



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
FACULTAD DE QUÍMICA

*PROYECTO DE ECO-EFICIENCIA EN UNA EMPRESA  
PRODUCTORA DE JARABE DE AZÚCAR:  
ÁREA DE DECOLORACIÓN*

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTA:**

**ELSA ELIZABETH CRAVIOTO GUILLERMO**



**MÉXICO D. F.**

**2013**



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:* Alejandro Anaya Durand  
*VOCAL:* Reynaldo Sandoval González  
*SECRETARIO:* Fulvio Mendoza Rosas  
*1er. SUPLENTE:* José Agustín Texta Mena  
*2º SUPLENTE:* José Agustín García Reynoso

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** Empresa productora de Jarabe de Azúcar. Amecameca, Edo. De México.

---

M. en I. Fulvio Mendoza Rosas  
ASESOR DEL TEMA

---

Elsa Elizabeth Cravioto Guillermo  
SUSTENTANTE

# Agradecimientos

---

*A mis padres, por su apoyo, amor incondicional y confianza, porque son ellos los que me han dado la oportunidad de ser lo que soy y de llegar hasta donde estoy, porque son lo que más amo y a quienes les agradezco infinitamente el día de hoy toda mi gran y buena vida. Porque sin ellos simplemente este trabajo no sería posible. ¡Gracias papá, gracias mamá!*

*A mis padrinos, que siempre han visto por mí y que son parte de los cimientos que me han formado como persona, gracias por estar en todo momento conmigo a pesar de la distancia, ¡mil gracias!*

*A mi asesor, profesor, ex-jefe y amigo, Fulvio, porque creíste en mí y me apoyaste en todo momento para culminar este proceso, porque fuiste y eres mi modelo a seguir como ingeniero químico, por todas las enseñanzas, pruebas, oportunidades y conocimientos compartidos, ¡muchas gracias!*

*A mi familia en general, que han estado conmigo en todo momento, procurándome, cuidándome y ayudándome a ser alguien mejor día a día. A los que han estado desde el principio, a los que surgieron a la mitad y a los que regresaron nuevamente a mi vida, a todos ustedes gracias porque estaría incompleta sin ustedes y éste es un logro que les quiero compartir. ¡Los amo!*

*A mis amig@s, por su presión para terminar este trabajo je!, por su compañía y apoyo incondicional, por los momentos que me han regalado en las buenas, en las malas y en cualquier circunstancia. Por las risas, por los llantos, por las alegrías, por las tristezas y por todas esas aventuras inolvidables que hemos pasado. Porque gracias a ustedes conocí la verdadera amistad y continúan pasando los años a su lado, para guardar los mejores momentos de nuestras vidas, son simplemente una parte fundamental en mi existencia.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, por todo lo que me ha brindado en el camino como mis profesores, los conocimientos, las enseñanzas, los amigos, las aventuras y sobretodo la calidad de educación por la cual le agradezco infinitamente la oportunidad de permitirme ser parte de ella.*

*A ti que te convertiste en catalizador para terminar este trabajo, que me has apoyado en cada momento y que has estado ahí acompañándome en este tiempo tan importante para mí, a ti muchas gracias por ser parte de mi vida.*

*A esas personas que siguen siendo importantes para mí y que siempre lo serán, a cada una de ellas que ha formado parte de mi vida y ha hecho una aportación en mi crecimiento personal.*

# Índice General

---

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>III</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO	3
1.2 ALCANCE	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
2.1 GESTIÓN AMBIENTAL	4
2.1.1 <i>Desarrollo Sustentable</i>	7
2.2 PROGRAMA DE LIDERAZGO AMBIENTAL PARA LA COMPETITIVIDAD	10
2.3 ECO-EFICIENCIA	11
2.3.1 <i>Herramientas</i>	13
2.3.1.1 Los Factores de Competitividad	14
2.3.1.2 El Eco-mapa	15
2.3.1.3 El Eco-balance	18
2.3.1.4 Los Costos de Ineficiencia	20
2.4 EMPRESA	23
2.4.1 <i>Producto</i>	24
2.4.2 <i>Proceso</i>	25
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>28</b>
3.1 DETERMINACIÓN DE FACTORES DE COMPETITIVIDAD	29
3.2 ELABORACIÓN DEL ECO-MAPA	29
3.3 ELABORACIÓN DEL ECO-BALANCE	31
3.4 DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE INEFICIENCIA	31
<b>4. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>32</b>
4.1 FACTORES DE COMPETITIVIDAD	32
4.2 ECO-MAPA	34
4.2.1 <i>Descripción del Proceso</i>	34
4.2.1 <i>Selección del Área de Oportunidad</i>	43
4.3 ECO-BALANCE Y ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE INEFICIENCIA	47
4.3.1 <i>Estimación de costos</i>	48
4.3.2 <i>Proceso de Decoloración del jarabe de azúcar</i>	54
4.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	57
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>68</b>
5.1 CONCLUSIONES	68
5.2 RECOMENDACIONES	69
5.2.1 <i>Recomendaciones Generales</i>	70

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>74</b>
ANEXO I. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE COMPETITIVIDAD	74
ANEXO II. LISTA DE EQUIPO	76
ANEXO III. PARÁMETROS DE PROCESO	80
ANEXO IV. CLAVES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS TEMAS AMBIENTALES	83
<b>GLOSARIO</b>	<b>84</b>

## RESUMEN

---

Actualmente, se busca hacer más eficientes y más competitivas a las pequeñas, medianas y grandes empresas establecidas en México mediante proyectos de eco-eficiencia orientados a reducir el consumo excesivo de agua, disminuir el uso de energía eléctrica y térmica, evitar la generación de residuos, reducir la utilización de materiales e insumos y eliminar o reducir cualquier otro recurso que no agregue valor a las actividades de las empresas.

Este trabajo consistió en la realización de un proyecto de eco-eficiencia en una empresa mexicana productora de jarabe de azúcar, particularmente en el área de Decoloración, implementando la metodología impulsada para la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), desarrollada en el programa que lleva por nombre "*Liderazgo Ambiental para la Competitividad*".

Con las propuestas realizadas se podrían obtener ahorros de casi 1 millón pesos anuales, 1,000 m<sup>3</sup> de agua y 1,000 kWh de energía eléctrica, entre otros.

# ÍNDICE DE TABLAS

---

TABLA 1. PRODUCTOS Y SUS CARACTERÍSTICAS	24
TABLA 2. ACTORES INTERESADOS EN LA EMPRESA	32
TABLA 3. COMPOSICIÓN DEL JARABE DE AZÚCAR	47
TABLA 4. PRODUCCIÓN DE AGUA CLORADA	49
TABLA 5. PRODUCCIÓN DE AGUA FILTRADA	50
TABLA 6. PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA	51
TABLA 7. PRODUCCIÓN DE SALMUERA 20% MASA	52
TABLA 8. PRODUCCIÓN DE VAPOR DE BAJA PRESIÓN	53
TABLA 9. COSTOS TOTALES	54
TABLA 10. PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL PROVEEDOR	55
TABLA 11 - PARÁMETROS DE OPERACIÓN REALES	56
TABLA 12 - OPERACIÓN Y COSTOS RECOMENDADOS	58
TABLA 13. ENDULZADO	59
TABLA 14. DESENDULZADO	60
TABLA 15. PROPUESTA DE BOMBA CENTRÍFUGA PARA EVITAR REPROCESOS	61
TABLA 16. INYECCIÓN DE SALMUERA	62
TABLA 17. DESPLAZAMIENTO DE SALMUERA	63
TABLA 18. ENJUAGUE	63
TABLA 19. COMPARATIVA DE COSTOS	65
TABLA 20. AHORROS AMBIENTALES ANUALES	66
TABLA 21. RESUMEN DE LAS PROPUESTAS	67

## *ANEXO III*

TABLA A. 1- PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO	80
TABLA A. 2- LISTA DE PARÁMETROS PARA LAS UNIDADES DECOLORADORAS	80
TABLA A. 3- LISTA DE PARÁMETROS PARA LAS COLUMNAS DESMINERALIZADORAS	81
TABLA A. 4- PARÁMETROS MEDIDOS EN CADA PASO DEL LAVADO DE PIPAS	81
TABLA A. 5- PARÁMETROS QUE DETERMINAN SI SE REALIZARÁ LAVADO DE LA PIPA	82
TABLA A. 6- AGENTES QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL PROCESO	82



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

FIGURA 1. LAS ESTRATEGIAS BÁSICAS DE LA COMPETITIVIDAD.	6
FIGURA 2. LA ECO-EFICIENCIA COMO NUEVA ESTRATEGIA.	9
FIGURA 3. PROGRAMA DE LIDERAZGO AMBIENTAL PARA LA COMPETITIVIDAD.	10
FIGURA 4. CICLO DE MEJORA CONTINUA.	13
FIGURA 5. EJEMPLO DE UN ECO-MAPA DE UNA EMPRESA DE TEJIDOS.	17
FIGURA 6. RELACIÓN ENTRE LA INEFICIENCIA Y EL VALOR AGREGADO DE UN PRODUCTO.	21
FIGURA 7. SECUENCIA DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.	28
FIGURA 8. PLANO GENERAL DE LA PLANTA.	30
FIGURA 9. ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA DE DECOLORACIÓN.	48

## 1. INTRODUCCIÓN

Por su nivel de generación de impactos que afectan al ambiente, los sectores productivos son considerados como uno de los principales causantes de la contaminación ambiental. El grado de afectación depende principalmente de las características de las actividades, los productos y procesos que generan o emplean las empresas, de su ubicación geográfica y de la capacidad de controlar, mitigar o prevenir los impactos ambientales, reflejo de la gestión ambiental empresarial. La adopción de esta gestión ambiental empresarial como respuesta a la problemática generada depende de un conjunto de fuerzas, dentro de las que se encuentran las tendencias del mercado y las políticas gubernamentales (que tienen origen en los convenios y acuerdos internacionales que diferentes países han adoptado durante las últimas décadas). Son estos mismos convenios los que han promovido el desarrollo de un rango de instrumentos que buscan promover la gestión ambiental en el interior de las entidades productivas. Dentro de estos instrumentos se sitúa la eco-eficiencia como estrategia preventiva que conlleva tanto beneficios ambientales como económicos.

El programa "*Liderazgo Ambiental para la Competitividad*", por sus siglas PLAC, es un esfuerzo de la PROFEPA y de la SEMARNAT, de las Instituciones Académicas, de las Cámaras y Asociaciones, de los Gobiernos estatales y municipales y del Sector Privado que busca mejorar la competitividad de las empresas pequeñas y medianas en México. Utilizando las mejores prácticas disponibles de capacitación y

acompañamiento técnico, esta iniciativa desarrolla capacidades en las empresas utilizando como herramienta el curso PLAC, con la finalidad de mejorar el desempeño ambiental de éstas mediante proyectos que aumentan su posición competitiva en forma permanente y que son el resultado de la instrumentación de medidas de eco-eficiencia, de buenas prácticas operativas y de modernización tecnológica.

