral approach to waste minimization in process industries.* Resour. Conserv. Recy. 17, 169-188.

Rive N. (2010). *Climate policy in Western Europe and avoided costs of air pollution control.* Economic Modelling, 27, 103-115.

Rodríguez J. E. (2005). *La dextranasa a lo largo de la industria azucarera.* Biotecnología Aplicada; Vol.22, No.1.

SAGARPA (2007). *Programa nacional de la agroindustria de la caña de azúcar 2007-2012.* Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Senado de la República. Diciembre 2007. 52 pp.

SAGARPA (2009a). *Escenario Base del Sector Agropecuario en México 2009-2018.* Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Informe. México D.F. 76 pp. [En línea]
<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Estadisticas/Paginas/EscenarioBase2008-2018.aspx> 10/02/2012.

SAGARPA (2009b). *Proyecto Nacional de Alta Rentabilidad para la Transformación del Campo Cañero Mexicano 2009. Como estrategia del PRONAC 2007-2012.* Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Senado de la República. 2009. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la caña de azúcar (CNDSCA) Informe. México, D.F.

SAGARPA (2010). *Bases técnicas para el fomento a la producción de biocombustibles en el país a partir de Caña de Azúcar. Etapa 1 Simulación del sistema productivo y su*

exploración financiera. Plan de acción. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Informe. México D.F. 119 pp.

SAGARPA-FEESA (2011). *Ingenio Emiliano Zapata.* SAGARPA- FEESA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Fondo de Empresas Expropiadas del Sector Azucarero. [En línea] <http://www.iemilianozapata.com/> 01/12/2010.

Sandoval F. (1951). *La Industria del Azúcar en la Nueva España.* México D.F.

SEMARNAT (2006). *Gestión ambiental en México.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Edición 2006. México 2006.

SEMARNAT (2008). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales. México. 2008.

SEMARNAT (2009). Compendio de estadísticas Ambientales. México 2009. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [En línea] http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2009/. 01/12/2010.

SEMARNAT (2010). Leyes, Reglamentos y Normatividad ambiental vigente. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [En línea] <http://www.semarnat.gob.mx/Pages/Inicio.aspx> 01/12/2010.

Shen T. (1999). *Industrial Pollution Prevention.* Editorial Springer. Delmar, N.Y. EUA 1999. 444 pp.

UNPASA (1963). *Estadísticas Azucareras.* Unión Nacional de Productores de Azúcar S.A. México D.F. 11 pp.

US EPA (1988). *Waste minimization opportunity Assessment Manual,* Environmental Protection Agency. EPA/625/7-88/003. Office of the Research and Development. Manual. Cincinnati Ohio, 45268.

US EPA (1992). *Facility Pollution Prevention Guide.* United States Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Manual. Washington, DC, pp. 154.

US EPA (1993). *A primer for financial analysis of pollution prevention projects.* Environmental Protection Agency. EPA/600/R-93/059. Office of Research and Development. Manual. Washington, DC. 32 pp.

US EPA (1995). *Pollution Prevention possibilities for small and medium-sized industries.* Environmental Protection Agency. EPA/600/R-95/070. Office of Research and Development. Manual. Washington, DC, pp. 190.

US EPA (1997). Emission Factor Documentation for AP-42 Section 9.10.1.1. Sugarcane Processing. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Emission Factors and Inventory Group.

US EPA (1998). Pollution prevention research strategy. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-98/123. Office of Research and Development. Manual. Washington, DC. 33 pp.

US EPA (2001). *Guide to Industrial Assessments for Pollution Prevention and Energy Efficiency.* United States Environmental Protection Agency. EPA/625/R-99/003. Office of Research and Development. Manual. Washington, DC. 474 pp.

US EPA (2010). *2010-2014 Pollution Prevention Program Strategic Plan.* Environmental Protection Agency. [En línea]: <http://www.epa.gov/p2/> 01/12/2010.

USDA (2012). *World sugar production, supply, and distribution.* United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. [En línea] <http://www.fas.usda.gov/psdonline/> 09/03/2012.

Wesche G., Payne S., Lewinski J. (2011). *Comparativo Entre Molinos de Cuatro y Seis Mazas.* Sugar Journal. [En línea] <http://www.sugarjournal.com/es> 10/05/2012.

