

Universidad de Matanzas
“Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ingenierías
Departamento de Química e Ingeniería Química



TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO: *Diagnóstico ambiental de la industria
azucarera Jesús Rabí.*

AUTORA: *Yadira Rodríguez Hernández*

TUTORES: *Dra. C Juana Zoila Junco Horta*

MSc. Manuel Adrián Perera Sánchez

Matanzas, Cuba. 2011

Declaración de Autoridad

Declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y como tal autorizo a la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” y la empresa azucarera “Jesús Rabí” a hacer uso del mismo.

Yadira Rodríguez Hernández

Dedicatoria

Es un honor para mí el poder dedicar este trabajo que es la culminación de mi propósito como estudiante a mi madre, a mi padre y a mi novio porque siempre estuvieron conmigo, depositándome su confianza, apoyándome y brindándome su sabiduría, en el surgimiento de cada etapa de mi vida.

A mi familia que tuvo esa paciencia admirable y esa confianza en mí de saber que no los iba a defraudar.

Agradecimientos

“Agradecer una ayuda, es cualidad muy simple pero de gran peso moral.”

Es por eso que quiero dar mis más sinceros agradecimientos.

- *A la Revolución por brindarme la oportunidad de estudiar, de conocer, de disfrutar y de aprender todo lo que sé en todos estos años, facilitando así que hoy se haga realidad mi sueño.*
- *A mis padres por ser la razón de mi existir, por contribuir en mi formación, por todo su apoyo, cariño y constante preocupación hacia mí.*
- *A mi novio, por su afecto, por su dedicación, por su ayuda durante todo este tiempo y por ser la fuerza motriz de mi vida.*
- *A toda mi familia por contribuir en mi formación y por la constante preocupación.*
- *A mi maravilloso grupo, por todos los momentos compartidos, por su confianza, por su verdadera amistad que gracias a eso conseguí seguir adelante y que gracias al apoyo de uno al otro hoy logramos el sueño de todos.*
- *Al colectivo de Profesores que con amor y entrega nos han dado lo mejor de sí.*
- *A mis tutores Dr. Juana Zoila Junco Hortay MSc. Manuel Perera Adrian Sánchez por todo lo que aprendí con ellos, por su atención, dedicación y ayuda.*
- *A los trabajadores de Jesús Rabí, en especial a Elieser Alfonso Paret, Amaury Valdés Ortiz y Felipe Padrón Sosa por dedicar parte de su valioso tiempo y compartir conmigo sus ideas.*

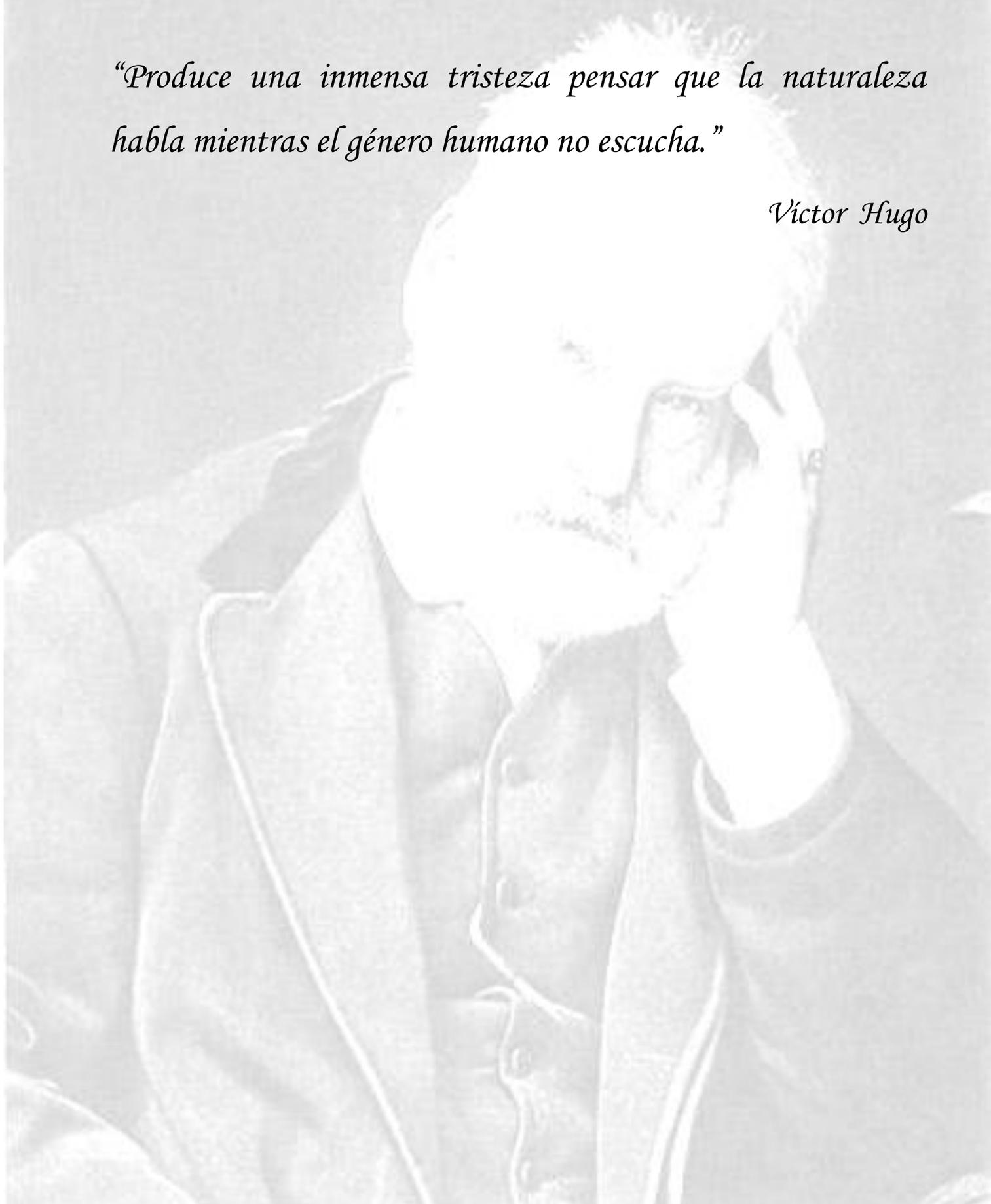
Alcanzar esta meta sólo ha sido posible gracias al esfuerzo de todos aquellos que de una forma u otra han estado muy cerca de mí.

A todos muchas gracias.

Pensamiento

“Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla mientras el género humano no escucha.”

Victor Hugo



Resumen

El presente trabajo de diploma fue realizado en la Industria Azucarera Jesús Rabí perteneciente al municipio de Calimete, la cual es productora fundamentalmente de azúcares. Esta investigación identifica los problemas ambientales que genera la misma mediante un diagnóstico ambiental. Para esto se calcularon las emisiones de gases invernadero (monóxido de carbono y dióxido de carbono), partículas suspendidas totales y dioxina. Además se determinaron las pérdidas de vapor y agua existentes en la industria y se calculó un índice de afectación ambiental a partir de un *software* que se encuentra en fase de implementación. Como resultado se comprobó que la industria presenta problemas medio ambientales, con pérdidas significativas; en el caso del agua de 6374,27 t que implica una pérdida económica en el orden de los 684,4 CUC y para el vapor en el período de estudio arrojó un valor de 798,77 t que equivale a 8610,74 CUC. Por otra parte, las emisiones a la atmósfera ascienden con valores de 0,88 t, para el CO; 279,14 t, de CO₂; 103,5 t de PST y 0,0258 t de dioxinas. El índice de afectación ambiental calculado indicó que el desempeño ambiental de la fábrica es regular.

Summary

This dissertation was conducted in the Sugar Industry Jesús Rabí in the municipality of Calimete, which is basically sugar producer. This research identifies the environmental problems generated by the same environmental analysis. For this we calculated the emissions of greenhouse gases (carbon monoxide and carbon dioxide), total suspended particulates and dioxins. Also identified losses and water vapor existing in the industry and calculated an index of environmental involvement from software that is being implemented. As a result it was found that the industry presents environmental problems, with significant losses, in the case of 6374,27 t water involving an economic loss in the order of 684,4 CUC and steam in the study period showed value equivalent to 798,77 t; 8610,74 CUC. Moreover, emissions to the atmosphere is with values of 0,88 t for CO; 279,14 t of CO₂; 103.5 t PST and 0,0258 t of dioxins. The rate of environmental impairment calculation indicates that the plant's environmental performance is average.

Índice

	Páginas
Introducción.....	1
Capítulo 1: Análisis bibliográfico.....	3
1.1 Situación ambiental en el mundo.....	3
1.2. Ley de medio ambiente. Ley 81.....	6
1.3. Normas ISO 14001 como criterio para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible.....	7
1.4. Gestión ambiental. Concepto.....	9
1.5. Impacto ambiental.....	10
1.6. Evaluación del impacto ambiental.....	10
1.7. Indicadores ambientales a considerar en las evaluaciones ambientales de la agroindustria azucarera.....	11
1.8. Identificación de las actividades del sector azucarero que generan impacto ambiental.....	13
1.9. Efectos ambientales potenciales en la industria azucarera.....	14
1.10. Sistema para el Control de la Actividad Ambiental en las Fábricas de Azúcar de la Provincia de Matanzas" (CITMAzúcar).....	17
1.11. Conclusiones del Capítulo.....	18
Capítulo 2: Metodología de la investigación.....	19
2.1. Ubicación de la Industria Azucarera Jesús Rabí.....	19
2.2. Descripción de los flujos tecnológicos del área de industria del central azucarero Jesús Rabí.....	20
2.2.1 Flujo de Producción.....	20
2.2.1.1. Etapa de manipulación y preparación de la caña.....	20
2.2.1.2. Etapa de extracción.....	20
2.2.1.3. Etapa de purificación.....	21

2.2.1.4. Etapa de concentración.....	22
2.2.1.5. Etapa de cristalización.....	22
2.2.2. Flujo de vapor.....	23
2.2.3. Flujo del sistema de vacío y condensación. (Ver anexo 3).....	23
2.2.4. Sistema de tratamiento de residuales.....	24
2.3. Diagnóstico ambiental.....	24
2.4. Metodología de los cálculos realizados.....	26
2.4.1. Cálculos de las pérdidas de vapor por orificios.....	26
2.4.1.1. Implicaciones económicas por pérdidas de vapor.....	26
2.4.2. Cálculo del calor perdido.....	27
2.4.3. Cálculo de la pérdida de combustible (Bagazo).....	27
2.4.3.1. Implicaciones económicas por pérdida de combustible.....	28
2.4.4. Pérdida de agua por orificios.....	28
2.4.5. Pérdidas de agua en el enfriadero.....	28
2.4.5.1. Implicaciones económicas por pérdidas de agua.....	29
2.4.6. Cálculo de la pérdida de guarapo.....	29
2.4.7. Cálculo de pérdida de azúcar.....	29
2.4.7.1. Implicaciones económicas por pérdida de azúcar.....	30
2.4.8. Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO y CO ₂), Partículas Suspendidas Totales (PST) y dioxinas.....	30
2.4.8.1. Cálculo del volumen de los gases secos.....	30
2.4.8.2. Cálculo del Calor sensible.....	31
2.4.8.3. Cálculo del Calor útil.....	31
2.4.8.4. Cálculo del bagazo disponible.....	32
2.4.8.5. Cálculo del bagazo útil.....	32

2.4.8.6. Cálculo del bagazo quemado.....	32
2.4.8.7. Cálculo de las estimaciones de las emisiones de CO.....	32
2.4.8.8. Cálculo de las estimaciones de las emisiones de (CO ₂).....	32
2.4.8.9. Cálculo de las estimaciones de las emisiones de partículas suspendidas totales (PST).....	33
2.4.8.10. Cálculo de las estimaciones de las emisiones de dioxinas.....	33
2.5. Metodología para la determinación del índice de afectación ambiental de la industria Jesús Rabí.....	33
Capítulo 3: Análisis y discusión de los resultados.....	34
3.1. Resultados del Diagnóstico Ambiental.....	34
3.2. Cuantificación de las pérdidas detectadas en el diagnóstico.....	36
3.2.1. Pérdidas de vapor obtenidas.....	36
3.2.2. Pérdidas de energía y de combustible producidas.....	38
3.2.3. Pérdidas de agua originadas por orificios y por enfriadero.....	39
3.2.4. Resultados de la pérdida de guarapo detectada.....	41
3.2.5. Resultados de las emisiones de efecto invernadero (CO y CO ₂), Partículas suspendidas totales (PST) y dioxinas (Dx).....	41
3.3. Análisis del índice de afectación en la industria azucarera Jesús Rabí.....	43
Conclusiones.....	46
Recomendaciones.....	47
Bibliografía.....	48
Anexos	

Introducción

El impetuoso crecimiento de la sociedad contemporánea, condicionado por el alto nivel de desarrollo científico técnico se asocia con daños cada vez mayores a las condiciones ambientales en las que el hombre se ha adaptado a vivir. Hoy se puede asegurar que producto de la acción humana se está modificando la composición química y física de la atmósfera, introduciendo transformaciones que pueden variar el clima actual, no sólo en el ámbito local sino también a escala global. Estas modificaciones se reflejan, además, en el rápido deterioro de los materiales y en afectaciones de diverso grado al medio ambiente y a la salud humana. (Moreno, 2000).

La preocupación y atención de Cuba sobre la protección de los recursos naturales y el medio ambiente ha aumentado en los últimos tiempos reflejándose esta atención en el establecimiento de reglamentaciones y leyes ambientales por parte del gobierno cubano (Ley No 81 del Medio Ambiente, del 11 de julio 1997).

La insuficiente atención y control de los problemas ambientales generados por las actividades productivas ha sido identificado como una de las carencias más importantes del quehacer ambiental nacional en los últimos años. Del total de fuentes puntuales de contaminación inventariadas en el país, más del 70 % corresponden a instalaciones industriales y agropecuarias (Soares, 2010).