La iniciativa se basa y desarrolla a partir de la experiencia de proyectos para mejorar el desempeño de proveedores de grandes empresas realizados con anterioridad en México y en otros países de América, particularmente en el Programa de Cadenas Competitivas de Proveedores de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte y los de la Organización para el Desempeño Empresarial Sostenible en Colombia.

Los beneficios potenciales que las pequeñas y medianas empresas participantes pueden obtener en el PLAC, incluyen la reducción de costos de transacción, mayor capacidad de respuesta, reducción de inventarios, mejores relaciones con sus clientes y proveedores, reconocimiento, mayor flujo de efectivo, y reducción de riesgos y accidentes ambientales.

## **1.1 Objetivo**

Realizar un proyecto de eco-eficiencia en el área de decoloración de una planta productora de jarabe de azúcar aplicando la metodología del programa de *"Liderazgo Ambiental para la Competitividad"*, impulsada por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y la Secretaría del Medio Ambiente de Recursos Naturales.

## **1.2 Alcance**

En este trabajo sólo se generará la propuesta del proyecto ejecutivo de eco-eficiencia, el cual estará basado en el análisis del área de decoloración aplicando las herramientas eco-mapa, eco-balance y costos de ineficiencia.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Gestión Ambiental

El tema ambiental fue el tema principal de la primera conferencia mundial en aspectos ambientales que las Naciones Unidas organizó en 1972 en Estocolmo: la *“Conferencia para el Medio Ambiente Humano”*. De ésta surgió la *“Declaración de Estocolmo”*, la cual constituyó la base para la creación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés). En Diciembre de 1983, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) crea la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo.

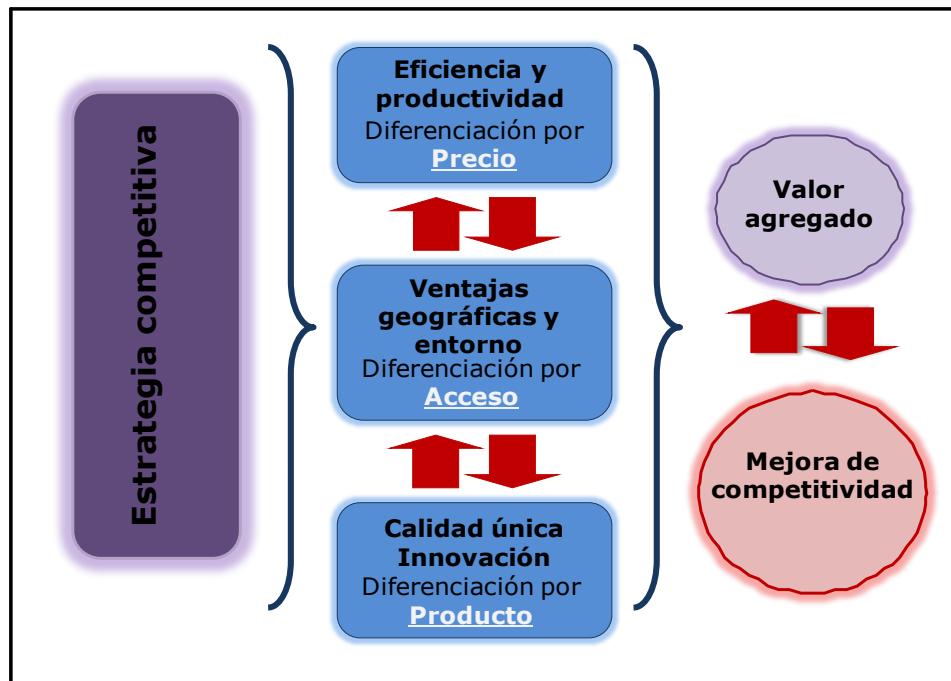
En esta Comisión se establece por primera vez que el desarrollo económico de los países es importante para suplir las necesidades del hombre, pero que este desarrollo debe tener en consideración los límites ecológicos de nuestro planeta. Con base en esta concepción, se acoge el término *desarrollo sostenible* como un concepto universal para *“satisfacer las necesidades de la generación presente sin afectar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”* (UNEP, 2000).

El concepto de *Producción Más Limpia* (PML) nace de uno de los documentos fundamentales de la Cumbre de Río sobre medio ambiente y sostenibilidad, la denominada Agenda 21, que contiene un conjunto de programas destinados a alcanzar una guía para lograr el desarrollo sostenible.

La definición de “fin de tubo” incluye el uso de una variedad de tecnologías y productos para el tratamiento de los residuos sólidos, los vertimientos líquidos y las emisiones al aire; en general, todo tipo de contaminantes producidos. Comúnmente, estas tecnologías no reducen la contaminación, sino que capturan y concentran los contaminantes transfiriéndolos a otro medio. La PML, al contrario, busca prevenir la generación de los contaminantes en la fuente de su origen, en vez de controlarlos al final del proceso.

La PML es una estrategia de gestión ambiental empresarial que apoya la competitividad de los sectores productivos mediante la generación de valor a todas sus partes interesadas. Sus alternativas buscan controlar los costos y mejorar la eficiencia; y de esta manera, generar valor agregado frente a los competidores. Basada en el concepto de PML, la eco-eficiencia es otra forma de gestión ambiental, la cual es una aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, enfocada a los procesos productivos, productos y servicios para reducir los riesgos relevantes a los seres humanos y el medio ambiente.

Existen diferentes estrategias para la competitividad empresarial (véase Figura 1), entre las más comunes se encuentran: la diferenciación por precio, la calidad, el acceso a mercados y el entorno macroeconómico de la empresa.



**Figura 1. Las estrategias básicas de la competitividad.**

Fuente: Adaptado de PROFEPA. (2011). *Liderazgo Ambiental para la Competitividad*. [Imagen PLAC].

Sin embargo, para competir mediante una estrategia no basta con escoger el segmento de mercado en el cual, la empresa quiere posicionarse y seleccionar la estrategia para ello, sino que se deben analizar las fortalezas y recursos que requiere dicha estrategia además de la forma para conseguirlos. En general, esta estrategia se basa más en ventajas del producto o servicio que en el proceso de producción.

La gestión ambiental busca equilibrar los aspectos relacionados con los recursos naturales y la contaminación ambiental con los demás elementos del desarrollo sustentable, como el desarrollo económico y los elementos sociales y culturales del desarrollo.

En general, los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) se han constituido en un mecanismo a nivel empresarial para introducir los aspectos ambientales en los negocios y en la planeación a corto, mediano y largo plazo y pueden concebirse como un proceso de toma de decisiones.

Dicha gestión se puede definir entonces como:

“Un conjunto planeado y coordinado de acciones administrativas, procedimientos operativos, documentación y registros, implementados por una estructura organizacional específica con competencias, responsabilidad y recursos definidos , con el fin de prevenir efectos ambientales adversos , así como promover acciones y actividades que preservan y/o mejoran la calidad ambiental”  
(UNEP, 2001)

### **2.1.1 Desarrollo Sustentable**

La definición de desarrollo sustentable surgió en buena medida ante la evidencia científica y la preocupación internacional respecto a los impactos ambientales vinculados a las actividades humanas. Este concepto se acuñó en 1987 cuando la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland) emitió el informe “Nuestro Futuro Común”. Ahí se mencionó que el desarrollo sustentable busca satisfacer “las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades”.



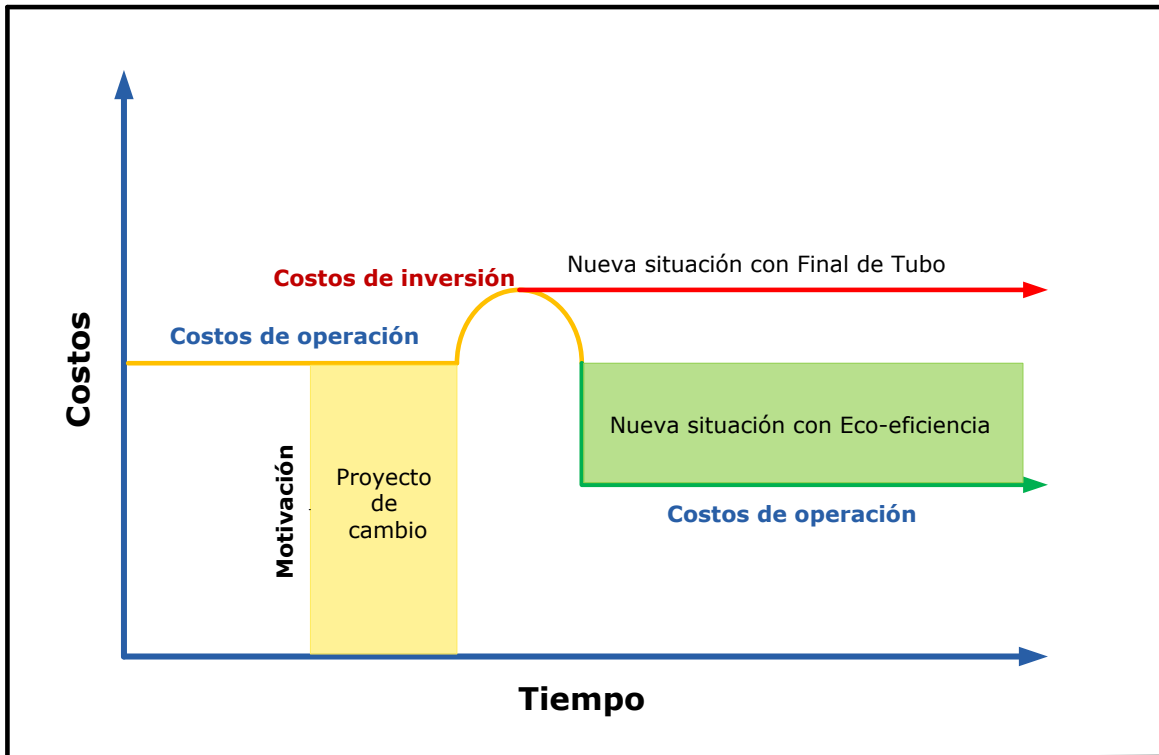
El alcance de esta definición y en especial su aplicación práctica se han convertido en el sustento ideológico de la mayoría de las políticas de gestión ambiental que se implementan en el plano internacional.

La sustentabilidad empresarial, que depende de la competitividad de la empresa, obedece al equilibrio de tres factores: el desarrollo económico de la empresa, el desempeño ambiental y la adecuada administración de aquellos aspectos relacionados con los empleados y la comunidad. Este equilibrio se logra mediante un proceso de mejora continua que busca generar mayor valor agregado para los actores interesados en forma permanente.

La eco-eficiencia es una estrategia empresarial para alcanzar el objetivo general del desarrollo sustentable. De igual forma que la PML, la eco-eficiencia se define, de acuerdo con la UNEP, como una estrategia ambiental preventiva e integrada, enfocada hacia procesos productivos, productos y servicios, a fin de reducir costos, mejorar prácticas administrativas de operación, incentivar innovaciones tecnológicas y reducir los riesgos relevantes al ser humano y al medio ambiente, favoreciendo la competitividad de la empresa.