ANEXOS

ANEXO A. Balance de materia y energía del proceso de producción de azúcar para una molienda de 300 ton caña/hora con base en el Plan de Producción Oficial 2011/2012

DATOS OBTENIDOS PLAN DE PRODUCCION 2011-2012

Base de cálculo	
Caña a Moler	300 Ton/h
Fibra % Caña	13.889 %
Pol % Caña	15.754 %
Jugo % Caña	98.571 %
Agua de imbibición	28.673 %
Brix de jugo claro	17.866 Bx
Brix de meladura	65 Bx
Bagazo% Caña	30.102 %
Cachaza % Caña	3.579 %

BALANCE DE MASA DE LA OPERACIÓN DE EXTRACCIÓN

Balance Global: Caña + Agua Imbibición + Bactericida = Jugo Mezclado + Bagazo

Agua de Imbibición:

$$\text{Imbibición \% Caña} = \frac{\text{Peso de agua de imbibición} * 100}{\text{Peso de la caña}}$$

$$\text{Peso de agua de imbibición} = \frac{\text{Imbibición \% Caña} * \text{Peso de la caña}}{100} = \frac{(28.673)(300)}{100} = 86.02 \text{ Ton/h}$$

Bagazo:

$$\text{Bagazo} = \frac{\text{Bagazo \% Caña} * \text{Peso de la caña}}{100} = \frac{(30.102)(300)}{100} = 90.31 \text{ Ton/h}$$

Jugo Mezclado:

$$\text{Jugo Mezclado} = \frac{\text{Jugo \% Caña} * \text{Peso de la caña}}{100} = \frac{(98.571)(300)}{100} = 295.71 \text{ Ton/h}$$

Nota: El bactericida no se toma en cuenta en los balances porque no es una cantidad representativa en comparación con las 300 Ton/h de caña a la entrada.

BALANCE DE ENERGÍA DE LA OPERACIÓN DE CALENTAMIENTO

Se levantan a cabo dos calentamientos, el primero se realiza con vapor vegetal obtenido del sistema de evaporación de múltiple efecto y el segundo calentamiento con vapor de escape, los datos necesarios para llevar a cabo el balance son:

PRIMER CALENTAMIENTO

Temperatura del Jugo alcalizado (J_A)	30.00	°C
Temperatura del Jugo calentado 1 (J_{C1})	70.00	°C
Calor específico del jugo (C_p)	0.89	
Eficiencia de los calentadores (η)	98.00	%
Calor latente de vaporización λ (Tablas de vapor saturado a 113.11°C y 22.88 lb/in ²)	530.72	kcal/kg
Vapor consumido en primer calentamiento V_1	20.30	ton vapor/h

SEGUNDO CALENTAMIENTO

Temperatura del Jugo alcalizado	70.00	°C
Temperatura del Jugo calentado 1	105.00	°C
Calor específico del jugo	0.89	
Eficiencia de los calentadores	98.00	%
Calor latente de vaporización (Tablas de vapor saturado a 120°C y 25 lb/in ²)	525.43	kcal/kg
Vapor consumido en el segundo calentamiento V_2	17.95	ton vapor/h

El Calor específico del jugo se calculo con la ecuación obtenida del manual azucarero de Hugot E. 1984, la cual toma en consideración la concentración en °Bx del jugo:

$$C_p = (1 - 0.006Bx)$$

Los cálculos del Vapor consumido en el primer y segundo calentamiento (V_1 y V_2) mediante, también obtenidas del manual azucarero de Hugot 1934:

$$V_1 = \frac{J_A(C_p)(Temp J_{C1} - Temp J_A)}{\lambda \left(\frac{\eta}{100} \right)}$$

$$V_2 = \frac{J_{C1}(C_p)(Temp J_{C2} - Temp J_{C1})}{\lambda \left(\frac{\eta}{100} \right)}$$

BALANCE DE MASA DE LA OPERACIÓN DE CLARIFICACIÓN Y FILTRACIÓN

Balance Global:

Jugo Mezclado + Lechada Cal + H₃PO₄ diluido + Floculante = Jugo Claro + Cachaza

Cachaza:

$$Cachaza = \frac{Cachaza \% Caña * Peso de la caña}{100} = \frac{(3.579)(300)}{100} = 10.7 \text{ Ton/h}$$

Las cantidades de Lechada de cal, H₃PO₄ diluido y Floculante se obtuvieron de acuerdo a las concentraciones que se manejan de estos productos durante la operación.