Específicamente la industria azucarera, es una de las que provoca mayor impacto negativo sobre el medio ambiente, ya que en ella confluyen las emisiones de gases de efecto invernadero, elevadas emisiones de residuales con una alta demanda química y bioquímica de oxígeno, así como una alta incidencia sobre el suelo, dado por los métodos de producción y cosecha de la caña. (Perera, 2002)

El desarrollo de la industria azucarera y sus derivados, con sus procesos de altos índices de consumo de agua, empleo de nutrientes y desarrollo de una gran cantidad de materia orgánica, provocan el vertimiento de grandes volúmenes de residuales con un elevado contenido de materia orgánica, los cuales deben ser tratados adecuadamente a fin de reducir las afectaciones que por contaminación ambiental experimenta el mundo actual.

El central azucarero Jesús Rabí situado en el municipio de Calimete, provincia de Matanzas surge como parte del proceso de reorganización de la estructura organizativa del Ministerio del Azúcar. Este tiene como objetivo producir y comercializar de forma

mayorista azúcares, mieles y derivados así como subproductos tales como ceniza, cachaza, bagazo, residuos agrícolas de la cosecha y otros provenientes de la agroindustria. (Perera, 2002).

Esta fábrica genera residuales agresivos que pueden provocar deterioro ambiental de los cuerpos receptores, contaminación atmosférica que afecta al sistema biótico e inciden en el calentamiento global, gasto excesivo de agua lo cual hace más ineficiente su proceso de producción, además de encarecerlo. También presentan grandes pérdidas de vapor y por consiguiente pérdidas de energía.

Una alternativa de contribuir con la disminución de la afectación ambiental que provoca esta industria es identificar los problemas de contaminación en el origen y proyectar su solución.

Dada la responsabilidad que deben asumir las actividades sociales y productivas en la sociedad cubana es de gran importancia establecer las formas de control de la afectación ambiental que provoca el proceso productivo de esta fábrica.

En correspondencia con lo antes expuesto se declara como **Problema de investigación:**

La industria azucarera “Jesús Rabí” genera residuales contaminantes que inciden en la calidad del entorno, su imagen corporativa, su eficiencia y competitividad.

Se define como **Hipótesis**

Si se identifican los problemas ambientales que genera la industria azucarera Jesús Rabí podrá mejorarse el desempeño ambiental y permitirá a la industria tomar acciones que beneficien su competitividad.

Objetivo General

Realizar un diagnóstico ambiental en la industria azucarera Jesús Rabí para identificar las afectaciones que provoca al entorno.

Objetivos específicos

- Identificar problemas ambientales del proceso productivo en la industria azucarera Jesús Rabí.
- Calcular las emisiones de gases de efecto invernadero (CO y CO₂), partículas suspendidas totales (PST) y dioxinas (Dx), así como las pérdidas existentes.
- Determinar el índice de afectación ambiental de la industria azucarera Jesús Rabí.

Capítulo 1: Análisis bibliográfico

Este capítulo constituye la fundamentación teórica de la investigación, a la vez que presenta un análisis bibliográfico de la siguiente temática.

- Situación ambiental en el mundo.
- Ley del Medio Ambiente. Ley 81.
- Normas ISO 14001 como criterio para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible.
- Gestión ambiental. Concepto.
- Impacto ambiental
- Evaluación del impacto ambiental
- Indicadores ambientales a considerar en las evaluaciones ambientales de la agroindustria azucarera.
- Efectos ambientales potenciales y las medidas de control de los diferentes aspectos ambientales en la industria azucarera, de acuerdo con el área donde se desarrolla la actividad.
- Identificación de las actividades del sector azucarero que generan impacto ambiental.
- Sistema para el control de la actividad ambiental en las fábricas de azúcar de la provincia de matanzas" (CITMAzúcar).

1.1 Situación ambiental en el mundo

El interés sobre los aspectos medioambientales siempre le fue inherente al hombre desde la antigüedad, pero no es hasta la segunda mitad del siglo XX, que se comienza a tener conciencia de los problemas relacionados con el medio ambiente producto de los cambios climáticos que se estaban generando en la tierra (Ibáñez, 2000).

En 1971 en Estocolmo, Suecia, se realiza la primera conferencia que trata sobre este aspecto, dirigida fundamentalmente al control de la contaminación del aire, agua y ruido, pero lejos de minimizarse los problemas, estos se agudizaron y fue entonces que en 1992 se celebra en Río de Janeiro, Brasil, La Cumbre de la Tierra,

donde abordó la problemática ambiental desde una óptica mucho más profunda al afirmar que “la principal causa del deterioro continuo del medio ambiente global son los patrones de consumo y producción no sostenible, particularmente en los países industrializados” (Wagner, 1996).

La creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) dio un importante impulso de la política y la gestión ambiental en el ámbito nacional. Sobre la base de cubrir estas exigencias se desarrolló la Estrategia Ambiental Nacional (EAN), cuyo diseño comenzó en 1995 y se prolongó hasta mediados de 1997, en que resultó aprobada por el gobierno (CITMA, 2007).

La Estrategia Ambiental Nacional, es la expresión de la política ambiental cubana, en la cual se plasman las proyecciones y directrices principales de esta. A partir de su elaboración se comenzó a desarrollar el Sistema de las Estrategias Ambientales Sectoriales, en un esfuerzo conjunto del CITMA y aquellos organismos de la administración central del estado con una incidencia significativa en el medio ambiente. En este mismo año se aprobó la Ley 81 del Medio Ambiente y queda la EAN fortalecida, ya que en el Título Tercero, artículo 18, inciso a) se menciona a esta última, como uno de los instrumentos de la política ambiental cubana (García, *et al.* 2009).

En 1998, el comité técnico de normalización sobre Gestión Ambiental, presidido por la dirección de medio ambiente del CITMA, aprobó la adopción, como normas cubanas, de cinco de los estándares internacionales de la Organización Internacional de Normalización (ISO, siglas en inglés) sobre los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA). El diseño e implementación del SGA es uno de los elementos esenciales para la ejecución de un diagnóstico ambiental inicial de la institución, aunque no es un requisito obligatorio de la norma ISO 14001, se le recomienda a las organizaciones que carezcan de un SGA y estén comprometidas a iniciarlo, con el fin, de conocer su situación actual con respecto al medio ambiente, por medio de una revisión donde se identifican los aspectos ambientales como base para establecer dicho sistema (García, *et al.* 2009).

En los últimos años se han desarrollado las actividades para mejorar la situación ambiental en Cuba y elevar la conciencia pública en cuantos asuntos ambientales y respuestas a problemas socio-ambientales a nivel local, que se relacionan con

problemas ambientales globales. Además se dieron pasos concretos para avanzar en la construcción del desarrollo sostenible (Pérez, 2000).

La Estrategia Ambiental Nacional de la República de Cuba (EAN) establece entre otros, cuatro principios estratégicos, principios en los que se sustenta el trabajo ambiental desde el ángulo de esta tesis (CITMA, 2007).

1. Coadyuvar al desarrollo económico sobre bases sostenibles.
2. Proyección de la ciencia cubana en función de contribuir a la solución de los principales problemas ambientales.
3. Perfeccionamiento de la legislación ambiental y el logro de su cumplimiento real, eficaz y sistemático.
4. Perfeccionamiento y desarrollo de nuevos instrumentos de gestión ambiental.

1.2. Ley de medio ambiente. Ley 81

La ley 81 se le denomina ley del medio ambiente. Tiene como objetivo “establecer los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la gestión ambiental del estado, las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general, a fin de proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible”.

Plantea que el estudio del impacto ambiental es “una descripción por menorizada de las características de un proyecto de obra o actividad que se pretenda llevar acabo incluyendo su tecnología y que se presenta para su aprobación en el marco de proceso de evolución de impacto ambiental”.

Esta ley surge debido a que las actuales condiciones de desarrollo económico y social del país, demandan un marco legal más acorde con las nuevas realidades, en tanto la citada legislación anterior ha sido en buena medida sobre pasada por los más recientes avances en materia ambiental en el ámbito nacional e internacional. Asegura condiciones ambientales que no afecten o pongan en riesgo la salud o la vida de los trabajadores (Ley 81).

1.3. Normas ISO 14001 como criterio para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible

Durante la década de 1980, la *International Organization for Standardization* (ISO) emprendió la tarea de estandarizar un aspecto de la administración organizacional, como lo fue la administración de la calidad. Por tal motivo, el comité técnico (TC) 176 comenzó a elaborar algunas de las normas más exitosas en la historia de ISO, cuyo resultado fue la serie ISO 9000, que hasta la fecha de hoy ha sido adoptada y reconocida mundialmente.

Como secuela de este importante éxito, las labores de ISO continúan, en vista de su demostrada capacidad para desarrollar normas organizacionales. En tal sentido, esta organización decidió incursionar y participar activamente en la elaboración de normas de control ambiental, en virtud de que el problema ambiental ha adquirido una destacada posición de interés nacional y mundial (Moreno, 2000).

Los temas cubiertos en ISO 14000 pueden dividirse en dos áreas separadas. La primera se relaciona con la administración de una organización y sus sistemas de evaluación y la segunda, con herramientas ambientales para la evaluación del producto. Como se muestra en la figura siguiente, **la evaluación de la organización** consiste en tres subsistemas que incluyen el sistema de gestión ambiental, la auditoría ambiental y la evaluación del desempeño ambiental. **La evaluación del producto** consiste en tres aplicaciones separadas e incluye aspectos ambientales en los estándares de producto, clasificación ambiental y la evaluación de ciclo de vida.

El documento ISO 14001 llamado “Sistemas de Gestión Ambiental - Especificación con Guía para su Uso” son indiscutibles los de mayores consecuencias en la serie ISO 14000. Esta norma establece los elementos del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) que las organizaciones deben cumplir para lograr su registro o certificación después de pasar una auditoría de un tercero independiente debidamente registrado (Moreno, 2000).

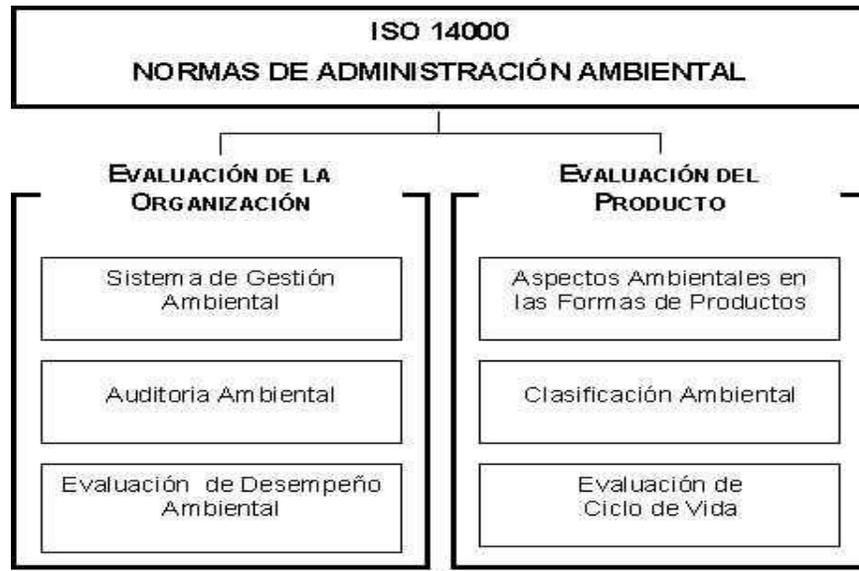


Figura 1: Normas de administración ambiental. *Fuente:* (Moreno, 2000).

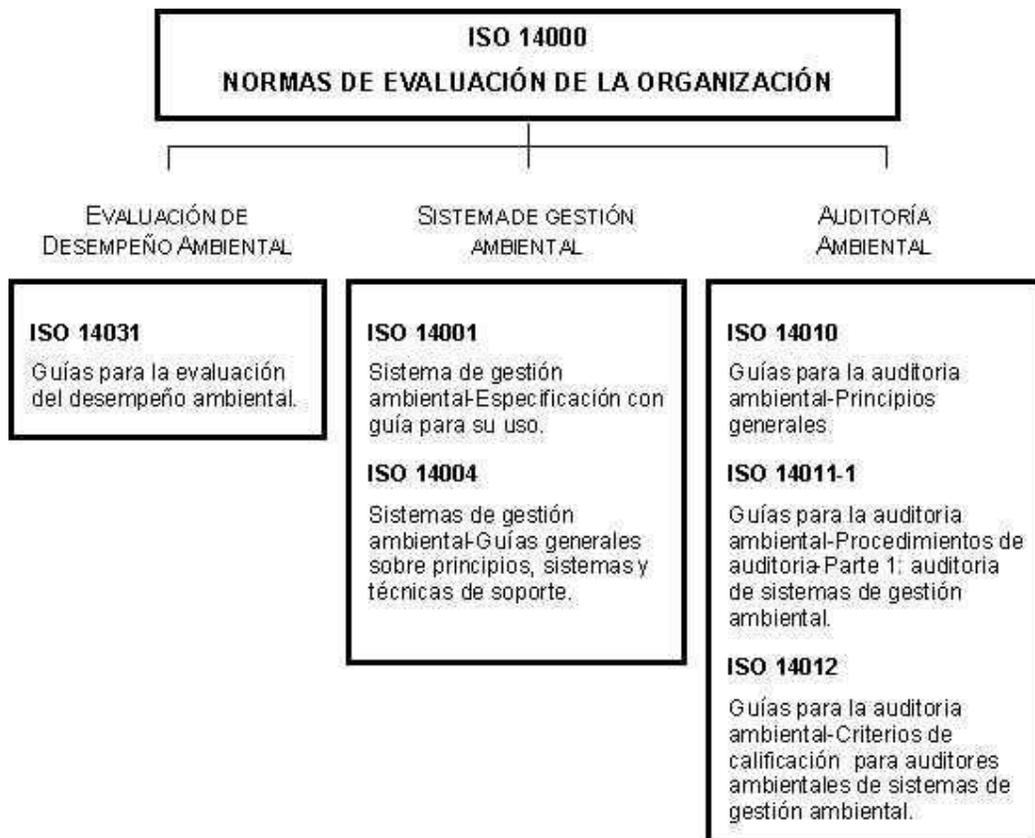


Figura 2: Normas de evaluación de la organización. *Fuente:* (Moreno, 2000).