Por el contrario al concepto de "fin de tubo", la eco-eficiencia es una estrategia que busca la prevención de la generación de contaminantes en su fuente de origen, en lugar de sólo controlarlos al final del proceso (véase Figura 2). Lo anterior es una ventaja frente a otras estrategias de disminución de la contaminación.

La instrumentación de medidas preventivas que lleven al empresario a ser más eficiente en el uso de recursos generará, en el corto y largo plazos, beneficios económicos que redundarán en una mejor rentabilidad de la empresa.



**Figura 2. La eco-eficiencia como nueva estrategia.**

Fuente: Adaptado de PROFEPA. (2011). *Liderazgo Ambiental para la Competitividad*. [Imagen PLAC].

## 2.2 Programa de Liderazgo Ambiental para la Competitividad

En México se crea el programa "*Liderazgo Ambiental para la Competitividad*" (véase Figura 3), que es un esfuerzo de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de las Instituciones Académicas, de las Cámaras y Asociaciones, de los Gobiernos estatales y municipales y del Sector Privado que busca mejorar la competitividad de empresas pequeñas y medianas en nuestro país.



**Figura 3. Programa de Liderazgo Ambiental para la Competitividad.**  
Fuente: PROFEPA. (2012). *Liderazgo Ambiental para la Competitividad*. [Imagen PLAC].

La "Economía Verde Empresarial" favorece el crecimiento verde porque permite a las empresas mejorar su desempeño ambiental mediante proyectos de eco-eficiencia que les generan ahorros económicos volviéndolas más competitivas.

El PLAC, es uno de los programas voluntarios que están edificando la “Economía Verde Empresarial” en México. Éste facilita a las empresas elevar su competitividad a través de ahorros económicos en sus procesos productivos al reducir su consumo de agua, energía, materias primas y materiales de empaque, así como sus emisiones, residuos y descargas contaminantes.

Utilizando las mejores prácticas disponibles de capacitación y acompañamiento técnico, esta iniciativa desarrolla capacidades en las empresas utilizando esta herramienta con la finalidad de mejorar el desempeño ambiental de éstas mediante proyectos que aumentan su posición competitiva en forma permanente y que son el resultado de la instrumentación de medidas de eco-eficiencia, buenas prácticas operativas y modernización tecnológica.

### **2.3 Eco-eficiencia**

La idea de la eco-eficiencia fue presentada en la literatura académica por Schaltegger y Sturm en 1990 (*Schaltegger y Burritt, 2000*). Sin embargo, Schmidheiny (1992) popularizó el término a partir del cual ganó reconocimiento en las agendas mundiales empresariales.

En especial las lideradas por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, por sus siglas en inglés) quien de manera oficial presentó el término en 1992 como una contribución a la Cumbre Mundial sobre desarrollo sostenible de Río de Janeiro a través de su publicación *Changing Course*, para el cumplimiento de la Agenda

21 en el sector privado. Allí se consideró la eco-eficiencia como una filosofía administrativa (*Jollands et al, 2004; WBCSD, 1997; OECD, 1998*)<sup>1</sup>. De acuerdo con la definición del WBCSD, la eco-eficiencia se alcanza mediante la distribución de bienes con precios competitivos y servicios que satisfagan las necesidades humanas y brinden calidad de vida a la vez que reduzcan progresivamente los impactos medioambientales de bienes y la intensidad de recursos a través del ciclo de vida entero a un nivel al menos en línea con la capacidad estimada de llevarla por la Tierra.

La reducción en impactos ecológicos se traduce en un incremento en la productividad de los recursos, que además puede crear una ventaja competitiva.

Al conjuntar el medio ambiente con la economía se logra el objetivo central del desarrollo sostenible, que en el presente es: mantener u optimizar la producción en las empresas para el desarrollo económico y disminuir el consumo de recursos materiales y energía y así conservarlos de una manera más racional para generaciones futuras.

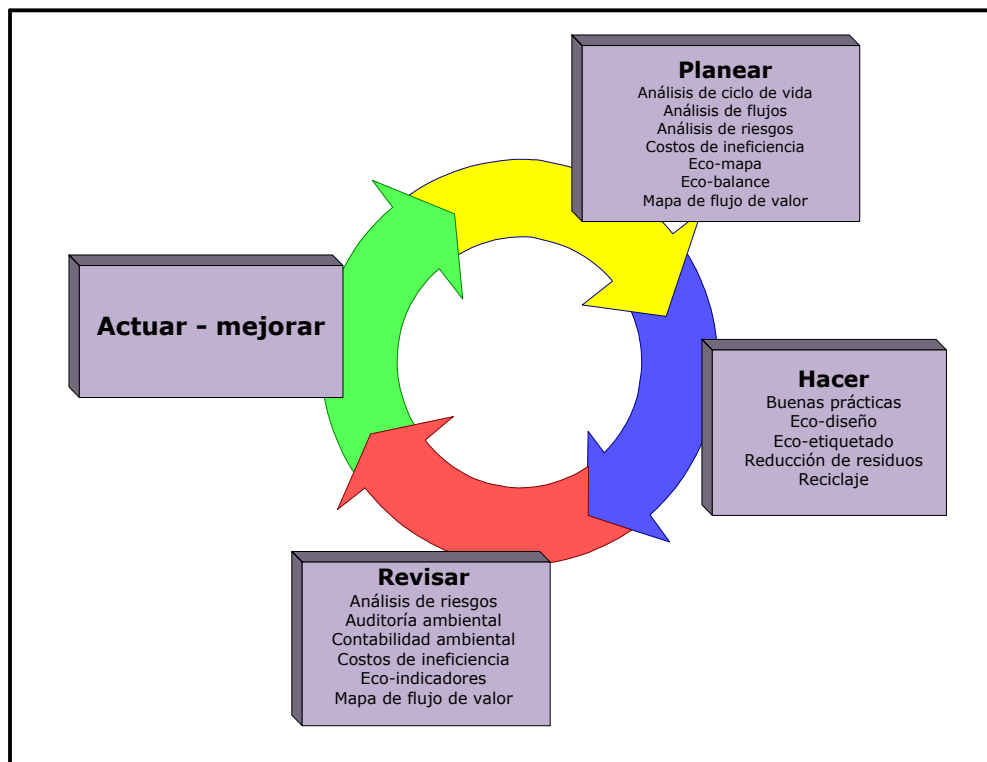
La eco-eficiencia no se alcanza sólo a través del cambio tecnológico, sino a través de un cambio profundo en los objetivos y conceptos que maneja la actividad empresarial, junto con un cambio en las prácticas cotidianas y las herramientas utilizadas para alcanzarlos.

---

<sup>1</sup> Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)

### 2.3.1 Herramientas

El propósito de la eco-eficiencia es la implementación de acciones y alternativas concretas que contribuyan a la competitividad de la empresa. Estas alternativas y acciones dependen de las particularidades de cada empresa; las cuales se identifican a través de la aplicación de diferentes herramientas relacionadas con las etapas de planeación, implementación, revisión y mejora continua de prácticas y tecnologías al interior de las empresas (véase Figura 4).



**Figura 4. Ciclo de mejora continua.**

Fuente: Adaptado de PROFEPA. (2011). *Liderazgo Ambiental para la Competitividad*. [Imagen PLAC].

Las herramientas de la eco-eficiencia son técnicas concretas que permiten obtener y combinar información para la toma de decisiones sobre cambios en la operación de una organización.

Estas herramientas son instrumentos que permiten definir el estado ambiental y económico de un producto o proceso, ya sea administrativo o productivo, y con base en su aplicación establecer los objetivos de las alternativas preventivas a instrumentar.

### **2.3.1.1 Los Factores de Competitividad**

La problemática ambiental se ha convertido en una variable que tiene cada vez mayor relevancia en las decisiones gerenciales, tanto por la presión ejercida por la autoridad como por la ejercida por las comunidades locales e internacionales. Bajo esta perspectiva es posible crear valor económico a partir de un manejo estratégico del desempeño ambiental de una empresa.

La posición competitiva de una empresa dentro de su sector está definida por el valor agregado que atribuyan los actores interesados (ya sean clientes, inversionistas, trabajadores, proveedores, etc.) a la empresa y sus productos.

El contexto de competitividad de la empresa es el punto de partida para identificar la estrategia por plantear. Los factores de competitividad son aquellas características que permiten a la empresa sobresalir de entre las demás compañías de su gremio. Su definición es de suma importancia en el desarrollo de un proyecto de eco-eficiencia debido a que serán estos factores los que marquen las estrategias de solución a los problemas que se tengan en la empresa.

Otros factores que influyen en el alcance de las alternativas y medidas de la eco-eficiencia en la empresa son el conjunto de características internas de la misma: la cultura empresarial, el tipo y la calidad de la información que se maneja, las fortalezas y debilidades que puedan facilitar o limitar la realización de alternativas del proyecto y la concepción de lo que es la gestión ambiental.

### **2.3.1.2 El Eco-mapa**

El eco-mapa es una herramienta de diagnóstico, sencilla y de fácil aplicación que permite hacer un inventario rápido de prácticas y problemas de múltiples variables por medio de uso de figuras. Es una herramienta cualitativa enfocada hacia la entidad como un todo, en donde se identifican las entradas, las salidas y los peligros potenciales; los cuales serán denominados como temas ambientales. Esta herramienta tiene como objetivo identificar y remarcar los puntos críticos de la empresa con eventual mejora, que están asociados a consumos o generaciones significativas de distintos temas ambientales, mostrándonos qué sucede y dónde está sucediendo.

Para la realización del eco-mapa se debe:

- Elaborar un mapa de las instalaciones de la planta.
- Identificar la distribución de las distintas áreas de trabajo.
- Identificar los puntos de consumo y/o desperdicio (entradas y salidas) de materiales, productos, energía, insumos, ruido, emisiones, descargas y residuos.