Insumo	Concentración	Flujo
Lechada de Cal	6°Be	3.90 Ton/h
H ₃ PO ₄ diluido	40 ppm	0.007 Ton/h
Floculante	4 ppm	0.0012 Ton/h

En la operación de filtración se recircula el 10% del Jugo mezclado que entra al conjunto de operaciones (clarificación y filtración).

Balance en el punto de mezcla de Jugo Mezclado y Jugo Filtrado:

Jugo Mezclado + Recirculación = 295.71 + 29.57 = 325.28 Ton/h

Jugo Claro = Mezcla (Jugo Mezclado y Recirculación) + Lechada de cal + H₃PO₄ diluido + Floculante- Cachaza

Jugo Claro = 325.28 + 3.90 + 0.007 + 0.0012 – 10.7 = 318.5 Ton/h

ANEXO B. Balance de materia y energía del proceso de producción de azúcar para el periodo correspondiente a la zafra 2010/2011 del FIEZ

Tabla A.1. Cantidades de materia prima, materiales auxiliares, productos y subproductos

Entrada de material	Cantidad (ton)	Salida de producto	Cantidad (ton)
Materia Prima		Producto	
Caña Molida en Zafra 2010/2011	1,133,780.94	Azúcar estándar	145,062.15
Materiales Auxiliares		Subproducto	
Óxido de calcio	716.72	Miel Final	42,940.00
Ácido Fosfórico	84.91	Bagazo	377,333.63
Hidróxido de Sodio	460.11	Cachaza	47,736.00
Cloruro de Sodio	32.50	Ceniza de calderas	14,654.88
Acondicionador de lodos (Poliacrilato de sodio)	1.82		
Inhibidor de corrosión (Sulfito de sodio catalizado)	1.91		
Anti-Espumante (Éter Plietilenglicol)	1.92		
Inhibidor de incrustación de Evaporación (Poliacrilatos de sodio)	0.92		
Inhibidor de incrustación de Calderas (Fosfatos de sodio)	1.18		
Bactericida-A (Cloruro de Benzalconio)	21.00		
Bactericida-B (Ditiocarbamatos)	3.65		
Floculante para jugo (Poliacrilamida aniónica)	8.28		
Tensoactivo (Polietilenglicol)	3.00		
Nucleos Cristalinos (Sacarosa)	0.56		
Decolorante para jugo claro (Resinas)	0.23		
Dextranasa (Enzima Dextranasa)	2.00		
Biocida (Hipoclorito de sodio)	7.10		
Total	1,135,128.75	Total	627,726.66

Tabla A. 2. Materiales Auxiliares, de empaque y operativos

Entrada de material	Cantidad (ton)
Materiales Auxiliares	
Anti-Espumante para fermentación (Mezcla de óxido de propileno, etileno, polisiloxano de silica de alto peso molecular y emulsificante)	4.58
Alguicida (Ditiocarbamato de sodio)	5.60
Inhibidor de incrustación de Torre de Enfriamiento (Fosfanatos/Acrilato)	4.40
Empaque de Materiales	
Bolsa sin laminar para envase de azúcar (Polipropileno)	2,921.00
Hilo torsal (Poliéster)	2.61
Materiales Operativos	
Agua de Imbibición	352,617.21
Jugo Mezclado	1,109,069.50
Jugo Clarificado	1,083,709.27
Meladura	330,023.00
Combustóleo	4,284.39

Tabla A.3 Consumo de energía y cantidad de combustible utilizado

Consumo anual	Cantidad	Unidad
Suministro externo	2,428,037	kWh

Área de consumo	Tipo de combustible	Consumo anual	
		Cantida	Unidad
Proceso productivo y Servicios auxiliares	Combustóleo Pesado	2,184,504	L
	Bagazo	167,625.92	ton
Autogeneración de energía eléctrica	Combustóleo Pesado	2,184,504	L
	Bagazo	167,625.92	ton