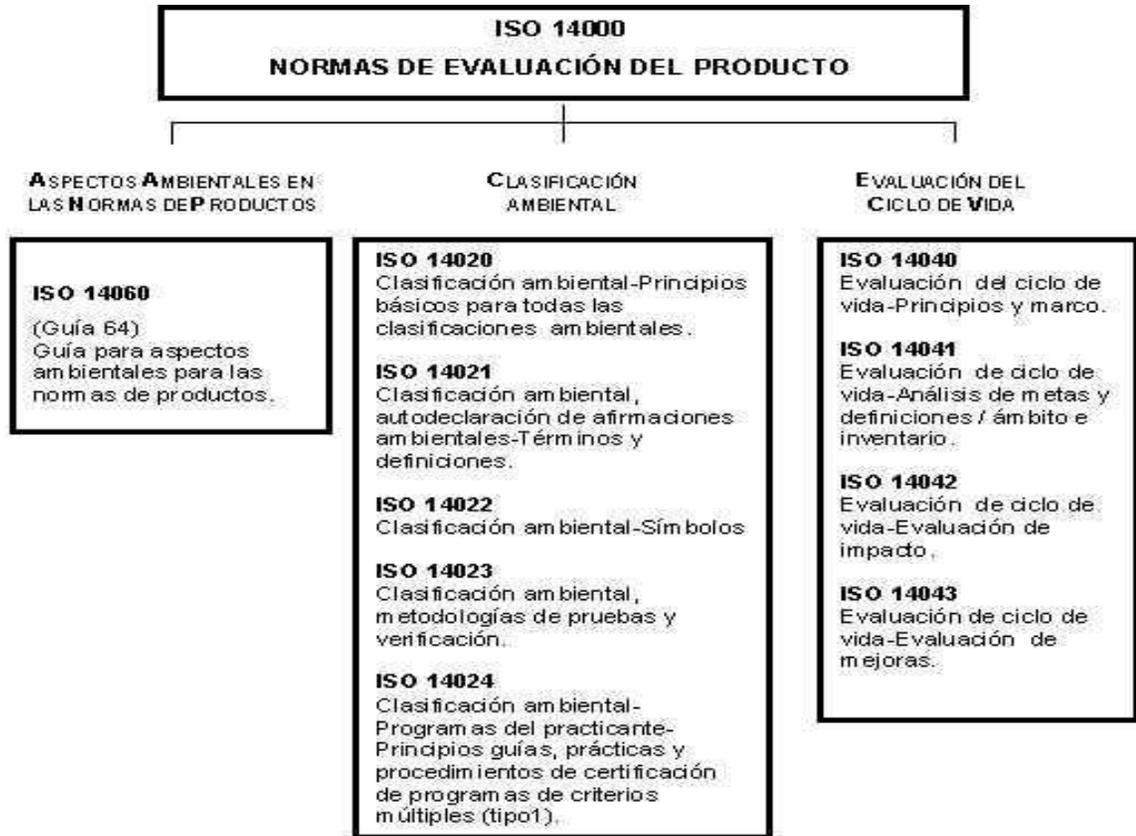


Figura 3: Normas de evaluación del producto. *Fuente:* (Moreno, 2000).

1.4. Gestión ambiental. Concepto.

Gestión ambiental se define, según Russa (2002) como el instrumento teórico y técnico para alcanzar determinado modelo de desarrollo sustentable. Según Moreno (1999), es el conjunto de acciones, normativas, administrativo, operativo que implementa el Estado para alcanzar un grado de sustentabilidad ambiental, el planeamiento y el control sistemático de la relevancia del medio ambiente en una determinada organización.

La gestión ambiental se ha convertido en uno de los aspectos más relevantes de las sociedades modernas preocupadas del deterioro y agotamiento de los recursos naturales. García (2004) sostiene que las expectativas gubernamentales son crecientes por parte de los clientes sobre la gestión ambiental como práctica legítima en las instalaciones, especialmente en áreas ecológicamente sensibles.

La autora concuerda con lo expuesto por Russa (2002), Moreno (1999) y García (2004) y considera además que no existen restricciones a la imaginación para incorporar nuevas variantes y utilización de otros instrumentos para alcanzar una gestión ambiental adecuada en los procesos tecnológicos de la actividad económica de la provincia.

1.5. Impacto ambiental

El impacto ambiental constituye una alternativa significativa a causa de las acciones humanas; su trascendencia puede incidir en la vulnerabilidad territorial. Esta es múltiple; puede presentarse respecto al riesgo de erosión, por la contaminación de acuíferos u otras. Esta diversidad de facetas siempre debería ponerse de manifiesto en una evaluación de impacto ambiental (Russa, 2002).

La consideración del impacto negativo sobre el medio contrapone los conceptos de fragilidad, singularidad y rarezas, a las consideraciones de tipo técnico analizadas en los estudios de capacidad (Espinosa, 2001).

Es criterio de esta autora que el impacto ambiental debe tenerse siempre presente ante cualquier actividad investigativa que se vaya a desarrollar.

1.6. Evaluación del impacto ambiental

La evaluación de impacto ambiental (EIA) es un instrumento de política ambiental adoptado actualmente en numerosas jurisdicciones (países, regiones o gobiernos locales, así como por organizaciones internacionales como bancos de desarrollo y entidades privadas). Se reconoce en tratados internacionales como un mecanismo potencialmente muy eficaz de prevención de los daños ambientales y de promoción del desarrollo sustentable. Su formulación ocurrió por la primera vez en los Estados Unidos, a través de una ley aprobada en 1969. A partir de entonces, la EIA se diseminó, alcanzando hoy una difusión mundial (Villegas, 2006).

“La evaluación de impacto ambiental como un instrumento nacional debe ser llevada a cabo para actividades propuestas que tengan probabilidad de causar un impacto adverso significativo en el ambiente, y sujetas a una decisión de la autoridad nacional competente” (Espinosa, 2001).

La industria azucarera, constituye necesariamente una industria potencialmente contaminadora de gran envergadura, sobre todo a los cuerpos receptores (cuencas subterráneas e hidrográficas). Los impactos ambientales de dicha industria provocan una incidencia directa en la población, ya sea por la emisión de partículas, gases contaminantes y residuales sólidos o líquidos emitidos que dificultan el saneamiento ambiental de los asentamientos, provocado fundamentalmente por el atraso tecnológico de la industria y la escasa educación ambiental de los colectivos laborales y población en general. Por lo que se hace inevitable prestar un gran interés al impacto ambiental que estos provocan desde la fase agrícola hasta la fase industrial del proceso (Perdigón, *et al.* 2004).

La autora coincide con lo expuesto por los autores reflejados.

1.7. Indicadores ambientales a considerar en las evaluaciones ambientales de la agroindustria azucarera

A continuación se muestra un sistema de indicadores de sostenibilidad que pueden ser empleados en las industrias azucareras cubana. El monitoreo sistemático de estas variables ambientales permitirá a dichas industrias mantener un adecuado control de su desempeño ambiental, lo que posibilitará la toma de medidas oportunas que eliminen o mitiguen los impactos negativos causados al medio ambiente (Leiva, *et al.* 2007).

Tabla 1.1: Indicadores ambientales

Variable: Tierra		
Indicadores de presión	Indicadores de estado	Indicadores de respuestas
<ul style="list-style-type: none"> • Uso de fertilizantes químicos y pesticidas. • Deforestación • Cambio en el uso de la tierra 	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación de los suelos. • Producción agrícola. • Rendimiento del cultivo. • Cambios en la condición de la tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Programa de Ordenamiento territorial. • Gastos en Investigación y Extensión agrícola. • Inversión en programas de diversificación de cultivos (\$). • Agricultura ecológica.
Variable: Biodiversidad		
<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida anual de áreas naturales (ha). 	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de áreas naturales. • Especies en peligro 	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje del territorio protegido. • Inventario de biodiversidad

	<p>(como % del total).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tasa de extinción de especies (%). • Tasa anual de fragmentación de ecosistemas (%). • Porcentaje de especies endémicas. 	<p>(sí/no).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recursos invertidos en investigación (\$). • Educación en biodiversidad.
Variable: Agua Potable		
<ul style="list-style-type: none"> • Extracción anual de agua (m³). • Consumo anual de agua per cápita (m³). • Vertimientos no tratados (m³). • Carga de sólidos (t/año). • Asentamientos humanos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recurso de agua per cápita (m³). • Reservas de agua (m³). • Ofertas hídricas (m³/año). • Índice de calidad de aguas. • Calidad de aguas en cuencas abastecedoras. • Fuentes abastecedoras con mala calidad de agua (%). • Calidad y disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de la población con acceso a agua potable. • Porcentaje de la población con acceso a alcantarillado. • Números de acueductos. • Sistema de tratamiento. • Volumen de aguas tratadas (% del total). • Cobros Tasa de aprovechamiento. • Planes de manejo de aguas. • Normatividad. • Consejo de cuencas.
Variable: Uso de energía		
<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de energía per cápita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de energía total. • Población con energía eléctrica (%). • Energía producida/energía consumida (%). • Relación energía/renovable/no renovable (%). • Costo de energía (\$/kW). 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial de bioenergías. • Recursos destinados a planes integrales de eficiencia energética.

Fuente: (Leiva, *et al.* 2007).

1.8. Identificación de las actividades del sector azucarero que generan impacto ambiental

- El impacto ambiental del proceso productivo azucarero comienza en la adecuación del sitio de siembra de la caña de azúcar, lo cual trae como consecuencia la deforestación (pérdida de la biota existente); nivelación de tierras (cambio del patrón de drenaje); construcción de obras de riego (bucos, lagunas, pozos profundos).
- El cultivo propiamente dicho requiere del control de plagas, utilizando para ello el manejo integrado de plagas (MIP) a través de un control biológico y en casos extremos se utilizan biocidas, que en muchos casos son biodegradables y se transportan principalmente por las aguas.
- El polen de espigas genera enfermedades en los humanos tales como: alergias y serias afecciones respiratorias. También altera la microflora del suelo modificando su fertilidad.
- El transporte de la caña a través de camiones deteriora las vías por compactación del suelo.
- Todas las fases del proceso de producción de azúcar en la fábrica requieren el uso de grandes cantidades de agua que posteriormente requerirán ser tratadas, es decir, al proceso entra agua limpia y al finalizar se expide el agua con una alta carga orgánica, aceites y grasa, por lo cual se debe depurar el agua a través de lagunas de oxidación en otro sistema de tratamiento de agua industrial (Moreno, 2000).

Los efectos sobre el medio ambiente típicos de este ámbito que se originan durante la fabricación del azúcar se deben a:

- Aguas residuales del lavado de las remolachas y de la caña, de la central de calderas (agua para desenlodamiento de las calderas) y de la purificación del extracto en las estaciones de evaporación y cocción (condensado sobrante y agua de limpieza), de la refinación (agua de regeneración de los intercambiadores iónicos), de la producción de alcohol, levadura, papel o tablero

aglomerado (si la melaza y el bagazo se transforman en la propia empresa), de la limpieza de los patios y de las precipitaciones.

- Emisiones al aire procedentes del sistema de calderas (gases de humo de los procesos de combustión de materiales sólidos, líquidos y gaseosos) sustancias volátiles (hollín y ceniza), de la preparación de la materia prima, de la extracción, de la purificación del jugo y de su espesamiento (amoníaco) así como de reacciones bioquímicas de los componentes orgánicos de las aguas residuales en los estanques estratificados (amoníaco y ácido sulfúrico).
- Residuos sólidos procedentes de la preparación de la materia prima (tierra, restos de plantas), de los generadores de vapor (ceniza) y de la purificación del extracto (lodo de filtros).
- Cultivo, cosecha, almacenamiento y purificación de la materia prima (Esparza; Campos, 2006).

1.9. Efectos ambientales potenciales en la industria azucarera

A continuación se describen los efectos ambientales potenciales y las medidas de control de los diferentes aspectos ambientales, de acuerdo con el área donde se desarrolla la actividad.

Tabla 1.2: Efectos ambientales potenciales

Áreas	Aspectos ambientales	Efectos ambientales potenciales	Medidas de control
Cultivo	Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Modificación del drenaje interno y externo. • Modificación de la fertilidad • Incremento de la pérdida del suelo. • Cambio en el patrón de uso del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de tecnologías adecuadas al sitio de desarrollo. • Control continuo de fertilidad • Optimizar el sistema de riego.
		<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación por nutrientes y 	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección y disposición

	Agua	<ul style="list-style-type: none"> • pesticidas. • Limitaciones para otros usos • Afectación de acuíferos. 	<ul style="list-style-type: none"> • permanente. • Planes para minimizar la generación de desechos en su fuente de origen.
Recepción de caña	Generación de desechos sólidos no peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación basura • Presencia de roedores e insectos • Pérdidas económicas • Afectación de la salud 	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección y disposición permanente • Planes para minimizar la generación de desechos en su fuente de origen
	Energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado consumo 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes de energía ecológicas (hidroelectricidad)
Molienda	Generación de desechos sólidos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del agua • Contaminación del suelo • Afectación de la salud • Contaminación del producto 	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento adecuado. • Revisión periódica • Uso de equipos de protección.
	Generación de desechos sólidos no peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de basura • Presencia de roedores e insectos • Pérdida de equipos por inadecuada manipulación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección y disposición permanente • Planes para minimizar generación de desechos en sus fuentes de origen.
	Generación de aguas servidas	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Plantas locales de tratamiento.
	Energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado consumo 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes de energía ecológicas.
	Generación de	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación de la salud • Contaminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de equipos de protección auditiva.

	ruido	sónica	• Uso de tecnología silenciosa.
Refinería	Generación de desechos sólidos no peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de basura • Presencia de roedores e insectos • Riesgo de incendio 	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección y disposición permanente. • Planes para minimizar la generación de desechos. • Uso de equipos contra incendios.
	Generación de efluentes y emisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del agua • Contaminación del aire 	• Uso de equipos extractores
	Manejo de materiales peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación de la salud • Riesgo de incendio 	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento y manejo adecuado. • Uso de equipos contra incendios.
	Generación de aguas servidas	• Contaminación del agua	• Planta de tratamiento
	Energía eléctrica	• Elevado consumo	• Fuentes de energía ecológica.
Almacén de Repuestos	Generación de desechos sólidos no peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de basura • Presencia de roedores e insectos • Pérdida de equipos por inadecuada manipulación 	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección y disposición permanente. • Planes para minimizar la generación de desechos en sus fuentes de origen
	Manejo de materiales peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del suelo y del agua por derrame • Riesgo de incendio 	• Almacenamiento y manejo adecuado
Almacén de	Generación de desechos sólidos	• Derrame de concentrados	• Planes para minimizar la

Materia Prima y Productos Terminados	no peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de roedores e insectos 	generación de desechos en sus fuentes de origen.
	Energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado consumo 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes de energía ecológica.
Taller Automotriz	Generación de desechos peligrosos y no peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de incendio • Afectación de la salud • Lesiones al personal 	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección y disposición permanente • Planes para minimizar la generación de desechos • Uso de trampas de grasa y aceites • Almacenamiento y reutilización de aceites.
	Energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado consumo 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes de energía ecológica

Fuente: (Moreno, 2000)

Enfatizando en el compromiso ambiental, el sector azucarero cubano, se está encaminando hacia la Producción Más Limpia ya que este ha sido uno de los logros más importantes dentro del campo ambiental a nivel nacional y está orientado a lograr que el desarrollo futuro de uno de los sectores más importantes del país, se lleve a cabo adoptando las mejores prácticas ambientales y la ecoeficiencia para ajustarse a la filosofía de tecnologías más limpias (Valdés, 2006).