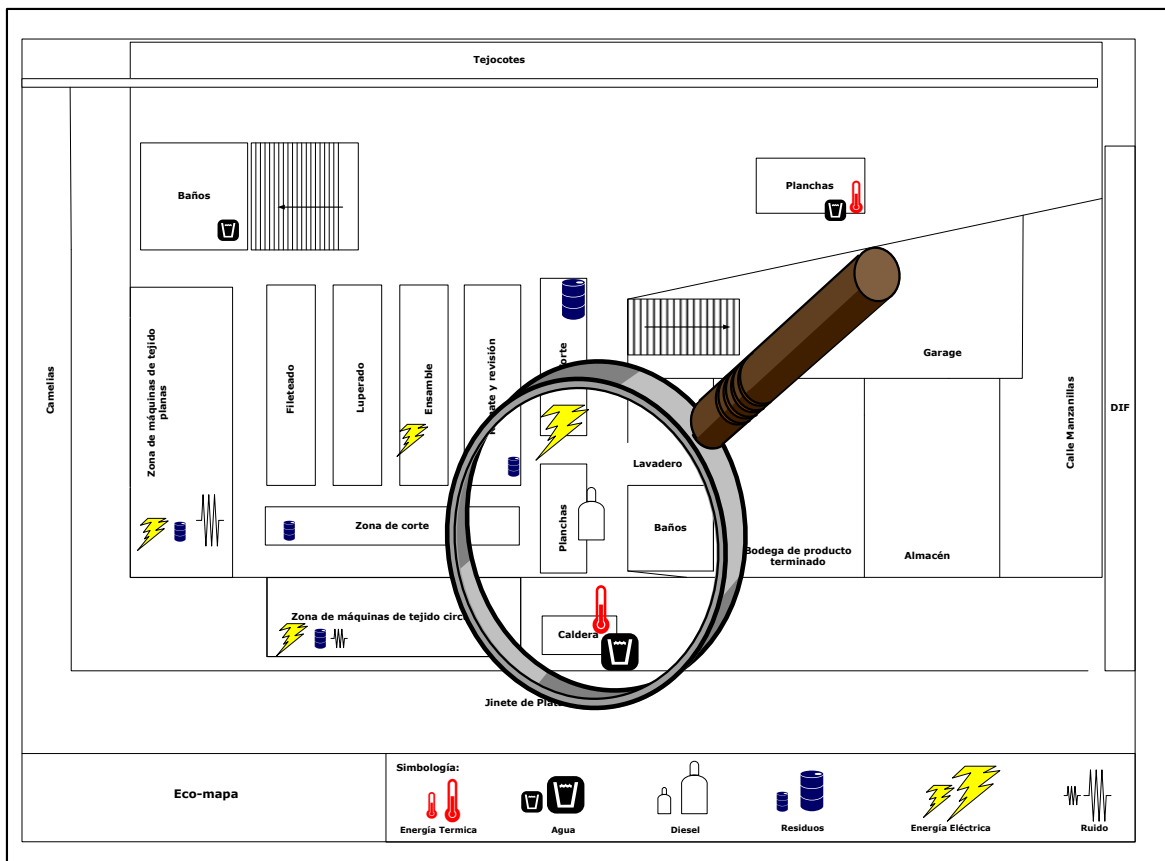


- Estimar cantidades de los diferentes consumos y/o desperdicios (grande - mediano - pequeño) utilizando un símbolo para identificar cada tema ambiental.
- Dibujar con distintos colores o tamaños los símbolos utilizados, mostrando la ocurrencia de los temas ambientales en las diferentes áreas.

Puede realizarse un eco-mapa por cada tema ambiental involucrado o un solo eco-mapa con todos los temas.

Es de suma importancia distinguir entre los materiales peligrosos y los que no lo son, los más costosos, los reciclables, los reutilizables y los más críticos para el proceso, ya que esto ayudará a la asignación de prioridades en las diferentes áreas de la planta (véase Figura 5).

Ya identificados los temas ambientales dentro del eco-mapa se seleccionan los puntos más críticos o las áreas de oportunidad (2 ó 3) donde se observe una mayor acumulación de consumos y/o desperdicios. Esta selección deberá realizarse tomando en cuenta la cantidad de temas involucrados en un área, así como su importancia y el impacto económico que causan en la empresa.



**Figura 5. Ejemplo de un eco-mapa de una empresa de tejidos.**  
 Fuente: Adaptado de PROFEPA. (2011). *Liderazgo Ambiental para la Competitividad*. [Imagen PLAC].

La elaboración de eco-mapas ayuda a tener una idea inicial de las prioridades ambientales de la empresa sin utilizar demasiado tiempo en su realización, conocimientos especializados, ni interpretaciones engorrosas. Además, una gran ventaja que tiene es el hecho de que cualquier persona en la empresa puede utilizarlos como apoyo a su trabajo y hacerlo sin necesidad de procedimientos complicados que dificulten su aplicación.

### **2.3.1.3 El Eco-balance**

La función principal del eco-balance es recopilar y organizar datos para evaluar estrategias de eco-eficiencia, reducción de costos y administración ambiental y financiera, así como identificar las áreas de proceso productivo que requieren de intervención para mejorar el desempeño ambiental. Esta herramienta busca cuantificar los flujos del proceso hacia el interior y el exterior de las cantidades de recursos, materias primas, servicios, residuos, emisiones, productos y subproductos generados que ocurren durante un cierto periodo, con la finalidad de realizar un análisis adecuado de la eficiencia de los procesos u operaciones unitarias involucradas dentro del proceso.

El eco-balance es parte de la descripción del diagrama de flujo de proceso. Una vez elaborado el diagrama de flujo, se procede a cuantificar las entradas y las salidas; es decir, cada uno de los temas ambientales involucrados en el proceso.

Esta cuantificación se puede llevar a cabo mediante mediciones directas, estimaciones y/o muestreos. Los manuales y estudios anteriores con que cuente la empresa pueden ayudar también en la obtención de datos, además de que puede recurrirse a la información proporcionada por los proveedores de los equipos, de materias primas, operadores, hojas de especificación, inventarios, facturas de energía eléctrica, agua y combustibles, procedimientos de operación y guías disponibles, materiales bibliográficos, artículos, etc.

Se debe realizar una investigación exhaustiva en las diversas fuentes de información que se tengan disponibles y si la información no está disponible se deben realizar estimaciones mediante técnicas de ingeniería o prácticas sencillas.

Durante el desarrollo del eco-balance es común que en una primera estimación las entradas sean mayores a las salidas, por lo que es recomendable hacer una revisión para buscar entradas y salidas no consideradas inicialmente como fugas, evaporaciones, filtraciones, etc.

A medida que el producto, el insumo o el residuo son críticos para el proceso o implican un mayor costo para la empresa, se requiere de una mayor precisión en el balance.

El objetivo del eco-balance es lograr identificar todos los rubros y cantidades de entradas y salidas de cada proceso con la mayor exactitud posible, pero se considerará un rango tolerable con una diferencia de entre 1 y 3%.

Conocidas las fuentes de generación de residuos, emisiones, fuentes de desperdicio de materia primas y energéticos, se prosigue con la búsqueda de acciones correctivas. A continuación se presentan algunos puntos a tomar en consideración:

- Cambios en las materias primas. Esto puede generar la reducción de impurezas y así la reducción de residuos o la implementación de algún tratamiento extra.
- Cambio de tecnología. Realizar modificaciones con la finalidad de hacer más eficiente el proceso en el uso de materias primas y energéticos, así como disminuir la generación de residuos y/o emisiones.
- Generación de buenas prácticas de manufactura (GMP's, por sus siglas en inglés): Consiste en aplicar un "conjunto de medidas orientadas a la gestión y organización adecuadas de la empresa y a la optimización de recursos humanos y materiales con el fin de disminuir residuos y/o emisiones" (*Propel, 2001*).

- **Reciclaje y reutilización:** Con esto se pueden recuperar materias útiles y se promueve su uso adecuado, además de reducir gastos innecesarios.

Después de que se han generado varias opciones de solución se debe elegir la más adecuada de acuerdo a los criterios de factibilidad, costos de implementación, rentabilidad, etc.

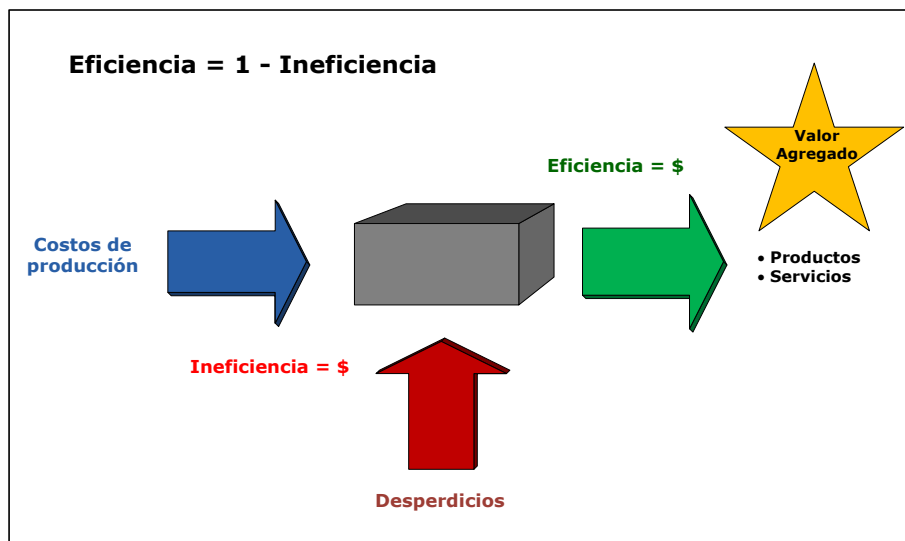
#### **2.3.1.4 Los Costos de Ineficiencia**

El poder de la eco-eficiencia se manifiesta en la identificación de alternativas preventivas que permitan obtener beneficios económicos para la empresa y al mismo tiempo beneficios para el medio ambiente. El análisis de costos de ineficiencia es la herramienta básica para identificar estas alternativas que contribuyen a la competitividad empresarial. Gran parte de la contaminación proveniente de los procesos productivos es resultado del manejo ineficiente e inadecuado de los insumos de producción. La ineficiencia de un proceso se muestra en la minimización de los costos y la maximización de los beneficios.

Estas ineficiencias se muestran en los costos relacionados con el manejo ambiental, los costos que no cumplen con los criterios de calidad requeridos y los costos de oportunidad por el no aprovechamiento de recursos.

El grado de aprovechamiento de los recursos para producir un producto o un servicio es una forma de medir la eficiencia (véase Figura 6). Por lo anterior, podemos definir los costos de ineficiencia como *aquellos gastos que no son estrictamente necesarios para obtener los – resultados deseados.*

La eficiencia productiva de una empresa se traduce como la capacidad de transformación de sus materias primas en productos reduciendo la cantidad de materiales desperdiciados para mejorar la productividad. A medida que insumos y materias primas sean transformados cumpliendo sus objetivos de producción con el menor gasto posible, aumenta la eficiencia del proceso. De manera similar, mientras menor sea la cantidad de residuos y contaminantes generados, mayor será el valor agregado que la empresa obtendrá de su proceso de producción.



**Figura 6. Relación entre la ineficiencia y el valor agregado de un producto.**  
Fuente: Adaptado de PROFEPA. (2011). *Liderazgo Ambiental para la Competitividad*. [Imagen PLAC].

La eficiencia puede determinarse también para operaciones unitarias específicas. Al hacer esto, es posible identificar cuáles son las partes del proceso con mayor o menor eficiencia para orientar los esfuerzos hacia aquellas partes menos eficientes, donde por lo general se encuentran mayores oportunidades y con un menor costo.

La información obtenida acerca de las ineficiencias del proceso contribuye a identificar oportunidades de mejora y a la toma de mejores decisiones sobre los futuros proyectos e inversiones en la empresa. Para encontrar la mejor solución a las ineficiencias encontradas en el proceso se deben considerar los siguientes puntos:

- Ⓢ Costo de materias primas y servicio auxiliares
- Ⓢ Etapas con mayor generación de residuos y emisiones
- Ⓢ Etapas con mayores pérdidas económicas
- Ⓢ Cumplimiento de reglamentos y normas
- Ⓢ Costos por la administración de residuos y emisiones
- Ⓢ Análisis de riesgo de la seguridad para el personal y el entorno
- Ⓢ Potencial para eliminar los cuellos de botella de producción
- Ⓢ Presupuesto disponible para llevar a cabo las posibles soluciones
- Ⓢ Expectativas respecto a la competitividad de la empresa

De esta forma, el análisis de los costos de ineficiencia es la herramienta fundamental para motivar y convencer a los empresarios de que la aplicación de proyectos de eco-eficiencia es un “buen negocio”, dado que la contabilización de los desperdicios es una herramienta fundamental para identificar y priorizar alternativas preventivas que realmente contribuyan a la competitividad de la empresa.