1.10. Sistema para el control de la actividad ambiental en las fábricas de azúcar de la provincia de Matanzas" (CITMAzúcar).

CITMAzúcar es un sistema computarizado de base de datos. La creación de este, brinda la posibilidad de tener un control estricto del volumen de agua que consume la fábrica y del volumen de residuales que genera, las medidas y el grado de cumplimiento de estas, además contiene un índice para medir de forma cualitativa el nivel de afectación ambiental de dichas fábricas de azúcar.

1.11. Conclusiones del Capítulo

- La necesidad de la protección del medio ambiente se hace cada vez más grande debido a su rápido deterioro en nuestros tiempos por el accionar irresponsable del hombre.
- Las fábricas productoras de azúcar y sus derivados representan una fuente potencial de contaminación ambiental en el país.
- Los residuales líquidos del proceso tecnológico de producción de azúcar y sus derivados son altamente agresivos al medio ambiente.

Capítulo 2: Metodología de la investigación

En el presente capítulo se abordan los métodos y técnicas que se utilizaron para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto en esta investigación.

2.1. Ubicación de la Industria Azucarera Jesús Rabí

La industria azucarera Jesús Rabí se encuentra ubicada en la parte más oriental del municipio de Calimete, sus límites alcanzan al municipio Jagüey Grande hacia la porción sur de la llanura centro occidental de la provincia. Está conformada con la revinculación de las áreas cañeras del desactivado Complejo Agroindustrial (CAI) Australia enclavado en el municipio de Jagüey Grande y por las áreas cañeras tradicionales del CAI Jesús Rabí.

Sus límites territoriales son los siguientes: por el norte limita con la Empresa Azucarera Mario Muñoz (municipio Los Arabos) y con la Empresa de Cultivos Varios Calimete; por el sur limita con la provincia de Cienfuegos y con áreas de la Empresa Forestal (EMA) del municipio Ciénaga de Zapata; por el este limita con áreas cañeras de la Empresa Azucarera Mario Muñoz y con la Granja Dos Ríos de la Empresa Agropecuaria Sergio González del MINAZ; y por el oeste con áreas de la Empresa de Cítricos Victoria de Girón del municipio Jagüey Grande y con la Granja Agropecuaria Reynold García de la Empresa Agropecuaria Sergio González.



Figura 2.1: Ubicación de la Industria azucarera Jesús Rabí.

2.2. Descripción de los flujos tecnológicos del área de industria del central azucarero Jesús Rabí

El área industrial del central azucarero Jesús Rabí tiene fundamentalmente cuatro flujos tecnológicos, estos son los siguientes:

1. Flujo de producción.
2. Flujo de vapor.
3. Flujo de inyección y rechazo.
4. Flujo de residuales.

2.2.1 Flujo de Producción

El flujo de producción está relacionado con la fase fundamental del proceso productivo, las corrientes de materiales y su transformación desde que entra la materia prima (caña de azúcar) hasta que se obtiene el producto final (el azúcar). Este consta de varias etapas bien definidas. (Ver anexo 1)

⇒ Etapa de manipulación y preparación de la caña.

⇒ Etapa de extracción.

⇒ Etapa de purificación.

⇒ Etapa de concentración.

⇒ Etapa de cristalización.

⇒ Etapa de centrifugación

2.2.1.1. Etapa de manipulación y preparación de la caña.

El objetivo de esta etapa es preparar la caña donde se rompe la resistencia de la corteza y los nudos de la misma para facilitar la extracción del jugo en los molinos.

2.2.1.2. Etapa de extracción.

En esta etapa se extrae mediante compresiones sucesivas la mayor cantidad posible de jugo contenido en la caña, esto se logra en el tándem de molinos integrado de forma

genérica por cuatro unidades. La presión de trabajo del primero y cuarto molino es de 20684234,5 a 22063183,4 Pa y en el segundo y tercero es de 27578979,3 Pa.

2.2.1.3. Etapa de purificación

En la etapa de purificación se remueven los no azúcares que contiene el jugo extraído, para posibilitar la máxima recuperación de azúcar de alta calidad y evitar las incrustaciones en la superficie de los equipos. Además tiene como importancia fundamental alcanzar la mayor separación posible de impurezas presentes en el jugo mezclado, para lograr que en su mayoría salgan en forma de cachaza seca a partir de las siguientes operaciones:

⇒Alcalización.

⇒Calentamiento.

⇒Clarificación.

⇒Filtración.

En el área de alcalización se prepara una suspensión de hidróxido de calcio (lechada de cal) para neutralizar el pH del jugo mezclado y así evitar la hidrólisis o desdoblamiento de la sacarosa. Esta área consta de los siguientes equipos:

- Tanques de preparación de la lechada de cal (primario y secundario).
- Bombas, tuberías y accesorios.
- Tanque de alcalizar.

El área de calentadores está formada por los calentadores de jugos primarios y secundarios, su función es elevar la temperatura del jugo pre-alcalizado hasta 106 °C para acelerar las reacciones químicas de la cal con el jugo y así facilitar el trabajo de los clarificadores.

El área de clarificadores está compuesta por el tanque de *flash* donde se eliminan los gases incondensables y se homogeniza la temperatura a 102 °C y el clarificador como tal, cuya función es separar las impurezas (cachaza) contenidas en el jugo mezclado, esto sucede por decantación, donde se extrae el jugo de la parte superior y el de la parte inferior pasa a los filtros de cachaza.

El área de filtración está compuesta por el mezclador de cachaza y bagacillo y los filtros al vacío. La función de estos es extraerle el jugo a la cachaza y formar la torta, la cual se dispone en un lugar adecuado (tolvas) para su posterior utilización como fertilizante orgánico.

2.2.1.4. Etapa de concentración

La etapa de concentración está compuesta por los preevaporadores y los evaporadores. El objetivo de ella es evaporar el agua contenida en el jugo clarificado de un 73 al 75 % y obtener una disolución más concentrada. El producto final que se obtiene en este proceso es la meladura, con un *brix* aproximado de 62 % y una pureza de 85 %.

Es muy importante esta etapa puesto que el agua que se evapora, se condensa y pasa a formar parte de los condensados, ahorrándose así gran cantidad de agua y energía.

2.2.1.5. Etapa de cristalización

En la etapa de cristalización continúa el proceso de evaporación, cuyo objetivo fundamental es transformar en cristales la mayor cantidad de sacarosa presente en la meladura y lograr el mayor agotamiento de las mieles, para disminuir las pérdidas.

La etapa de cristalización se divide en tres subetapas:

- ⇒ Cristalización en caliente donde se origina el cristal de sacarosa.
- ⇒ Cristalización en frío donde se desarrolla el grano.
- ⇒ Centrifugación donde se separa el cristal de sacarosa de la miel.

Los equipos fundamentales en esta área son los tachos y los cristalizadores.

La industria cuenta con seis tachos, los cuales trabajan a simple efecto con extracciones de los preevaporadores. Estos realizan las siguientes funciones:

Tacho 1. Elabora la masa cocida A (MCA) a partir de pie de semilla y meladura, una vez centrifugada se obtiene azúcar A comercial y miel A la cual se incorpora al proceso.

Tacho 2. Elabora masa cocida B (MCB) a partir de pie de semilla mejorado y la miel A proveniente de la masa cocida A, luego se centrifuga y se obtiene azúcar B comercial y miel B la cual se incorpora al proceso.

Tacho 3. Elabora masa cocida C (MCC) a partir de pies mejorados de semillamiento y la miel B proveniente de la masa cocida B, una vez centrifugada se obtiene azúcar C que es menglada y convertida en magma de semilla e incorporada al proceso y miel C o final la cual se envía al tanque de almacenamiento para ser utilizada en la producción de alcohol y como alimento para animales.

Tacho 4. Elabora masa cocida A.

Tacho 5. Coge semilla. Mejora pie de semilla.

Tacho 6. Elabora pie de masa cocida B y, elabora masa cocida A

2.2.2. Flujo de vapor. (Ver anexo 2).

El flujo de vapor facilita un interesante estudio sobre el uso combinado del vapor y la energía del proceso. Se requiere vapor del proceso para calentar el guarapo, para la evaporación, para los tachos de vacío y otros usos. También se obtienen del vapor energía a través de los turbogeneradores, con un adecuado equilibrio de las necesidades de vapor, energía y de proceso. Todo el vapor de escape de las máquinas primarias (turbogeneradores) se utiliza en el proceso de fabricación de azúcar, donde el vapor de agua se condensa, para que su calor latente suministre el calor requerido facilitando la evaporación y otros procesos necesarios. Esto facilita un ciclo de alta eficiencia termodinámica, dado que el calor latente del escape de las máquinas primarias se puede utilizar con pleno provecho, a diferencia del caso de una termoeléctrica en la que el calor latente del escape carece de aplicación y se transfiere al agua del condensador.

2.2.3. Flujo del sistema de vacío y condensación. (Ver anexo 3)

El vacío se produce en un recipiente cerrado, el condensador. Por medio de una bomba de vacío, se comunica con el equipo, que debe quedar al vacío (tachos, filtros, múltiples efectos), por medio de otra bomba se manda agua fría al condensador (sistema de inyección) para condensar el vapor que sale de los tachos y los múltiples efectos, el condensador se coloca a una altura suficiente para que el agua, después de condensar el vapor escurra por gravedad por una columna barométrica que desemboca en un pozo barométrico y de ahí pasa a una canal que va por gravedad a una piscina

en la cual se enfría y después regresa al condensador para completar un circuito cerrado.

2.2.4. Sistema de tratamiento de residuales.

El sistema de tratamiento de residuales está compuesto por las siguientes áreas:

1. Sistema de zanjas.
2. Trampas de grasa.
3. Separador de sólidos.
4. Conductoras de residuales
5. Lagunas de tratamiento de residuales.
6. Vaso de riego
7. Sistema de riego

Los residuales líquidos de la fábrica son evacuados mediante un sistema de canales llamados zanjas y conductoras subterráneas, el cual se diseña de acuerdo a las características y disposición de los equipos en dicha fábrica. Actualmente se separan las aguas de desecho fabriles de los albañales. Este sistema finaliza en las trampas de grasa, las cuales tienen la función de separar las grasas del resto de la corriente de residual.

Posteriormente los residuales pasan por la conductora hacia los separadores de sólidos, los cuales tienen la función de separar bagazo y otros tipos de sólidos de la corriente residual y de ahí éste pasa al sistema de tratamiento compuesto por tres lagunas, más tarde pasa al vaso de riego para ser utilizado en el fertirriego.

2.3. Diagnóstico ambiental

El diagnóstico ambiental se efectuó a partir de la metodología establecida por la resolución CITMA 135/2004.

Para desarrollar la investigación se procedió al recorrido diario por todas las áreas de la industria, en el período del 14 al 22 de abril en los diferentes turnos del proceso productivo (de 3:00 pm – 11:00 pm; de 11:00 pm – 7:00 am y de 7:00 am 3:00 pm), por

una comisión integrada por dos especialistas en el tema: Ing. Elieser Alfonso Paret, Ing. Amaury Valdés Ortiz y la investigadora.

En la inspección diaria se analizó el estado de los equipos y los parámetros que a continuación se relacionan:

- Estado de los equipos tecnológicos
- Estado del tándem de molinos
- Estado del enfriadero
- Estado del o los clarificadores
- Estado del o los filtros
- Estado del sistema de rechazo
- Estado del sistema de inyección
- Estado del sistema de vacío
- Consumo de agua
- Estado de las válvulas y tuberías de agua, vapor y productos
- Estado de los equipos de transferencia de calor
- Estado de los circuitos cerrados
- Estado de las trampas de grasa
- Estado del sistema de zanjas
- Estado de los tanques de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio (sosa cáustica)
- Estado del sistema de alcalización
- Estado del área de almacenamiento y recolección de bagazo
- Estado del local de almacenamiento de bagazo
- Estado del separador de sólidos
- Estado de la conductora de lagunas
- Estado del sistema de lagunas
- Calidad del agua de fertirriego

Además de estos aspectos, se tuvieron en cuenta:

Caña molida diaria, bagazo producido, color de la llama en el horno. El valor de temperatura a la salida del horno se midió con un registrador de temperatura digital, tipo pistola y contenido de CO₂ en los gases de chimenea, medido por un equipo ORSAT.

2.4. Metodología de los cálculos realizados

2.4.1. Cálculos de las pérdidas de vapor por orificios

Para realizar el cálculo de las pérdidas de vapor por orificio se consultó el Manual de energía para ingenieros azucareros donde se escoge la ecuación 2.1 que se muestra a continuación para proceder a dicho cálculo.

$$Q_{vapor} = \frac{K * d^2 * \sqrt{P(P+1)}}{1000} \quad (2.1)$$

Donde:

Q_{vapor}, (t/d): Flujo de vapor que sale por el orificio

P (kg/cm²): Presión manométrica

d (mm): Diámetro del orificio

K: Coeficiente que depende del tipo de fluido

K se encuentra entre 0,35 – 0,40 porque el fluido es vapor. En este caso se escogió 0,40.

2.4.1.1. Implicaciones económicas por pérdidas de vapor

$$$.vapor = t_{vapor\perdido} * C_{vapor} \quad (2.2)$$

Donde:

\$.vapor: Dinero perdido por escape de vapor; CUC

C_{vapor}: Costo del vapor; 10,778 CUC/t. Dato extraído del departamento de economía de la industria.

2.4.2. Cálculo del calor perdido

Se realiza el cálculo a partir de la ecuación 2.3 extraída del (Pons, 1987).

$$E = \frac{Q^*(H_{vapor} - H_{H_2O})}{\eta_{caldera}} \quad (2.3)$$

Donde:

E (kJ/d): Calor perdido

H_{vapor} (kJ/kg): Entalpía del vapor a la presión de 17 kg/cm² y 320 °C de temperatura. (Tabla 3. Keenan).

H_{H_2O} (kJ/kg): Entalpía del agua a una temperatura de 110 °C (Tabla 3. Keenan).

η : Eficiencia de la caldera (0,76). Dato reportado por el departamento Grupo Técnico de la industria.

2.4.3. Cálculo de la pérdida de combustible (Bagazo)

El cálculo se realiza a partir de la ecuación 2.4 escogida del Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola.

$$B = \frac{E}{\frac{Vc}{1000}} \quad (2.4)$$

Donde:

B (t/d): Combustible perdido (bagazo)

Vc (kJ/kg): Valor calórico inferior del combustible

El valor calórico inferior del combustible se calcula por la ecuación 2.5 (Manual de energía para ingenieros azucareros)

$$Vc = 17791 - (42 * Pol) - (200,8 * w) \quad (2.5)$$

Donde:

Pol: Contenido de sacarosa en la masa de trabajo del bagazo.

w: Humedad del bagazo

2.4.3.1. Implicaciones económicas por pérdida de combustible

$$\$_{bagazo} = t_{bagazo\perdido} * C_{bagazo} \quad (2.6)$$

Donde:

$\$_{bagazo}$: Dinero perdido por pérdida de bagazo(CUC).

C_{bagazo} : Costo del bagazo = 70 CUC/t. Dato extraído del departamento de economía de la industria.

2.4.4. Pérdidas de agua por orificios

Para proceder al cálculo de las pérdidas de agua se consultó el paquete TK Solver ubicado en el departamento Grupo Técnico de la industria donde se seleccionó la ecuación 2.7 que se muestra a continuación.

$$Q_{H_2O} = \frac{\pi * (d / 1000)^2}{4} * 14,37 * \sqrt{P} * 3600 * \rho_{H_2O} \quad (2.7)$$

$$Q_{H_2O} (t / h) = \frac{Q(kg / h) * h / día}{1000kg / t} \quad (2.8)$$

Donde:

Q_{H_2O} (t/d): Caudal de agua que sale por el orificio

P (kg/cm²): Presión manométrica del agua

ρ (H₂O): Densidad del agua ;(kg/m³)

d (mm): Diámetro del orificio

2.4.5. Pérdidas de agua en el enfriadero

Según el paquete TK Solver del Departamento Grupo Técnico de la industria las pérdidas de agua en el enfriadero se calcula por ecuación 2.9 mostrada a continuación.

$$F_{ap} = 3\% * F_{AR} \quad (2.9)$$

Donde:

F_{ap} : Flujo de agua pérdida; t_{agua}/d

F_{AR} : Flujo de agua de rechazo; t_{agua}/d

$$F_{AR} = Cm * I.F_{AR} \quad (2.10)$$

Donde:

Cm: Caña molida; t/d

I.F_{AR}: Índice del agua de rechazo = 11,35556 t agua/t caña (MINAZ, 2000)

2.4.5.1. Implicaciones económicas por pérdidas de agua

$$\$_{H2O} = t_{H2O\ perdida} * C_{H2O} \quad (2.11)$$

Donde:

\\$_{H2O}: Dinero perdido por fuga de agua; CUC

C_{H2O}: Costo del agua; 0.10 CUC/m³. Dato facilitado por el departamento de economía de la industria

2.4.6. Cálculo de la pérdida de guarapo

Para saber la cantidad de guarapo que se pierde por el salidero detectado el 18 de abril a las 10:00 am se tomó una probeta milimetrada del laboratorio, se colocó debajo del preñe de la bomba y se obtuvo como resultado que cada un minuto acumula 200 mL de guarapo. La bomba estuvo en ese estado 5 horas.

Entonces:

$$Gp = 0,2\ L/\min * \frac{60\ \min}{1\ h} * 5h \quad (2.12)$$

2.4.7. Cálculo de pérdida de azúcar

$$kg\ de\ azúcar = Gp * \rho_{Guarapo} * Brix * Pureza \quad (2.13)$$

Donde:

Gp: Guarapo perdido; m³

\rho_{guarapo}: Densidad del guarapo; kg/m³

La densidad del guarapo se buscó a la temperatura y el brix del guarapo en el paquete TK Solver del Departamento de Grupo Técnico de la Industria.

T_{Guarapo} = 90 °C

Brix: Contenido de sólido que hay en el jugo = 14,91 %

Pureza = 87,47 %

2.4.7.1. Implicaciones económicas por pérdida de azúcar

$$\$_{Azúcar} = kg_{Azúcar} * C_{Azúcar} \quad (2.14)$$

Donde:

$\$_{Azúcar}$: Dinero perdido por derrame de guarapo; CUC

$C_{Azúcar}$: Costo del azúcar; 1,31 CUC/kg $Azúcar$. Dato reportado por el departamento de economía de la industria.

2.4.8. Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO y CO₂), partículas suspendidas totales (PST) y dioxinas.

Para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero, PST y dioxinas se utilizaron las ecuaciones matemáticas obtenidas a partir de estudios de balances de combustión en el área energética de las fábricas de azúcar, efectuadas por Perera, 2002.

Para proceder a estos cálculos se midió la composición CO₂ en los gases de la chimenea en los días de inspección mediante un ORSAT. Luego de tener esta composición se realiza el cálculo del exceso de aire el cual fue calculado por la ecuación 585, pág. 627 del E.Hugot.

$$m = \frac{0,196}{CO_2} \quad (2.15)$$

Donde:

m (%): Exceso de aire

CO₂, (%): Composición del CO₂ medido en los gases de chimenea por el ORSAT.

2.4.8.1. Cálculo del volumen de los gases secos.

$$V_{gs} = (4,47 * (1 - w) * m) - (0,056 * (1 - w)) \quad (2.16)$$

E. Hugot, pág 626 ; ecuación 581

Donde :

V_{gs} : Volumen de los gases de salida (m^3/kg)

w (%): Humedad del bagazo

Este volumen se calculó a 0 °C y 760 mmHg según criterio del Hugot, que refiere la utilización de la ley de Moriotte, $pV = RT$ en la que $T = 273 + t$.

Como R es un coeficiente y p es constante (presión atmosférica) se tiene :

$$V_t = V_{gs} * \frac{273+t}{273} \quad (2.17)$$

Ecuación 582, pág.626 de le.Hugot

Donde:

V_t : Volumen a la temperatura t (m^3/kg)

t o T_{gs} (°C): Temperatura de los gases de salida del horno

2.4.8.2.Cálculo del Calor sensible

$$Q_{sens} = (T_{gs} * (1 - w)) * (1,4 * m) + \left(\frac{0,5}{1 - w} \right) - 0,12 \quad (2.18)$$

Donde:

Q_{sens} : Calor sensible (kcal/t)

T_{gs} (°C): Temperatura de los gases de salida del horno

m (%): Exceso de aire

w (%): Humedad del bagazo

2.4.8.3. Cálculo del Calor útil

$$Q_{útil} = ((4250 - (4850 * w)) - Q_{sens}) * 0,93 \quad (2.19)$$

Donde:

$Q_{útil}$: Calor útil (kcal/t)

2.4.8.4. Cálculo del bagazo disponible

$$Bd = Bp - (Bp * 0,007) - (Bp * 0,02) \quad (2.20)$$

Donde:

Bd: Bagazo disponible (t/d)

Bp: Bagazo Producido (t/d)

2.4.8.5. Cálculo del bagazo útil

$$B_{\text{útil}} = Bd * \eta \quad (2.21)$$

Donde:

B_{útil}: Bagazo útil (t/d)

η : Eficiencia de la caldera (0.76)

2.4.8.6. Cálculo del bagazo quemado

$$Bq = B_{\text{útil}} * 0,9 \quad (2.22)$$

Donde:

Bq: Bagazo quemado (t/d)

2.4.8.7. Cálculo de las estimaciones de las emisiones de CO.

$$CO = \left[\frac{38,22}{27180 * V_t} \right] * Bq \quad (2.23)$$

Donde:

CO: Cantidad de CO emitido a la atmósfera (t/d)

Bq :Bagazo quemado. (t/d)

2.4.8.8. Cálculo de las estimaciones de las emisiones de (CO₂).

$$CO_2 = \left[\frac{0,875 * (1 - w)}{V_{gs}} \right] * Bq \quad (2.24)$$

Donde:

CO₂: Cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera (t/d).

Vgs (m³/kg): Volumen de los gases secos

2.4.8.9. Cálculo de las estimaciones de las emisiones de partículas suspendidas totales (PST).

$$PST = 20 \% * Bd \quad (2.25)$$

Donde:

PST: Partículas suspendidas totales (t/d).

Bd: Bagazo disponible (t/d).

2.4.8.10. Cálculo de las estimaciones de las emisiones de dioxinas.

$$D_x = \frac{(4250 - (4850 * w)) * Bq * 378}{100000000} \quad (2.26)$$

Donde:

Dx: Cantidad de dioxinas; (t/d).

Bq: Bagazo quemado (t/d)

2.5. Metodología para la determinación del índice de afectación ambiental de la industria Jesús Rabí

Para la determinación del índice de afectación ambiental se utilizó el *software* CITMAzúcar el cual se encuentra en implementación. Al *software* se le introducen los datos recogidos en una planilla que contempla las variables evaluadas en el diagnóstico ambiental, (ver anexo 4). Para esto se le asignó un valor a cada variable según el estado en que se encontraba el objetivo evaluado y el grado de afectación que produce sobre los residuales.

Así pues el valor asignado tendrá una puntuación del 1 al 5 como se muestra a continuación.

Cualidad	MB	B	R	M	MM
Cantidad	1	2	3	4	5

Capítulo 3: Análisis y discusión de los resultados

En este capítulo se reflejan los resultados y el análisis del estudio efectuado en la Industria Azucarera Jesús Rabí sobre la incidencia ambiental de dicho proceso productivo.

3.1. Resultados del diagnóstico ambiental

El diagnóstico ambiental efectuado en los días de estudio reportó las siguientes infracciones:

- En el tándem de molinos se detectaron problemas en las operaciones del circuito cerrado, gasto excesivo de agua en la limpieza de los molinos, lo que implica un aumento de volumen de los residuales, desechos en los alrededores de los molinos y derrames de lubricantes en las coronas, estos residuos con la corriente líquida llega al sistema de residuales y esto dificulta su funcionamiento.
- En el enfriadero se divisó salideros de agua por el muro y por rebozo lo que provoca gasto excesivo de agua y por consiguiente pérdidas económicas.
- En los filtros se encontró la presencia de bagacillo remanente. Esta situación atenta contra la salud de los trabajadores y pobladores pues conduce a enfermedades profesionales como la *bagazois alveolitis*. Se detectó además, derrame de cachaza líquida y sólida lo que trae consigo su traslado con los residuales líquidos a los sistemas de zanjas de la industria con la consiguiente obstrucción de las mismas, y de las conductoras lo que hace inoperantes los sistemas de tratamiento de residuales y la afectación al medio circundante.
- Se detectó que la industria no posee flujómetros que controlen el consumo de agua lo que incide en el uso irracional de este recurso y se atenta con el cumplimiento del indicador de consumo de agua por caña molida establecido.
- Se encontraron salideros de agua y de vapor por orificios de diversos diámetros en diferentes tuberías. Estos son analizados en el epígrafe 3.2.
- Se divisa que las tres trampas de grasa existentes en la industria presentan residuos, debido a incorrectas limpiezas de las mismas lo que contribuye a la contaminación de las aguas receptoras de las corrientes residuales.

- El sistema de zanjas presenta irregularidades ya que sólo el 85 % de estas se hallan tapadas, aspecto a tener en cuenta por el riesgo que puede ocasionar a los trabajadores por accidentes.

Se detectó que durante los dos primeros días (14 y 15 de abril), no se disponía de los tanques de almacenaje de ácido clorhídrico y de hidróxido de sodio (sosa caústica) ya que se encontraba en reparación. Los restantes días evaluados se restablecieron a sus lugares respectivos y se realizaron las operaciones de limpieza de los equipos.

- En el área de almacenamiento y recolección de cachaza el diagnóstico evidenció deterioro en el piso y mala limpieza del lugar debido a que no se recoge la cachaza con pala y escoba sino que se friega a presión con manguera, lo que hace que exista restos de cachaza en los alrededores. Eso conlleva a la acumulación de residuos sólidos en el área y se incumpla las medidas de prevención contra incendios, que se aumente el contenido de polvo en suspensión y la consecuente afectación a los trabajadores y pobladores aledaños.

- El sitio de almacenamiento de bagazo presenta poca capacidad lo que provoca que se vierta el mismo en el parque del batey afectando directamente a la población.

- El separador de sólidos no funciona, lo que provoca que los sólidos se depositen en las lagunas, y aparezcan sólidos sobrenadantes que dificultan el trabajo de las mismas e incluso las hace inoperantes.

- El sistema de lagunas no funciona debido a la existencia de sólidos que han cubierto todo el vaso, esto implica que la eficiencia de dicho sistema de tratamiento de residuales disminuya, lo que provoca que el residual se vierta directamente al medio sin el tratamiento adecuado, lo que provoca la contaminación del suelo y las cuencas subterráneas.

- En la industria no se está fertirrigando porque el agua no cumple con los requisitos de calidad establecida (pH neutro o ligeramente básico de 7,2 – 7,8). Para su comprobación se determinó el pH del agua que arrojó un valor de 4,30,(pH ácido), que corrobora que no está apta para fertirrigar. Es imprescindible que se valore esta situación para lograr su aplicación tan pronto estén todas las condiciones de índole material resueltas. De mantenerse esa calidad con un valor de pH tan bajo, será

necesario incorporar un sistema de tratamiento primario, por neutralización previa a su conducción al vaso de fertirriego.