## 2.4 Empresa

Este proyecto fue realizado en una empresa dedicada a la compra-venta de azúcar granulada y producción de jarabe de azúcar, que abastece a la industria transformadora. Desde 1990, esta empresa se ha dedicado a la comercialización de azúcar granulada. Algunos años después, la empresa detectó necesidades especiales en la recepción de la materia prima por parte de la industria transformadora, por lo que se especializó en este sector inicialmente con la entrega en presentaciones mayores, el impulso a las exportaciones, la selección de calidad, etc. Sin embargo, el mercado ha seguido en un proceso continuo de maduración y cada vez exigen mayores y mejores estándares, por lo que se ha abocado a cubrir esos requerimientos.

A finales del año 2002 y como consecuencia de la imposición de un impuesto especial (IEPS) a aquellas bebidas que utilizaran un edulcorante distinto al azúcar, se generó una oportunidad impostergable para desarrollar una nueva presentación del azúcar, ahora en estado líquido, teniendo como reto a vencer que fuera con un costo de producción competitivo para las industrias, por lo que el camino elegido fue partir de azúcar de calidad estándar sometida a un proceso de filtración y decoloración.

El objetivo del proceso es entonces la producción de jarabe de sacarosa refinado de alta calidad partiendo de azúcar granulada de una menor calidad.



Este jarabe se ha posicionado rápidamente como una excelente alternativa de edulcorante líquido que cumple con los más altos estándares de calidad requeridos en un amplio nicho de mercado, el de las bebidas carbonatadas.

### 2.4.1 Producto

El producto es un jarabe de azúcar producido a partir de azúcares crudos, es el primero y es único en México. Éste permite la disminución de tiempo y costos de producción, así como de personal operativo.

Durante el proceso de elaboración se pueden controlar diversas variables para ajustar el jarabe a las necesidades del cliente, tales como concentración, color, cenizas, grado de inversión y pH, (véase Tabla 1); garantizando al final un edulcorante consistente y homogéneo. De esta forma, la empresa cuenta con una serie de diversos productos.

**Tabla 1. Productos y sus características**

Producto	Concentración [% masa]	Color [Unidades ICUMSA]	Cenizas [% masa]	pH
<b>45</b>	66.75 - 67.25	45	0.06	6 - 8
<b>140</b>	66.75 - 67.25	140	0.06	6 - 8
<b>180</b>	66.75 - 67.25	180	0.1	6 - 7.5
<b>Cero</b>	66.75 - 67.25	45	0.02	6 - 8

### **2.4.2 Proceso**

El proceso consiste en las siguientes etapas:

**1. Disolución.** Para obtener el jarabe, se disuelve el azúcar crudo granulado en agua caliente. Se utiliza un tanque agitado con sistema de calentamiento a vapor, agregando la cantidad suficiente de azúcar a la proporción correspondiente de agua para que se obtenga un jarabe de azúcar a la concentración deseada, ya que en esta etapa el jarabe se encuentra una alta concentración de impurezas insolubles, alto en color, elevada turbidez, etc.

**2. Filtración.** Una vez que obtienen el jarabe, se realiza la separación y remoción de partículas suspendidas en el jarabe, como son bagacillo y otras materias extrañas provenientes de la propia materia prima. Esta remoción de partículas se realiza por filtración, mediante la incorporación de un material de soporte (filtro ayuda) en el jarabe. Se mezcla en un tanque con agitador y hacen pasar la mezcla por un filtro a presión de placas verticales. Los sólidos removidos se desechan junto con la torta formada en el filtro y el jarabe filtrado se pasa a la etapa de decoloración primaria. En esta etapa se obtiene un jarabe sin impurezas, filtrado y con menor turbidez que en la etapa de dilución.

**3.-Decoloración Primaria.** El jarabe filtrado es sometido a un proceso de decoloración primaria, el cual se realiza mediante una columna de intercambio iónico. En las resinas de intercambio iónico se retiene gran parte de los iones que proporcionan el color ámbar característico al jarabe de azúcar. A la salida de esta etapa se obtiene

un jarabe con hasta un 75-80% menos de color con respecto al jarabe de entrada.

**4.-Desmineralización y Decoloración Complementaria.** El jarabe parcialmente decolorado es pasado enseguida al proceso de desmineralización y decoloración complementaria mediante el uso de otra columna de intercambio iónico, que mantiene constante el pH del jarabe, lo que evita la condición ácida del jarabe que favorece la inversión de la sacarosa. De esta manera el producto desmineralizado contiene una mínima cantidad adicional de azúcares invertidos. El jarabe que pasa por esta columna puede disminuir 80% como mínimo el contenido de cenizas y hay una disminución de color de aproximadamente 60%.

**5.-Pulido.** Enseguida, el jarabe es sometido a un proceso de pulido consistente en remover las partículas remanentes de sólidos suspendidos orgánicos e inorgánicos que le proporcionan turbidez al jarabe y en separar también las pequeñas cantidades de sustancias amínicas provenientes de las resinas. Este proceso se realiza mediante filtración con ayuda de un medio adsorbente como desodorizante. En esta etapa se elimina tanto la turbidez como cualquier olor, sabor y color que pudiera provocar que el jarabe no cumpla con las especificaciones deseadas y se le da así un brillo.

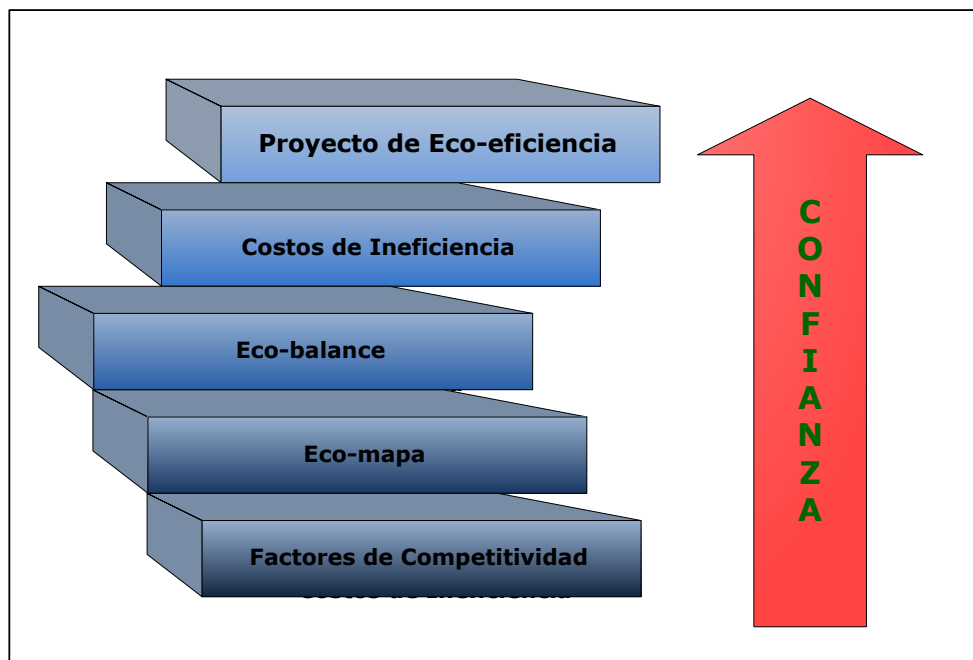
**6.-Sanitización con rayos ultravioleta.** Finalmente, para ayudar a la estabilidad microbiológica del producto, el jarabe pasa a través de un sistema convencional de rayos ultravioletas, para depositarlo finalmente en los recipientes o contenedores previamente

lavados y sanitizados en los cuales se distribuirá como producto terminado al usuario.

Bajo este proceso, a partir de azúcar cruda se obtiene un producto en forma de jarabe sin tener que realizar el proceso de purificación y recristalización que se lleva al cabo en la elaboración de azúcar refinada granulada, la cual se tendría que disolver una vez más para obtener el producto en forma de jarabe o azúcar líquida.

### 3. METODOLOGÍA

Para la elaboración de un proyecto de eco-eficiencia exitoso se requiere de la adecuada selección de herramientas que permitan identificar y priorizar las áreas de oportunidad, establecer las ineficiencias de los procesos para poder evaluarlas económicamente y analizar las propuestas de solución; todo esto, de conformidad con los factores de competitividad de la empresa (véase Figura 7).



**Figura 7. Secuencia de aplicación de la Metodología.**

La metodología utilizada consistió en aplicar las tres herramientas principales de la eco-eficiencia: el eco-mapa, el eco-balance y el análisis de los costos de ineficiencia. Para la aplicación de estas herramientas fue necesario iniciar con la definición de los factores de competitividad.

### **3.1 Determinación de factores de competitividad**

Para conocer este tipo de información fue necesario realizar una serie de entrevistas al personal administrativo de la empresa perteneciente a las áreas de: Dirección de Operaciones, Investigación y Desarrollo, Gerencia General de la Planta de Producción y Recursos Humanos de la Planta.