- El día 18 de abril a las 10:00 am se detectó un salidero de guarapo en la bomba de jugo clarificado. Este problema estuvo durante cinco horas provocando pérdidas de producto (azúcar) y un aumento de la agresividad de los residuales al incorporar azúcares a las aguas residuales, lo que eleva la carga orgánica del cuerpo receptor. Además contribuye a la acidificación del agua.

En la empresa se encuentran en buen estado los equipos de transferencia de calor, el sistema de alcalización, el sistema de rechazo, el sistema de inyección, sistema de vacío y las válvulas y tuberías de productos.

3.2. Cuantificación de las pérdidas detectadas en el diagnóstico

3.2.1. Pérdidas de vapor obtenidas

En la tabla 3.2.1 se manifiesta la información adquirida a partir de los cálculos realizados según las ecuaciones registradas en el apartado dos para obtener las pérdidas totales de vapor por día.

Tabla 3.1: Resultados de las pérdidas de vapor por orificios detectados en el período de estudio.

Días	Salideros	d (mm)	Q (t/h)	horas de trabajo	Q (t/d)
14-Abr	12	8	5,37	24	202,92
	23	5	0,21		
	2	4	0,01		
	5	7	0,14		
	18	6	2,72		
Total	60		8,46		
15-Abr	12	8	5,37	24	202,92
	23	5	0,21		
	2	4	0,01		
	5	7	0,14		
	18	6	2,72		
Total	60		8,46		
18-Abr	12	8	5,37	24	202,92
	23	5	0,21		

	2	4	0,01		
	5	7	0,14		
	18	6	2,72		
Total	60		8,46		
19-Abr	3	8	1,34	19	37,48
	10	5	0,09		
	8	4	0,54		
Total	21		1,97		
20-Abr	3	8	1,34	16	42,30
	10	5	0,09		
	8	6	1,21		
Total	21		2,64		
21-Abr	3	8	1,34	24	63,70
	10	5	0,09		
	8	6	1,21		
	2	3	0,01		
Total	23		2,65		
22-Abr	5	8	2,24	24	88,82
	10	5	0,09		
	9	6	1,36		
	2	3	0,01		
Total	26		3,70		
					798,77
					Total en la semana

Fuente: Elaborada por el autor

La tabla 3.1 consta de seis columnas en las cuales se resume la información recogida por día, en el período analizado, de los salideros de vapor presentes en las tuberías. En la primera columna se muestran cada uno de los días estudiados, en la segunda la cantidad de escapes producidos, en la número tres está plasmado el diámetro del orificio por donde ocurre el salidero, mientras que en las columnas cuatro y seis se señalan los flujos por salideros y por día respectivamente, este último, obtenido según las horas diarias de operación de la planta, ofrecidas en la columna cinco para cada caso.

Por ejemplo el día 14 de abril se descubre un total de 60 salideros donde la mayoría presentan un orificio de salida de 8 mm que equivale a 8,46 t/h de flujo de vapor

perdido. Lo anterior incide significativamente en el total de vapor disipado diario que arroja un valor de 202,92 t/d.

En el período estudiado, el total de vapor perdido es de 798,77 t que equivale a un gasto económico de 8610,74 CUC. Estas pérdidas de vapor implican mayor consumo de agua y de energía producida y por ende gasto de combustible (bagazo) y un progresivo aumento de las emisiones de gases a la atmósfera.

3.2.2. Pérdidas de energía y de combustible producidas

La energía (E) generada por la fuga de vapor a la atmósfera en el período analizado es enunciada, por la importancia que se le confiere, en la tabla 3.2 que se muestra a continuación. En la misma se resume, además del término mencionado anteriormente, el combustible perdido (B) a partir del valor calórico inferior (Vc) que este presenta por día.

De los resultados alcanzados se observa que el día de mayor pérdida de energía y de combustible es el 14 y 18 de abril con un valor de 697544943,1 kJ/d y 88,73 t/d respectivamente lo que implica que se tenga que utilizar más bagazo de lo normado. En la etapa de estudio el total de pérdida de combustible corresponde a 362,76 t que equivale a 24247,08 CUC.

Tabla 3.2. Pérdidas de energía y de combustible en el período analizado.

Días	Vc (kJ/kg)	E (kJ/d)	B (t/d)
14-abr	7861,5	697544943	88,73
15-abr	8263,1	697544943	84,42
18-abr	7861,5	697544943	88,73
19-abr	7861,5	128846,7	16,39
20-abr	7861,5	145420552	18,5
21-abr	8062,3	218970871	27,16
22-abr	7861,5	305320542	38,84
Total			362,76

Fuente: Elaborada por el autor.

3.2.3. Pérdidas de agua originadas por orificios y por enfriadero

A continuación se realiza el análisis de los salideros de agua, en el período estudiado, que se complementa con las pérdidas económicas que implican los mismos. Estos escapes se producen por orificios y por el enfriadero constituyendo un gran derroche del disolvente universal en la industria.

En la tabla 3.3 se revela el flujo de agua diariamente perdido. La misma consta de seis columnas que resumen un contenido similar al enunciado en la tabla 3.2.

Tabla 3.3. Resultados de las pérdidas de agua por orificios

Días	Salideros	d (mm)	Q _{H2O} (t/h)	h de trabajo	Q _{H2O} t/d
14-Abr	2	4	0,92	24	236,23
	6	7	5,34		
	6	2	0,53		
	3	5	3,05		
Total	17		9,84		
15-Abr	2	4	0,92	24	236,23
	6	7	5,34		
	6	2	0,53		
	3	5	3,05		
Total	17		9,84		
18-Abr	3	4	0,06	24	10,46
	7	3	0,13		
	6	2	0,04		
	3	5	0,21		
Total	19		0,44		
19-Abr	1	4	0,02	19	1,84
	3	3	0,05		
	2	2	0,02		
Total	6		0,10		
20-Abr	1	4	0,02	16	1,55
	3	3	0,05		

	2	2	0,02		
Total	6		0,10		
21-Abr	3	4	0,06	24	9,06
	7	3	0,13		
	8	2	0,05		
	2	5	0,14		
Total	20		0,38		
22-Abr	3	4	0,06	24	4,36
	5	3	0,09		
	5	2	0,03		
Total	13		0,18		
				499,73	Total en la semana

Fuente: Elaborada por el autor

En la tabla anterior se observa que los días 14 y 15 de abril constituyen los de mayor pérdida de agua, resaltando un valor de 236,23 t/d, con un período de operación de 24 h, en las cuales se producen 17 salideros por orificios de diversos diámetros. El día de menor pérdida corresponde al 20 de abril debido a que la planta operó sólo 16 h por un mantenimiento realizado donde se taponaron algunos salideros.

En el enfriadero se producen también pérdidas de agua, las cuales se resumen en la tabla 3.4 mostrada a continuación. Dicha tabla consta de cuatro columnas: la primera plasma los días de estudio, la segunda la caña molida en t/d tomadas diariamente, la tercera el agua de rechazo que depende de la caña molida y del índice de rechazo y la columna cuatro refleja las pérdidas de agua en t/d. Esta última arroja un valor total en el período estudiado de 6374,27 t.

En resumen la industria presentó una pérdida de agua de 6874 t en la etapa de estudio, entre las pérdidas de agua por orificios y por el enfriadero. Esto implica un aumento de la explotación de este recurso natural debido a las extracciones de considerables volúmenes de agua al manto freático, además un gasto económico de 687,4 CUC.

Tabla 3.4. Pérdidas de agua en el enfriadero

Día	Caña molida (t/d)	Agua de rechazo (t/d)	Pérdida de agua (t/d)
14-abr	2018,7	22923,47	687,70
15-abr	2634,2	29912,82	897,38
18-abr	2905,55	32994,15	989,82
19-abr	3106,95	35281,16	1058,43
20-abr	2703,15	30695,78	920,87
21-abr	2557,2	29038,44	871,15
22-abr	2785,4	31629,78	948,89
Total			6374,27

Fuente: Elaborada por el autor

3.2.4. Resultados de la pérdida de guarapo detectada

En las cinco horas que estuvo presente el salidero de guarapo en la bomba de jugo clarificado se obtuvo una pérdida de 60 L del líquido, lo que equivale a 7,99 kg de azúcar que implica 10,48 CUC.

3.2.5. Resultados de las emisiones de efecto invernadero (CO y CO₂), Partículas suspendidas totales (PST) y dioxinas (Dx).

En la tabla 3.5 se muestran los resultados obtenidos de los cálculos efectuados para la determinación de las emisiones de CO, CO₂, PST, Dx.

Tabla 3.5. Resultados obtenidos de los cálculos realizados en la determinación de las emisiones gaseosas (CO y CO₂), PST, Dx.

Días	CO ₂ (%)	m (%)	Vgs (m ³ /kg)	VT (m ³ /kg)	Qsens (kcal/t)	Qútil (kcal/t)	Bd (t/d)	Bútil (t/d)	Bq (t/d)	Bp (t/d)
14-abr	0,12	1,63	3,69	6,70	259,76	1500,78	628,54	502,83	452,55	645,98
15-abr	0,12	1,63	3,67	6,63	255,92	1490,82	717,67	574,13	516,72	737,58
18-abr	0,14	1,40	3,11	5,66	220,29	1501,40	791,58	633,27	569,94	813,55

19-abr	0,14	1,40	3,16	5,77	225,77	1532,39	846,46	677,17	609,45	869,95
20-abr	0,14	1,40	3,15	5,70	220,74	1526,24	736,44	589,16	530,24	756,88
21-abr	0,14	1,40	3,15	5,70	220,21	1531,69	696,69	557,35	501,61	716,02
22-abr	0,14	1,40	3,13	5,67	220,35	1512,17	758,84	607,07	546,37	779,90

Donde:

CO₂ (%): Contenido de dióxido de carbono en los gases de chimenea

m (%): Exceso de aire

Vgs (m³/kg): Volumen de los gases secos

VT (m³/kg): Volumen de los gases secos rectificado a la temperatura de 273 K

Qsens (kcal/t): Calor sensible

Qútil (kcal/t): Calor útil

Bd (t/d): Bagazo disponible

Bútil (t/d): Bagazo útil

Bq (t/d): Bagazo quemado

Bp (t/d): Bagazo perdido

En la tabla 3.6 se compendia el flujo de gases de combustión (CO y CO₂), emitidos a la atmósfera durante el ciclo estudiado, y se señalan además la cantidad de dioxinas (Dx) disipadas, y las partículas suspendidas totales (PST).

Los resultados obtenidos en dicha tabla, durante el período de estudio, arrojaron un total de CO₂ de 279,14 t, mientras que el CO alcanzó un total de 0,88 t. Estas emisiones son muy peligrosas ya que contribuyen al calentamiento global y a su vez favorece el envenenamiento de los suelos provocado por el efecto invernadero.

La determinación de las Dx y PST resultaron un valor general de 0,0258 t y 103,5 t respectivamente. La dispersión de estas sustancias trae consigo graves efectos sobre la salud al ser compuestos orgánicos persistentes de origen antropogénico que tienen como principal características su elevada solubilidad en grasas y su resistencia a la

degradación. Además afecta al medio ambiente ya que se acumulan en los suelos y sedimentos.

Tabla 3.6. Emisiones de CO, CO₂, PST y Dx obtenidas a partir de la combustión

Día	CO₂ (t/d)	CO (t/d)	Dx (t/d)	PST (t/d)
14-abr	30,14	0,09	0,003	12,57
15-abr	34,56	0,11	0,0036	14,35
18-abr	44,26	0,14	0,0039	15,82
19-abr	47,14	0,15	0,0043	16,92
20-abr	41,34	0,13	0,0037	14,73
21-abr	39,19	0,12	0,0035	13,93
22-abr	42,51	0,14	0,0038	15,18
Total	279,14	0,88	0,0258	103,5

Fuente: Elaborada por el autor

3.3. Análisis del índice de afectación en la industria azucarera Jesús Rabí

En el presente trabajo se realizaron un total de 10 evaluaciones en una semana (ver anexo 5). Los resultados obtenidos en dichas evaluaciones, se utilizaron para comprobar el Índice de Afectación Ambiental en las fábricas de azúcar, que juega un papel fundamental ya que ejerce una doble función, primero refleja el desempeño ambiental de la fábrica y a su vez ejerce una incidencia sobre el medio ambiente, específicamente sobre las cuencas hidrográficas y subterráneas donde estas se encuentran.

El Índice de Afectación Ambiental constituye una variante de evaluación y una alternativa factible para medir la contaminación que ejercen los residuales líquidos de los centrales azucareros, a sus cuerpos receptores.

En la tabla 3.7 que se muestra a continuación se resumen los resultados del índice de afectación ambiental, en los días de estudio. Estos demuestran que la industria presenta un índice de afectación ambiental promedio de 3,41 siendo este evaluado de regular según los valores asignados en el capítulo 2, lo que justifica los problemas ambientales detectados en el diagnóstico realizado.