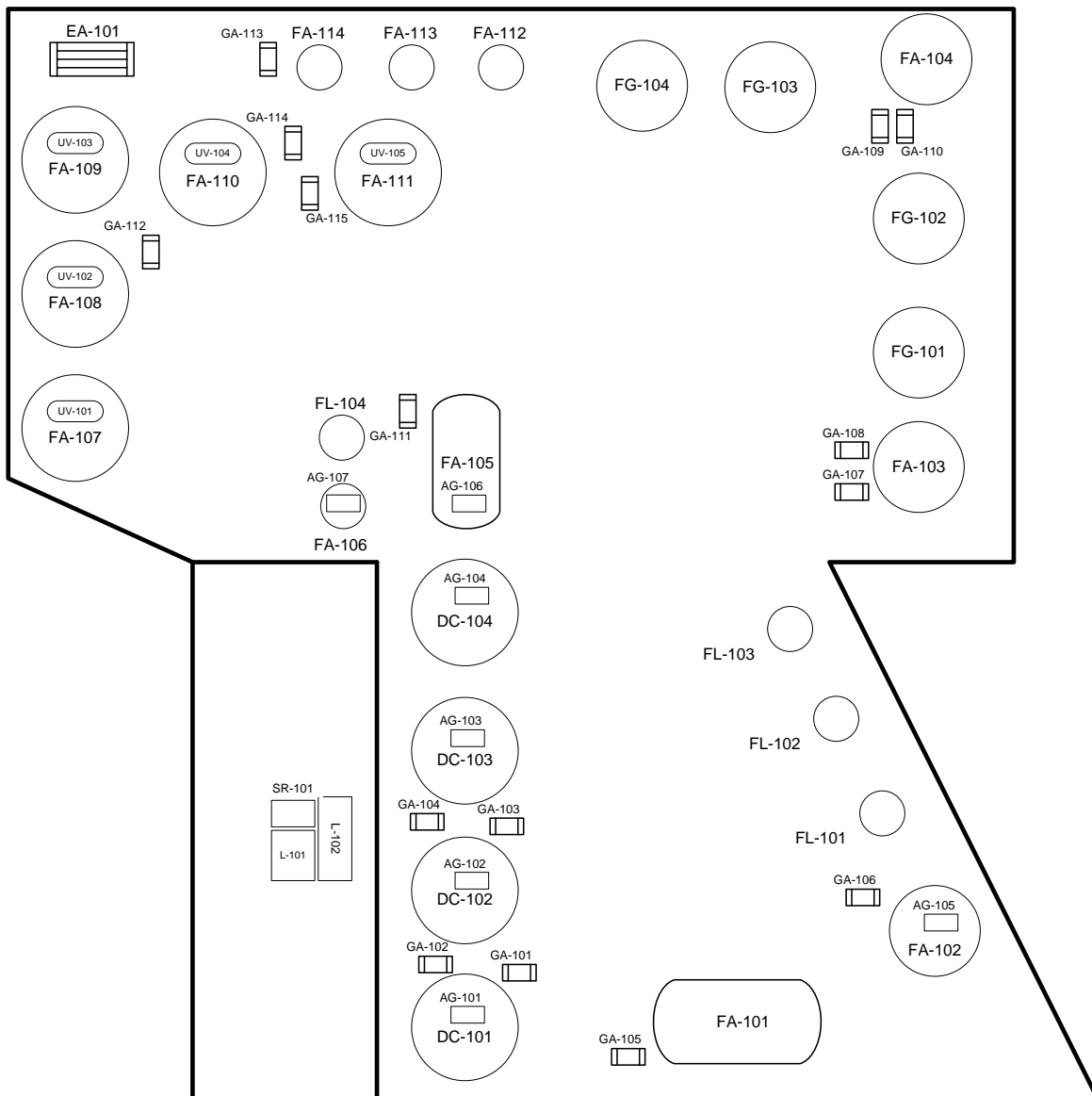
En el Anexo I se muestra el cuestionario utilizado para la definición de los factores de competitividad de la empresa.

### **3.2 Elaboración del eco-mapa**

Para la realización del eco-mapa se requirió de la elaboración de una descripción general del proceso a detalle, ya que no se contaba con este documento en la empresa. Esta descripción fue realizada con base en los manuales de procedimientos de la planta, los manuales de operación de algunos equipos y toda la información proporcionada por el personal operativo de la planta.

También se elaboró un diagrama de flujo de proceso simplificado para poder identificar mejor las principales entradas y salidas de las diferentes operaciones unitarias del proceso.

Una vez creada la descripción del proceso, se elaboró un plano general de la planta (Figura 8), en el que se pueden observar todos los equipos y su distribución dentro de la empresa.



**Figura 8. Plano General de la Planta.**

Enseguida, se identificaron en el plano los insumos utilizados, las descargas y/o desperdicios generados y la intensidad de consumo o desperdicio que tenía cada uno de estos temas ambientales. Para cada tema se utilizó una figura diferente, mientras que para la cuantificación de estos, se utilizaron colores distintos.

Con el eco-mapa elaborado se seleccionó el área de oportunidad donde se desarrolló este proyecto en específico: **área de decoloración de jarabe.**

### **3.3 Elaboración del eco-balance**

Para el desarrollo del eco-balance se determinaron todas las entradas y salidas de la sección de decoloración de jarabe. Esto se realizó conociendo a detalle cada etapa de operación de esta sección, haciendo énfasis especial en la etapa de regeneración de las columnas, que se realizó y monitoreó durante tres ocasiones, realizando una serie de titulaciones con HCl e NaOH para los efluentes de esta etapa.

### **3.4 Determinación de los costos de ineficiencia**

También fue necesario realizar balances de materia y energía para estimar los costos de cada uno de los insumos involucrados, éstos se realizaron para los subsistemas existentes dentro de la planta, los cuales proveen al área de decoloración: sistemas de producción de agua filtrada y desmineralizada, sistema de aire comprimido, sistema de generación de vapor y sistema de producción de salmuera.



## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Mediante la aplicación de la metodología antes descrita se obtuvieron los siguientes resultados durante el desarrollo de este proyecto.

### 4.1 Factores de Competitividad

Como ya se mencionó anteriormente, para la realización de un proyecto de eco-eficiencia fue indispensable definir a los actores interesados en la empresa y priorizarlos por el interés que tienen en ella. Según los resultados obtenidos en las entrevistas realizadas, se encontraron los siguientes actores interesados mostrados en la Tabla 2.

**Tabla 2. Actores interesados en la empresa**

Actor Interesado	
Empresa refresquera líder mundial	Cliente
Empresa nacional líder en la elaboración de jugos y néctares	Cliente
Empresa líder en la elaboración de bebidas de té	Cliente

La empresa refresquera es el cliente más importante ya que las ventas a este cliente esperadas son de 880 toneladas mensuales en base seca de jarabe de azúcar con una calidad superior.

Para que la empresa fuera aprobada como proveedor oficial de esta empresa refresquera, se realizaron cambios en procesos, procedimientos y equipos. Actualmente, las estrategias de la empresa están enfocadas en la satisfacción de este cliente en particular.

Esto convierte al cliente de la empresa refresquera en el actor interesado de mayor importancia para la empresa, siendo ésta la razón por la cual el proyecto se realizará con base en el producto que se le vende a este cliente.

La competitividad de una empresa está definida por el valor agregado que den los actores interesados al producto y servicios que se les ofrecen. Así, las razones por las que los clientes prefieren los productos de la empresa son las siguientes:

- ⊗ Los costos de operación, mantenimiento y tiempos en plantas de los clientes se disminuyen.
- ⊗ El producto tiene las características específicas que el cliente requiere.
- ⊗ El producto se ofrece a un precio competitivo en comparación a los costos de producción de éste en las propias plantas de los clientes.

Dados estos factores de competitividad, el proyecto fue enfocado en la reducción de los costos de producción sin afectar en lo más mínimo la calidad del producto. Las oportunidades que se presentaron para la empresa variaron, desde la reducción del consumo de energía y recursos, hasta la venta del producto en un mercado con requerimientos ambientales e incluso la obtención de un financiamiento en caso de aumentar su crecimiento y lograr así una mejor posición en el mercado.

Prevenir la contaminación representó un ahorro en los costos y contribuyó a la imagen de la empresa. La competitividad se vio reflejada en ser mejores y en aumentar el valor agregado y la rentabilidad de la empresa.

## **4.2 Eco-mapa**

La descripción del proceso fue parte elemental para el entendimiento del mismo y para así poder realizar adecuadamente el eco-mapa para seleccionar el área de oportunidad.

### ***4.2.1 Descripción del Proceso***

#### *Recepción y Almacenaje de Materia Prima*

La materia prima llega al área de almacén en costales que son descargados y apilados en tarimas manualmente. Los costales son aspirados para evitar la presencia de larvas, polvo y basura en general. Al ser descargados, parte del azúcar sale de los costales, lo que provoca pérdidas de materia prima de aproximadamente 2 kg por cada descarga de 27 toneladas de azúcar.

Los costales se depositan dentro del almacén para ser transportados por medio de un montacargas al área de vaciado en el momento que se requiera. Los montacargas utilizan gas LP como combustible, durante un día de operación se gastan dos tanques de 47 L de gas por los dos montacargas que se utilizan.

### *Vaciado de Azúcar*

Se colocan 280 costales de azúcar dentro del área de vaciado y se vierte el contenido de cada saco dentro de la tolva L – 101 (véase Anexo II). En el caso de que la materia prima se encuentre aterronada se utiliza el molino SR – 101 para triturarla y es enviada también a la tolva. Una vez en la tolva, el elevador de cangilones L – 102 se encarga de llevar el azúcar a uno de los disolutores DC – 101 a 104, en aproximadamente 50 minutos. Para la preparación de un disolutor se utilizan inicialmente 14 toneladas de azúcar.

El cuarto de vaciado es un lugar cerrado en el que se realiza únicamente esta operación, y se desperdicia aproximadamente 1 kg de azúcar por cada disolutor preparado. La temperatura del cuarto es controlada a 20 °C utilizando aire acondicionado. El laboratorio se encarga de llevar el control del tipo de azúcar, características y del ingenio del cual procede (véase Anexo III, Tabla.A-1).

### *Disolución de Azúcar*

Al disolutor vacío se le añaden 10 kg de tierra filtrante y se comienza a llenar el disolutor con agua filtrada a una temperatura de 50 °C<sup>2</sup> proveniente del tanque de agua filtrada de proceso FA – 116, esta operación dura aproximadamente 20 minutos.

Cuando se han ingresado 3,000 L de agua es encendido el agitador AG – 101 a 104 (dependiendo el disolutor en operación) y al alcanzar los 7,200 L se comienza a añadir el azúcar hasta obtener 16,000 L de jarabe, esta operación dura aproximadamente 50 minutos, tiempo durante el cual el agitador se mantiene encendido. Una vez alcanzado este volumen, se hace circular vapor por el serpentín para

---

<sup>2</sup> En adelante, se hará referencia a esta sustancia como AFC.

tener una temperatura de 65 °C y eliminar microorganismos patógenos que pudieran estar presentes.

Después de una hora de operación del disolutor, el laboratorio de calidad toma una muestra en la que se mide la concentración de azúcar (véase Anexo III, Tabla.A-1). En caso de que la concentración sea menor a 67 °Brix, (67% en masa), se añadirá la cantidad de azúcar necesaria que sea indicada por el laboratorio y se esperarán entre 10 y 15 min para tomar una nueva muestra. Al alcanzar la concentración y temperatura requeridas, el jarabe es enviado a la zona de filtrado con la bomba GA – 101 si se trata de los disolutores 1 y 2 o con la bomba GA – 103 si se utilizan los disolutores 3 y 4. El bombeo tiene una duración de 50 min aproximadamente.

#### *Filtración*

El jarabe es filtrado en uno de los equipos FL – 101 a 103 durante una hora aproximadamente y almacenado en el tanque de balance 1, FA – 103. La presión de filtrado debe ser mínimo de 1 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup> y menor a 4 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>. En el caso en que la presión sea de 4 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup> o mayor, se le añaden más tierras filtrantes.

Al ocurrir esto aproximadamente 4 veces, el filtro sale de operación y es lavado. Para la adición de las tierras filtrantes se vierten 2,000 L de jarabe en el tanque de precapa FA – 102, después se añaden 12 kg de celulosa y más tarde 10 kg de tierra filtrante. Al agregar cada una, el jarabe es recirculado durante 20 minutos a través del tanque de precapa y el filtro que se encuentre en operación utilizando la bomba GA – 106. Una vez finalizado este proceso se realiza la filtración del resto del jarabe.

### *Decoloración*

Pre calentamiento del lecho de resina. A las columnas de decoloración FG – 101 y FG – 102 se le introducen aproximadamente 4,000 L de AFC (35 GPM durante 30 min) por la parte inferior del equipo para que se empiece a calentar la resina y poder introducir el jarabe, disminuyendo así la posibilidad de que ocurra un choque térmico en ésta. Finalmente, el agua es enviada a alguno de los tanques de neutralización FA – 125 o FA – 126. En este equipo se utilizan dos tipos de resinas aniónicas de base fuerte, ambas en ciclo  $\text{Na}^+$ . Estas resinas son cambiadas aproximadamente cada año.

Endulzado. Para retirar el agua utilizada en el pre calentamiento y que la columna quede completamente llena de jarabe a la concentración requerida, se circulan entre 8,000 y 9,000 L de jarabe desde el tanque de balance 1 FA – 103, que posteriormente es llevado al tanque de desendulzado FA – 101.

Este procedimiento se lleva al cabo hasta que la concentración de salida sea igual a la de entrada utilizando la bomba GA – 107.

Producción. La decoloración de 80,000 a 112,000 L de jarabe se lleva al cabo a una velocidad de 2 L/s aproximadamente. Una vez que el jarabe decolorado deja de tener la calidad requerida (véase Anexo III, Tabla.A-2) se procede a desendulzar la columna. Esto ocurre aproximadamente después de 48 horas de operación.

Desendulzado. Para retirar los residuos de jarabe que se encuentren en la columna, se hacen circular 1,360 L de agua desmineralizada<sup>3</sup>, enviada desde el tanque FA – 117, hasta que la concentración de salida sea igual a cero. Ésta se envía al tanque de desendulzado FA – 101 utilizando la bomba GA – 108.

---

<sup>3</sup> En adelante, se hará referencia a esta sustancia como ADC.

Regeneración. En esta etapa, se utiliza salmuera alcalina que consta de 10% de NaCl y 0.2% de NaOH. Estas concentraciones de la salmuera alcalina son alcanzadas al mezclar la solución de salmuera proveniente del tanque de salmuera al 20%, FA – 124 (4,315 L) y la solución de NaOH al 50 % proveniente del tanque FA – 119 (123 L) con ADC (4,997 L) proveniente del FA-117. El desplazamiento de la salmuera se realiza con 10,900 L de ADC durante 30 min, mientras que el enjuague de la columna se realiza con 22,200 L durante 35 min. Ésta se envía al los tanques de neutralización FA – 125 y FA – 126.

Para determinar que la resina de intercambio iónico se encuentra regenerada, se analizan los parámetros indicados en la Tabla.A-2 del Anexo III. El proceso de regeneración tiene una duración aproximada de 4 horas.

Lavado con Aire. Después de 4 regeneraciones, se realiza un lavado con aire comprimido por aproximadamente 20 minutos (CM – 101) para mantener los pellets de resina separados.

### *Desmineralización*

Pre calentamiento de Resina. A las columnas de desmineralización FG – 103 y FG – 104 se les introducen 5,300 L de AFC por la parte inferior del equipo para empezar a calentar la resina y poder introducir el jarabe evitando que ocurra un choque térmico, ésta es enviada al tanque de neutralización FA – 125 o FA – 126. En estas columnas se utiliza un lecho mixto de resinas, las cuales son una resina aniónica de base fuerte en ciclo  $\text{OH}^-$  y una resina catiónica de base débil en ciclo  $\text{H}^+$ .

Endulzado. Para retirar el agua utilizada en el pre calentamiento y que la columna quede completamente llena de jarabe a la concentración requerida, se circulan 18,000 L de jarabe desde el tanque de balance 2

FA – 104 utilizando la bomba GA –110 que posteriormente es llevado al tanque de desendulzado FA – 101.

Producción. La desmineralización de 90,000 L de jarabe se lleva al cabo a una velocidad de 1.8 L/s aproximadamente. Una vez que el jarabe desmineralizado deja de tener la calidad requerida (véase Anexo III, Tabla.A-3) se procede a desendulzar la columna. La operación de cada columna es de 16 horas antes de que se requiera realizar la regeneración de las resinas.

Desendulzado. Para retirar los residuos de jarabe que se encuentren en la columna se hacen circular 35 GPM de AFC durante 180 min (23,900 L) que posteriormente es enviada al tanque de desendulzado.

Inyección y Desplazamiento de Salmuera. Se añaden 2,725 L de salmuera al 20% y 3,634 L de agua filtrada a temperatura ambiente (AF) para terminar de agotar la resina. Posteriormente, con 14,500 L de AF, se retira la salmuera y se descarga directamente al drenaje.

Separación de Resina. Se hacen circular 6,360 L de AF para que, por densidad, los dos tipos de resinas sean separadas. La resina aniónica queda en la parte superior, mientras que la catiónica queda en la parte inferior de la columna. El agua utilizada se descarga a los tanques de neutralización FA-125 y FA-126.

Regeneración. Aproximadamente 682 L de HCl al 30% en masa y 720 L de NaOH son ingresados en la columna para llevar al cabo la regeneración de las resinas, utilizándose además 27,000 L de agua desmineralizada a temperatura ambiente (ADD) proveniente de los tanques FA – 134 a 136.

Enjuague y Mezclado de Resinas. Después de la regeneración, se hacen circular por la columna 23,700 L de ADD para desplazar el ácido y la sosa remanentes. La columna es llenada con 1,212 L de ADD hasta



24" sobre el nivel de la resina y se le inyecta aire comprimido (CM – 101) desde la parte inferior de la columna para mezclar ambas resinas. Después de 10 min de inyección de aire, se drena el agua hasta alcanzar los 15 cm sobre el nivel de la resina y se le inyecta aire por otros 10 min.

Enjuague Final. Por último se realiza un enjuague con 9,100 L de ADD durante 15 min, la cual se descarga al tanque de neutralización. El agua de este enjuague debe satisfacer los intervalos de los parámetros indicados en la Tabla.A-3 del Anexo III.

#### *Pulido*

La última fase del proceso es la eliminación del olor y color adquiridos por las resinas durante la decoloración y la desmineralización. Esto se realiza dentro del tanque de pulido FA – 105, en el cual, además del jarabe, se introducen de 5 a 10 kg de carbón activado y 1 kg de tierra filtrante por cada kg de carbón activado, dependiendo del olor y color del jarabe a la salida de las columnas de intercambio iónico. El jarabe es recirculado con la bomba GA-111 dentro del tanque de pulido y enviado directamente al filtro FL – 104 para remover el carbón activado utilizando tierra filtrante y celulosa. El procedimiento de operación y mantenimiento de este filtro es igual al de los filtros FL – 101, FL – 102 y FL - 103. El laboratorio analiza el producto para permitir que sea llevado a los tanques de producto terminado (véase Anexo III, Tabla.A-1).

#### *Almacenamiento en Tanques de Producto Terminado*

Los tanques de almacenamiento de producto terminado FA – 107 a 111 son llenados en aproximadamente 2 horas cada uno. Cuando el tanque se llena a un nivel de 13,000 o 14,000 litros, el jarabe es

recirculado entre el tanque y el enfriador de producto terminado EA - 101 utilizando la bomba GA - 114. Cuando el tanque se llena completamente se recircula durante una hora más.

El intercambiador de calor funciona con agua filtrada que viene del tanque FA - 132 y va hacia el tanque de agua filtrada de proceso FA - 116. La temperatura final del jarabe es de entre 45 y 50 °C.

#### *Llenado de Pipas*

El jarabe es entonces bombeado (GA - 112) a la zona de llenado de pipas en donde es enfriado hasta 25 °C en el intercambiador de calor EA -105 que utiliza agua enviada desde la torre de enfriamiento DA - 101. Finalmente, el producto es sometido a radiación de luz ultravioleta con la lámpara UV - 106 mientras es llevado a la pipa para eliminar la posible carga microbiana. Ésta es llenada con aproximadamente 34 toneladas de producto. Este procedimiento se encuentra totalmente automatizado.

#### *Lavados*

El lavado de equipos es una parte importante que se encuentra fuera del proceso, pero en el que se consumen grandes cantidades de agua y por lo tanto podría representar gastos considerables. Estos se pueden dividir en tres tipos dependiendo de los equipos:

Lavado de tanques y recipientes. Para el lavado de cada uno de los disolutores DC - 101 a 104, se agregan primero alrededor de 200 L de AFC y posteriormente esta mezcla es enviada al tanque de desendulzado FA - 101 junto con los 250-300 L de jarabe que no son sacados del disolutor durante el proceso para evitar problemas de

bombeo. Posteriormente, el disolutor es lavado con 1600 L de AFC, utilizando además 3 L de detergente y 750 ml de sanitizante (véase Anexo III, Tabla.A-6).

Esta mezcla es descargada directamente al drenaje. Se sigue el mismo procedimiento para el lavado de los tanques de balance FA – 103 y FA – 104 y para el tanque de pulido FA – 105. Para el lavado de los tanques de producto terminado FA – 107 a 111, se utilizan 5,000 L de AF por cada tanque. Estos lavados se encuentran automatizados.

Lavado de Filtros. Los filtros son lavados aproximadamente después de que se lleven al cabo 4 procedimientos de precapa, por lo regular una vez al día.

El lavado se lleva al cabo con 2,000 L de AFC, las tierras filtrantes que ya no serán utilizadas son enviadas a la fosa de residuos sólidos FA – 115. Estos residuos son aproximadamente de 82 kg.

Lavado de Pipas. Antes de cargar el producto, se hace una inspección por parte del departamento de calidad que evalúa algunos parámetros de la pipa que será cargada (véase Anexo III, Tabla.A-5) y con base en ellos determina si es necesario el lavado de la misma.

El lavado de las pipas consta de tres etapas, evaluándose los parámetros indicados en la Tabla.A-4 del Anexo III en cada etapa:

- ▣ Enjuague inicial. Se utiliza un volumen promedio de 200 L de AF que es calentada por el paquete de lavado de pipas PA – 101 a una temperatura de 40 °C, que es recuperada posteriormente en el tanque de desendulzados FA - 101.

- ▣ Sanitizado. Durante 15 min se hacen pasar 400 L de AF que se calienta por el paquete de lavado de pipas PA – 101 a una temperatura de 82 °C, la cual se mantiene en recirculación con la bomba GA – 128 para después ser descargada al drenaje.
- ▣ Enjuague en frío. Por un periodo de 5 min se hace pasar AF que posteriormente va al drenaje.