Tabla 3.7. Resultados del Índice de afectación ambiental (I.A)

Fecha	Índice de afectación	Evaluación
14-abr	3,014	R
15-abr	2,975	R
18-abr	3,133	R
19-abr	3,08	R
20-abr	3,081	R
20-abr	3,081	R
21-abr	3,081	R
21-abr	3,081	R
22-abr	3,081	R
22-abr	3,081	R

Fuente: Elaborada por el autor

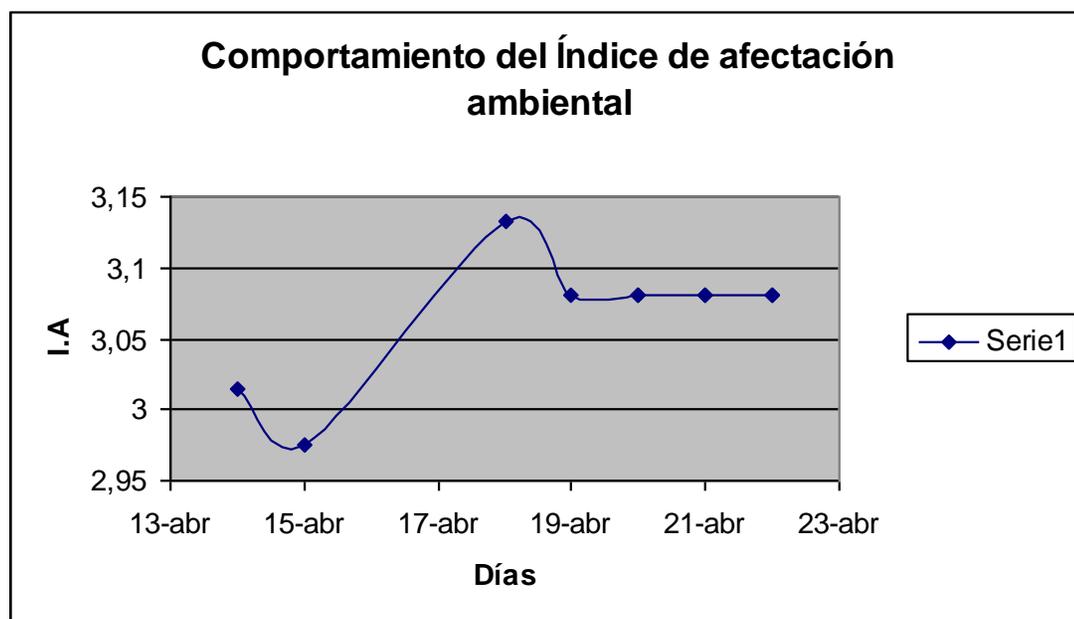


Figura 3.1: Comportamiento del Índice de afectación ambiental en los días de estudio.

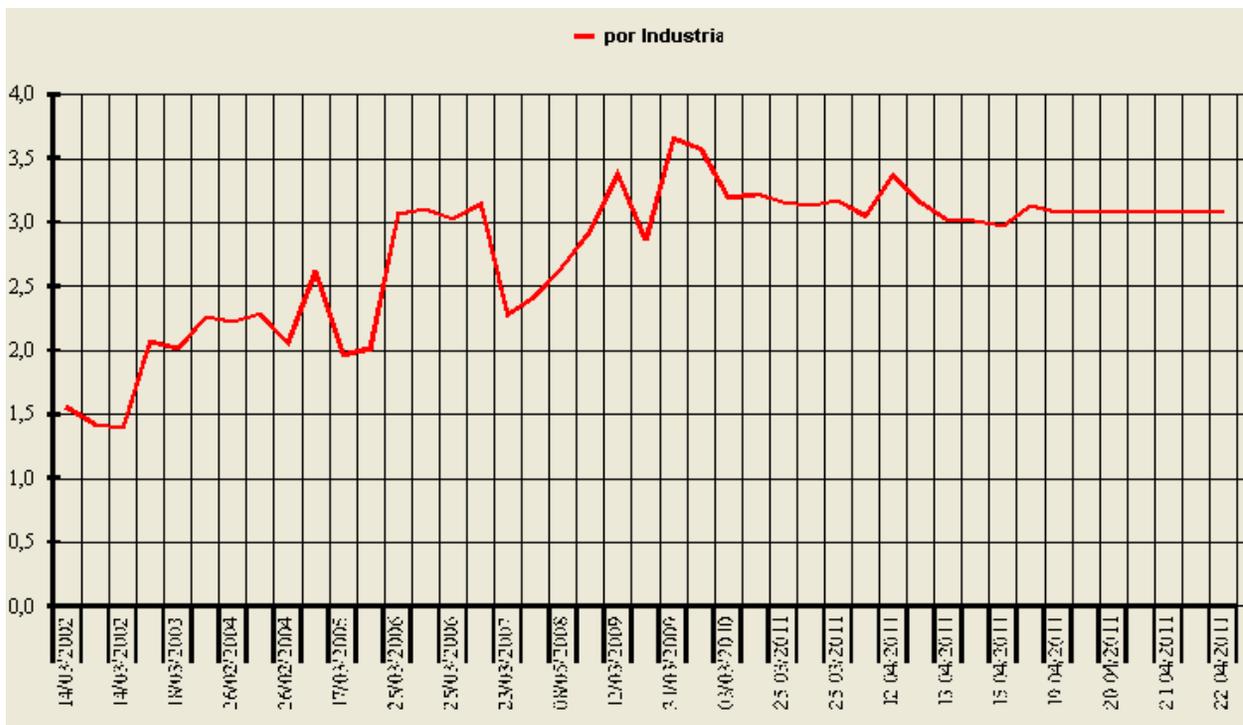


Figura 3.2: Comportamiento del Índice de afectación ambiental del 2002 - 2011

La figura 3.1 y 3.2 demuestran que el índice de afectación ambiental tiende a un incremento. Esto se debe entre otros factores, a la falta de acción de carácter ambiental por parte de la entidad, deterioro de los equipos y que la disciplina y la educación ambiental en la industria no ha sido suficiente como para mitigar los problemas medio ambientales.

Conclusiones

- Fueron identificados los problemas ambientales que genera la industria azucarera Jesús Rabí, que conducen a pérdidas económicas y productiva que afectan su eficiencia y competitividad.
- Las pérdidas de agua de manera general en la industria fueron de 6374,27 t implicando un gasto económico 684,4 CUC.
- Las pérdidas de vapor en el período de estudio arrojaron un valor de 798,77 t que equivale 8610,74 CUC.
- Las emisiones de gases de efecto invernadero, CO y CO₂ emitidas a la atmósfera resaltaron valores de 0,88 t y 279,14 t respectivamente, mientras que las partículas suspendidas totales resultaron 103,5 t y las dioxinas 0,0258 t.
- El índice de afectación ambiental en la industria arrojó un valor de 3,41 siendo este evaluado de regular.

Recomendación

- Presentar en la dirección de la industria azucarera Jesús Rabí los resultados obtenidos en esta investigación.

Bibliografía

1. Bartens, A; Baloh, T; Wittwer, A. (1995). Energy Manual for Sugar Factories. 2^{da} Edición.
2. Cabrera, A. (2002). El ABC del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible. Evaluación Ambiental Integrada en Indicadores de Sostenibilidad. En: Curso Doctoral, Doctorado Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. Universidad de Matanzas. Cuba.
3. CITMA, (2007). Estrategia Ambiental Nacional. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. La Habana.
4. Esparza, R; Campos, M. E. (2006). Minimización de la contaminación ambiental en un Ingenio Azucarero. Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas Universidad Nacional Federico Villarreal. Disponible en: <http://assets.panda.org/downloads/sustainable-sugar.pdf>.
5. Espinosa, G. (2001). Fundamento de Evaluación de Impacto Ambiental. Santiago de Chile: Banco Interamericano de Desarrollo – BID -.Centro de Estudio para el Desarrollo –CED-.
6. García, J. (2004). La Evaluación Ambiental Y el Desarrollo Sostenible. Cuba Verde. En busca de un modelo de sostenibilidad en el siglo XXI. Cuba: José Martí.
7. García, M; Rodríguez, A; Romero, M; Santiesteban, B. (2009). Premisas de la implementación del Sistema de Gestión Ambiental del Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología de Cuba. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. 1^{ra} Edición. [14/2/2011] **, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. La Habana, Cuba. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1561-300320097&script=sci_arttext **. ISSN 1561-3003.
8. Ibañez, M. (2000). Propuesta de una Estrategia Ambiental al CAI Cuba Libre. Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Químico). Universidad de Matanzas.

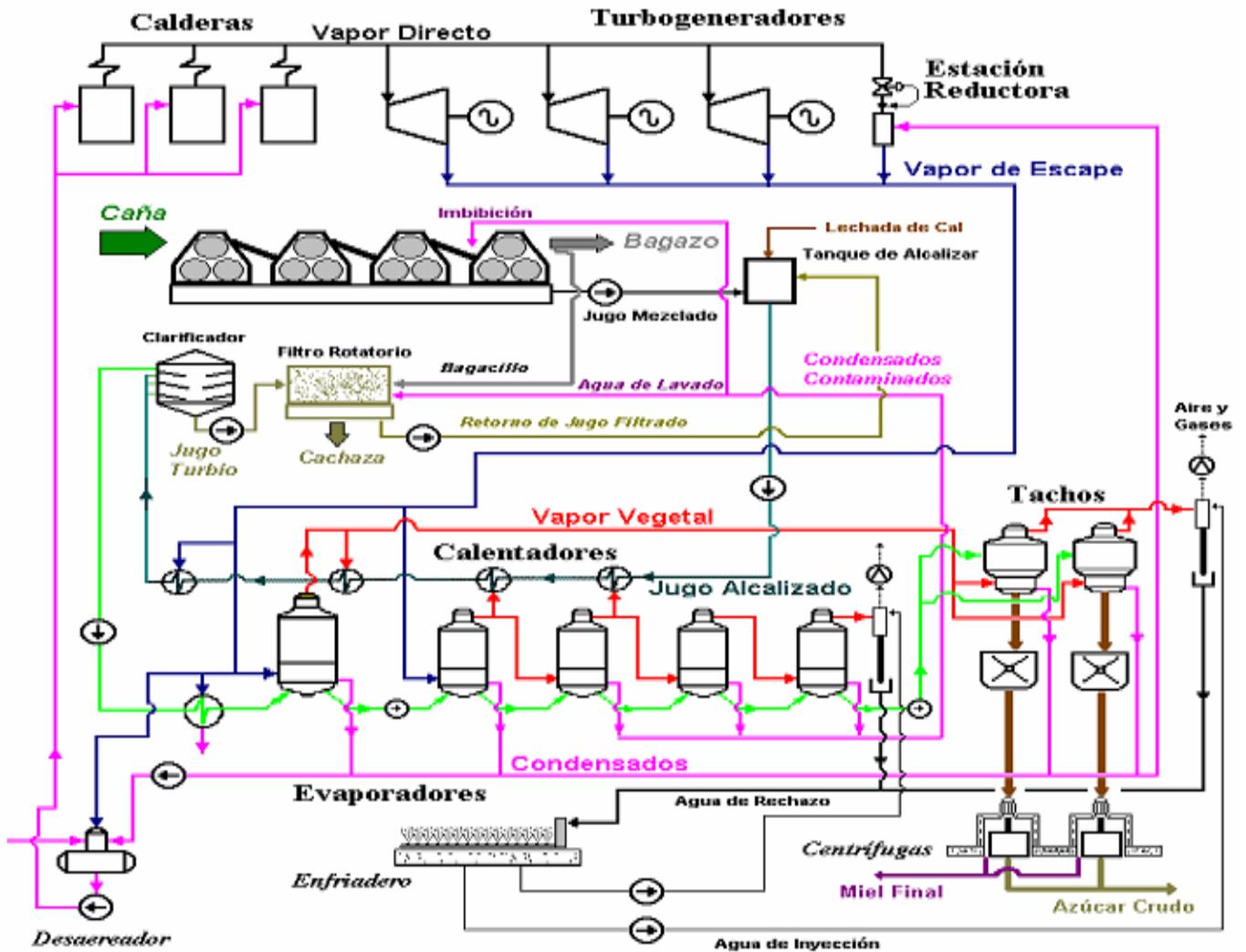
9. IIFT (2006). Curso de Formación de expertos en Producción Más Limpia. La Habana.
10. Keenan. J.H. (1988). Steam Tables Thermodynamic Properties of Water including vapour, liquid and solid Phases. Edición Revolucionaria. C. Habana.
11. Leiva, J; Rodríguez, I; Quintana, C. (2007). Indicadores de sostenibilidad en la agroindustria azucarera cubana. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. CentroAzúcar.
12. Ley 81 de Medio Ambiente, (1997). Legislación complementaria. 1997/2000.
13. Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola. (2006) [Consulta: 16 Abril 2007]. Disponible en: http://www.cp-latin-unido.net/docs-trabajo/et_AI_26.pdf
14. MINAZ, (2000). Índice de capacidades de ingenios azucareros.
15. MINAZ. (2003). CD- ROM. Seminario a Especialistas de Ciencia y Técnica del MINAZ. CNCA. La Habana
16. Ministerio de Medio Ambiente de España, (2000). Diagnóstico Ambiental de oportunidades de minimización. Editorial Altés. SL.
17. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Resolución conjunta No 2/96. (MINZAP. MTSS).
18. .Moreno, E; Pol, E. (1999). Naciones psicosociales para la intervención y la gestión ambiental
19. Moreno, Z. (2000). Gestión Ambiental bajo el contexto de la norma ISO 14001.Caso de estudio: Industria Azucarera del Estado Lara. Disponible en: <http://www.ucla.edu.ve/dac/investigaci%C3%B3n/compendium6/Gestion%20ambiental.htm> (Organización de los grupos de investigación estudiantil).
20. ONUDI (2006). Informe de la asesoría completa en planta de Producción Más Limpia. La Habana. Ediciones ONUDI
21. Paquete de Programa TK Solver, (1994). Departamento de Grupo Técnico

22. Perdigón, S. M; Soriano, R. C; Obregón, J; Curbelo, I. (2004). Las vinazas de los jugos de caña energética más miel final y su impacto sobre el medio ambiente en la destilería Paraíso de la Provincia de Santi Spíritus.
23. Centro Universitario José Martí Pérez. Grupo Empresarial Agroindustrial Azucarero. Disponible en: <http://www.scirus.com/srsapp/search?q=Gestion+ambiental+en+la+industria+azucarera&t=all&sort=0&g=s>
24. Pérez P, L. (2000). Biogás a partir de efluentes de la pasteurización de la pulpa de café. Centro de investigaciones en (CIBA).Ciego de Ávila.
25. Perera, M.A. (2002). Obtención y evaluación del índice de afectación ambiental para los centrales azucareros de la provincia de matanzas. Tesis de Diploma (en opción al título de Máster en control y análisis de procesos químicos). Universidad de Matanzas.
26. Pons, A. (1987). Termodinámica técnica para ingenieros químicos. Editorial Pueblo y Educación. SNLC: CU01.52850.5.
27. Plasencia, Y. (2007). DESTAR: Herramienta computacional para el diseño y la evaluación de sistemas de tratamiento de agua residuales. Tesis (opción al título académico de máster en gestión ambiental). Universidad de Matanzas.
28. Russa, L. (2002). Conferencia sobre el Sistema de Gestión Ambiental en el Caribe.
29. Sage, Jan (1999). Ecoganancias, Producción Más Limpia y reducción de desperdicios. 2da edición Volumen 1.
30. Serrano Méndez, Juana. (2006). Protección Ambiental y Producción Más Limpia. Curso de Universidad para todos. Editorial Academia.
31. Soares, D. (2010). Diseño de biorreactor para el tratamiento de las vinazas de destilería Jesús Rabí. Tesis de Diploma (en opción al título de Ingeniero Químico). Universidad de Matanzas.
32. Valdés, E. (2006). Tratamientos de residuales de la industria azucarera. Folleto ICDCA

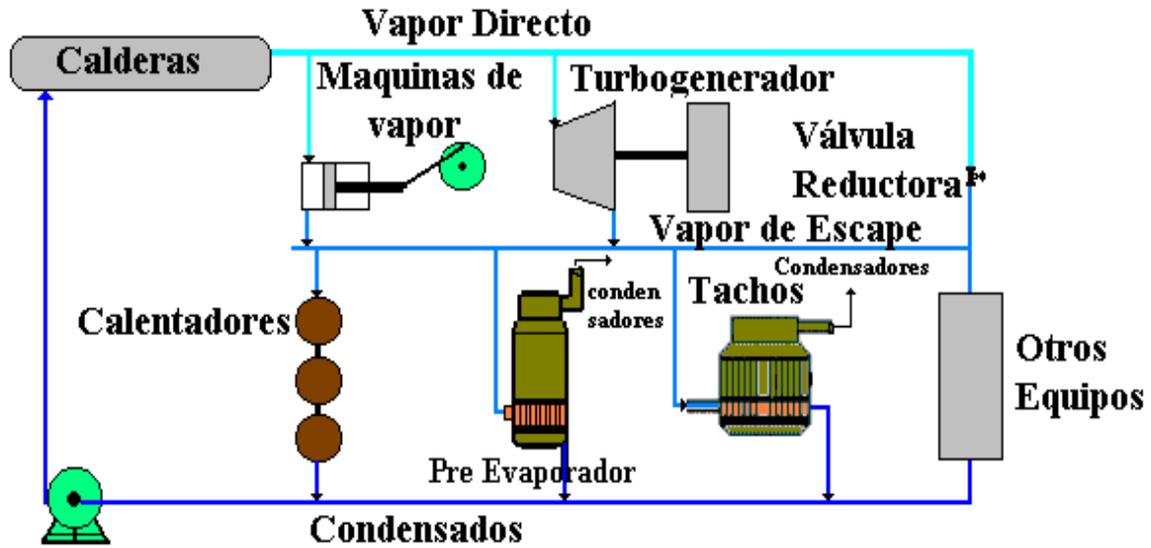
33. Villegas, A; Pedro, J; Cruz, F; Rubio, A. (2006) Evaluación del Impacto ambiental del uso de biomasa en las fábricas cubanas de azúcar. Centro de Estudio y Energía y Tecnologías y Ambientales (CEETA), UCLV. *Centro Azúcar*. Pág 60 – 64.
34. Wagner, T. (1996). Contaminación, Causas y Efectos. Ediciones Gernika. México.
35. Yeves, F. (2003). Ecología y Medio Ambiente en Internet. Editorial Anaya Multimedia [consultada en febrero del 2006] Disponible en el World Wide Web: <http://edicion-m>

Anexos

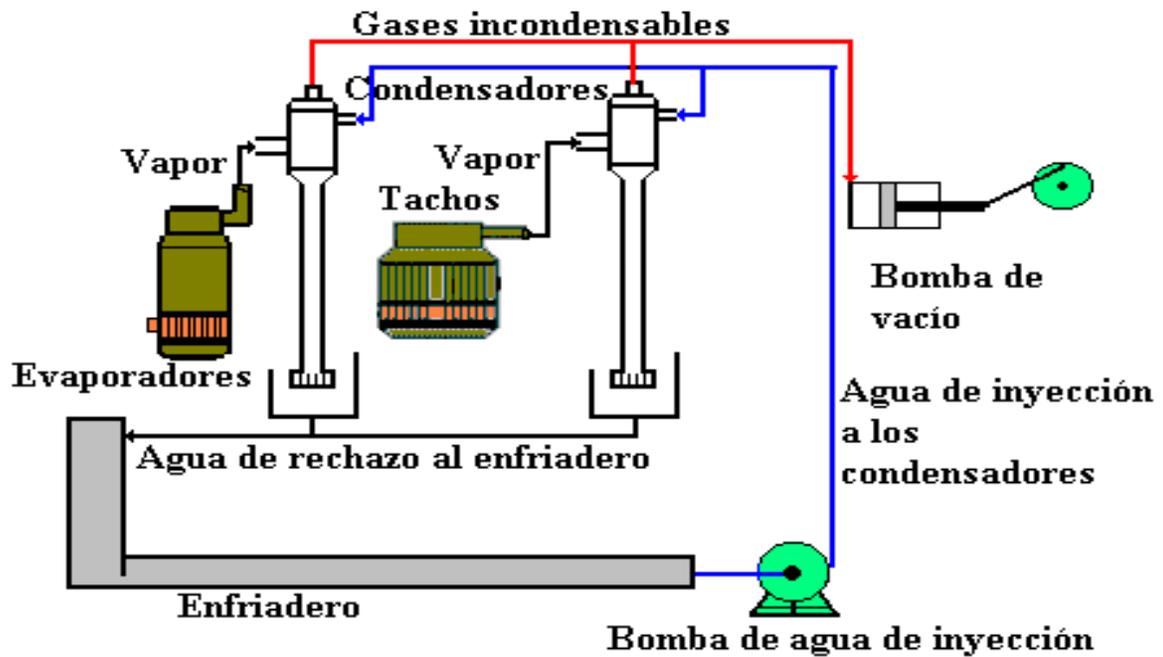
Anexo 1: Diagrama del proceso productivo de Jesús Rabí.



Anexo 2: Flujo de Vapor de la fábrica



Anexo 3: Diagrama de flujo de inyección y rechazo de la industria



Anexo 4. Modelo de planilla para la determinación del Índice de afectación ambiental

Aspectos a tener en cuenta	MB	B	R	M	MM
Estado de los equipos tecnológicos					
Estado del tándem de molinos					
Estado del enfriadero					
Estado del o los clarificadores					
Estado del o los filtros					
Estado del sistema de rechazo					
Estado del sistema de inyección					
Estado del sistema de vacío					
Consumo de agua					
Estado de las válvulas y tuberías de agua					
Estado de las válvulas y tuberías de productos					
Estado de las válvulas y tuberías de vapor					
Estado de los equipos de transferencia de calor					
Estado de los circuitos cerrados					
Estado de las trampas de grasa					
Estado del sistema de zanjas					
Estado de los tanques de ácido y potasa					
Estado del sistema de alcalización					
Estado del área de almacenamiento y recolección de cachaza					
Estado del local de almacenamiento de bagazo					
Estado del separador de sólido					
Estado de la conductora a las lagunas					
Estado del sistema de lagunas					
Estado del sistema de fertirriego					

Anexo 5: Planillas con los datos recogidos durante los días de estudio para el Índice de afectación ambiental

Planilla 1: Día 14 de abril del 2011 a las 9:00 am

Aspectos a tener en cuenta	MB	B	R	M	MM
Estado de los equipos tecnológicos	X				
Estado del tándem de molinos			X		
Estado del enfriadero					X
Estado del o los clarificadores	X				
Estado del o los filtros		X			
Estado del sistema de rechazo	X				
Estado del sistema de inyección	X				
Estado del sistema de vacío	X				
Consumo de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de productos	X				
Estado de las válvulas y tuberías de vapor					X
Estado de los circuitos cerrados					X
Estado de las trampas de grasa			X		
Estado del sistema de zanjas			X		
Estado de los tanques de ácido y potasa				X	
Estado del sistema de alcalización	X				
Estado del área de almacenamiento y recolección de cachaza					X
Estado del local de almacenamiento de bagazo					X
Estado del separador de sólido					X
Estado de la conductora a las lagunas					X
Estado del sistema de lagunas					X
Estado del sistema de fertirriego					X

Planilla 2: Día 15 de abril del 2011 a las 8:30 am

Aspectos a tener en cuenta	MB	B	R	M	MM
Estado de los equipos tecnológicos		X			
Estado del tándem de molinos			X		
Estado del enfriadero					X
Estado del o los clarificadores	X				
Estado del o los filtros			X		
Estado del sistema de rechazo	X				
Estado del sistema de inyección	X				
Estado del sistema de vacío	X				
Consumo de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de productos	X				
Estado de las válvulas y tuberías de vapor					X
Estado de los equipos de transferencia de calor	X				
Estado de los circuitos cerrados					X
Estado de las trampas de grasa			X		
Estado del sistema de zanjas			X		
Estado de los tanques de ácido y potasa				X	
Estado del sistema de alcalización	X				
Estado del área de almacenamiento y recolección de cachaza					X
Estado del local de almacenamiento de bagazo					X
Estado del separador de sólido					X
Estado de la conductora a las lagunas					X
Estado del sistema de lagunas					X
Estado del sistema de fertirriego					X

Planilla 3: Día 18 de abril del 2011 a las 4:00 pm

Aspectos a tener en cuenta	MB	B	R	M	MM
Estado de los equipos tecnológicos		X			
Estado del tándem de molinos			X		
Estado del enfriadero					X
Estado del o los clarificadores	X				
Estado del o los filtros			X		
Estado del sistema de rechazo	X				
Estado del sistema de inyección	X				
Estado del sistema de vacío	X				
Consumo de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de productos	X				
Estado de las válvulas y tuberías de vapor					X
Estado de los equipos de transferencia de calor	X				
Estado de los circuitos cerrados					X
Estado de las trampas de grasa			X		
Estado del sistema de zanjas			X		
Estado de los tanques de ácido y potasa		X			
Estado del sistema de alcalización	X				
Estado del área de almacenamiento y recolección de cachaza					X
Estado del local de almacenamiento de bagazo					X
Estado del separador de sólido					X
Estado de la conductora a las lagunas					X
Estado del sistema de lagunas					X
Estado del sistema de fertirriego					X

Planilla 4: Día 19 de abril del 2011 a las 3:30 pm

Aspectos a tener en cuenta	MB	B	R	M	MM
Estado de los equipos tecnológicos	X				
Estado del tándem de molinos			X		
Estado del enfriadero					X
Estado del o los clarificadores	X				
Estado del o los filtros			X		
Estado del sistema de rechazo	X				
Estado del sistema de inyección	X				
Estado del sistema de vacío	X				
Consumo de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de productos	X				
Estado de las válvulas y tuberías de vapor					X
Estado de los equipos de transferencia de calor	X				
Estado de los circuitos cerrados					X
Estado de las trampas de grasa			X		
Estado del sistema de zanjas			X		
Estado de los tanques de ácido y potasa	X				
Estado del sistema de alcalización	X				
Estado del área de almacenamiento y recolección de cachaza					X
Estado del local de almacenamiento de bagazo					X
Estado del separador de sólido					X
Estado de la conductora a las lagunas					X
Estado del sistema de lagunas					X
Estado del sistema de fertirriego					X

Planilla 5: Día 20 de abril del 2011 a las 12:00 pm

Aspectos a tener en cuenta	MB	B	R	M	MM
Estado de los equipos tecnológicos		X			
Estado del tándem de molinos			X		
Estado del enfriadero					X
Estado del o los clarificadores	X				
Estado del o los filtros			X		
Estado del sistema de rechazo	X				
Estado del sistema de inyección	X				
Estado del sistema de vacío	X				
Consumo de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de productos	X				
Estado de las válvulas y tuberías de vapor					X
Estado de los equipos de transferencia de calor	X				
Estado de los circuitos cerrados					X
Estado de las trampas de grasa			X		
Estado del sistema de zanjas			X		
Estado de los tanques de ácido y potasa		X			
Estado del sistema de alcalización	X				
Estado del área de almacenamiento y recolección de cachaza					X
Estado del local de almacenamiento de bagazo					X
Estado del separador de sólido					X
Estado de la conductora a las lagunas					X
Estado del sistema de lagunas					X
Estado del sistema de fertirriego					X

Planilla 6: Día 21 de abril del 2011 a las 3:30 am

Aspectos a tener en cuenta	MB	B	R	M	MM
Estado de los equipos tecnológicos	X				
Estado del tándem de molinos			X		
Estado del enfriadero					X
Estado del o los clarificadores	X				
Estado del o los filtros			X		
Estado del sistema de rechazo	X				
Estado del sistema de inyección	X				
Estado del sistema de vacío	X				
Consumo de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de productos	X				
Estado de las válvulas y tuberías de vapor					X
Estado de los equipos de transferencia de calor	X				
Estado de los circuitos cerrados					X
Estado de las trampas de grasa			X		
Estado del sistema de zanjas			X		
Estado de los tanques de ácido y potasa	X				
Estado del sistema de alcalización	X				
Estado del área de almacenamiento y recolección de cachaza					X
Estado del local de almacenamiento de bagazo					X
Estado del separador de sólido					X
Estado de la conductora a las lagunas					X
Estado del sistema de lagunas					X
Estado del sistema de fertirriego					X

Planilla 7: Día 22 de abril del 2011 a las

Aspectos a tener en cuenta	MB	B	R	M	MM
Estado de los equipos tecnológicos		X			
Estado del tándem de molinos			X		
Estado del enfriadero					X
Estado del o los clarificadores	X				
Estado del o los filtros			X		
Estado del sistema de rechazo	X				
Estado del sistema de inyección	X				
Estado del sistema de vacío	X				
Consumo de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de agua					X
Estado de las válvulas y tuberías de productos	X				
Estado de las válvulas y tuberías de vapor					X
Estado de los equipos de transferencia de calor	X				
Estado de los circuitos cerrados					X
Estado de las trampas de grasa			X		
Estado del sistema de zanjas			X		
Estado de los tanques de ácido y potasa	X				
Estado del sistema de alcalización	X				
Estado del área de almacenamiento y recolección de cachaza					X
Estado del local de almacenamiento de bagazo					X
Estado del separador de sólido					X
Estado de la conductora a las lagunas					X
Estado del sistema de lagunas					X
Estado del sistema de fertirriego					X