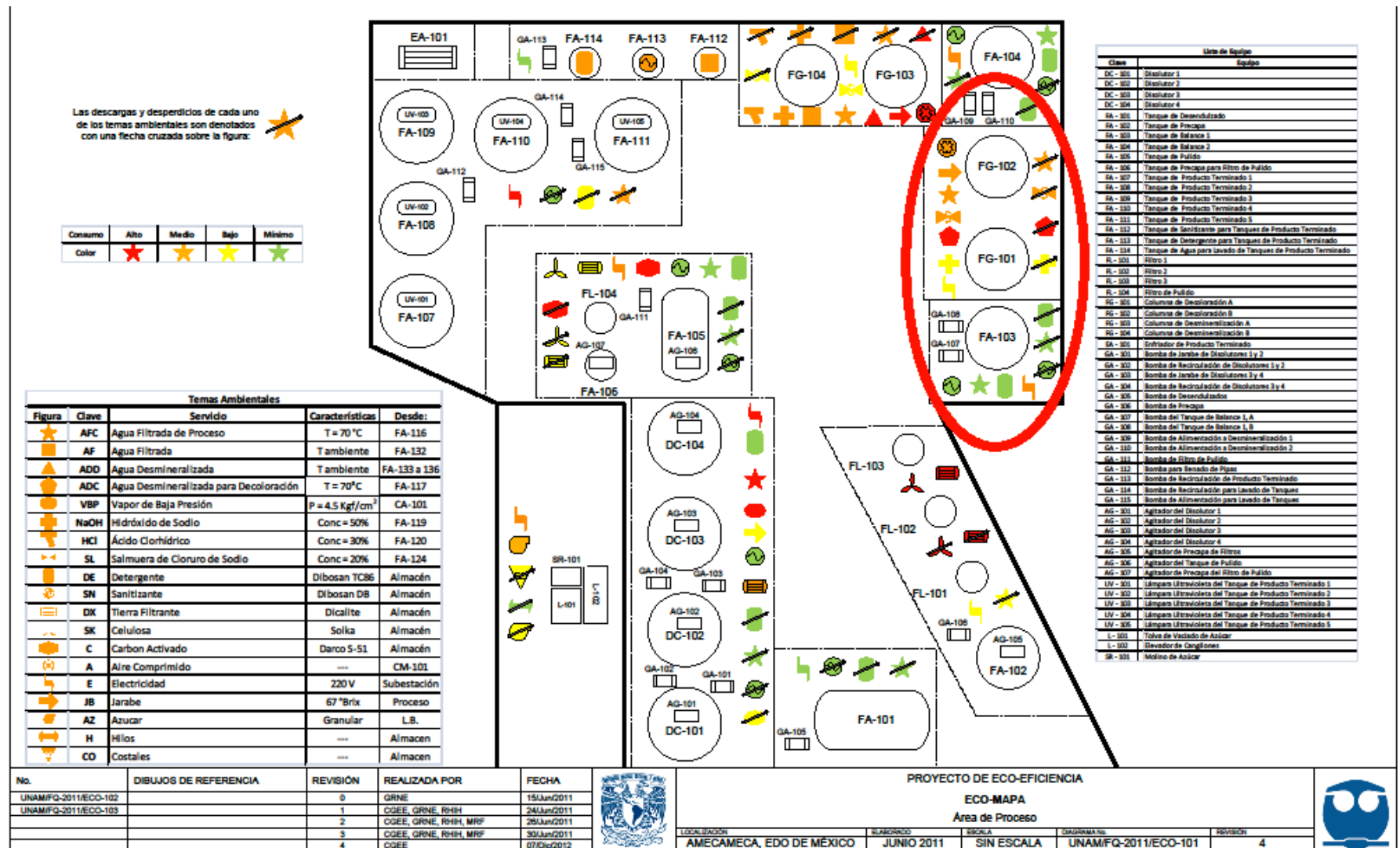
#### **4.2.1 Selección del Área de Oportunidad**

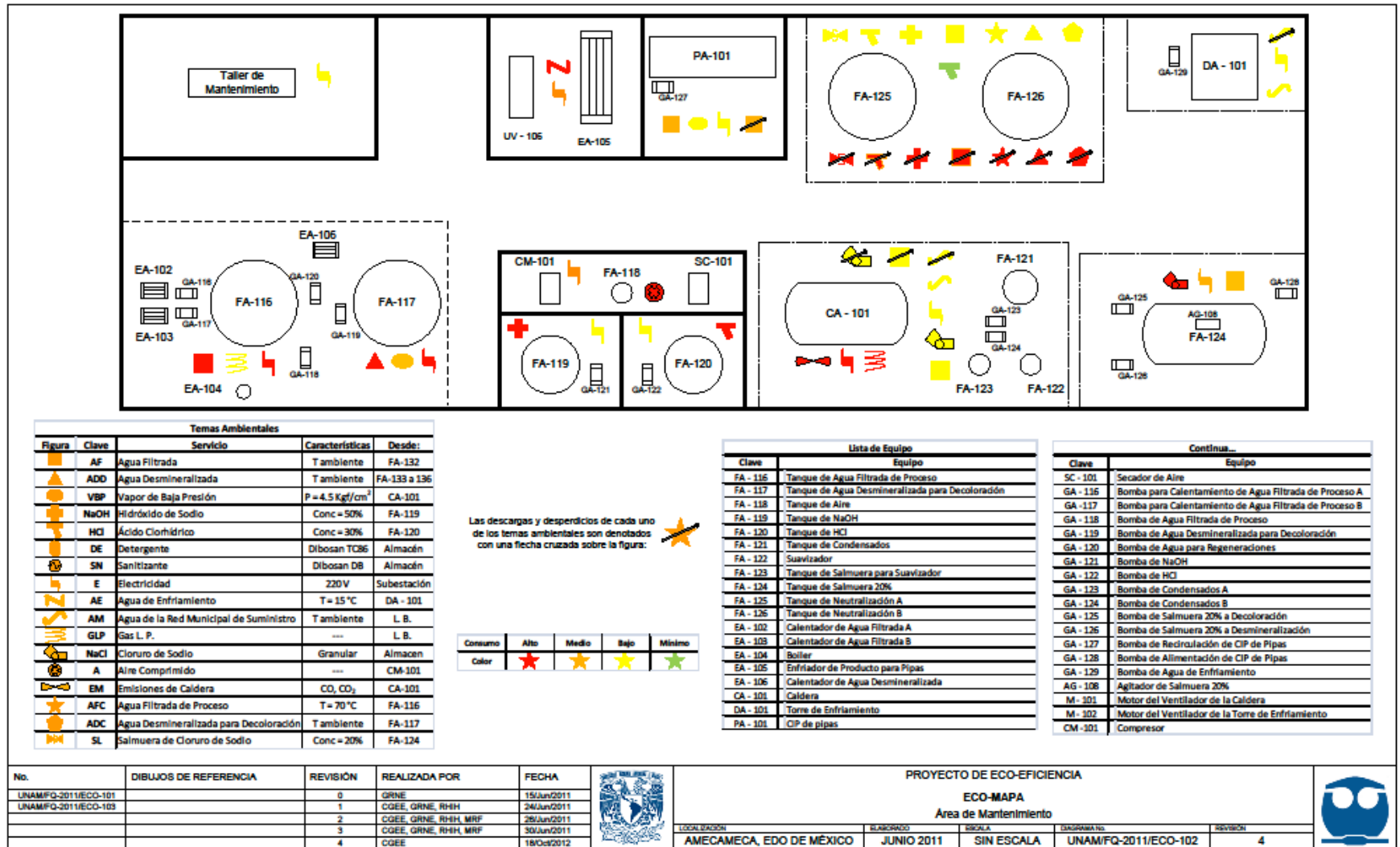
Con base a la información recopilada en la descripción del proceso, se realizó una comparación cualitativa de los consumos y descargas en la planta, así como de los costos involucrados en cada una de sus diferentes áreas. De esta forma se eligió la sección de decoloración de jarabe como área de oportunidad.

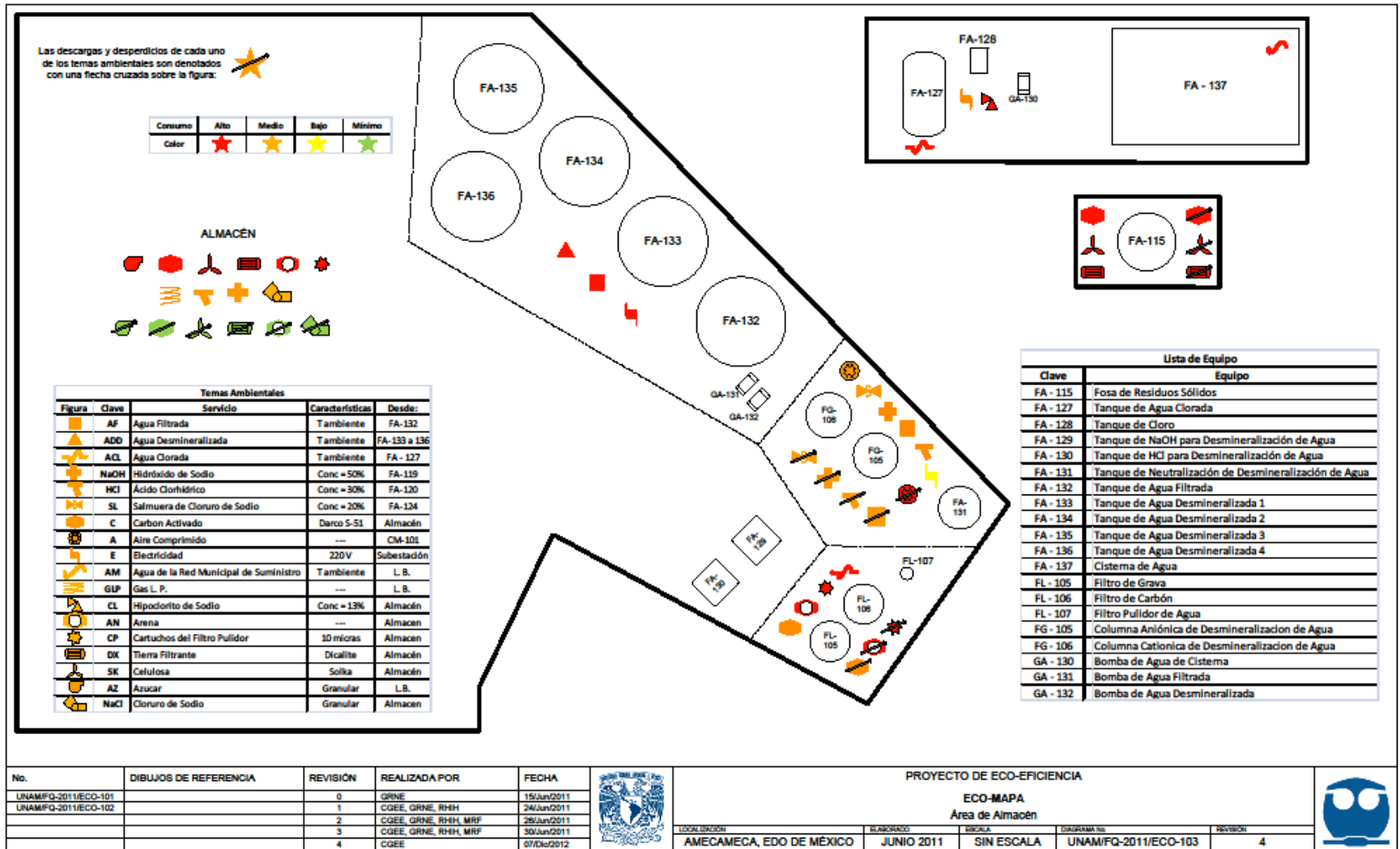
La zona de decoloración fue elegida debido a la significativa cantidad de temas ambientales que presenta (Diagramas 1, 2 y 3. Eco-mapas 1, 2 y 3. UNAM/FQ-2011/ECO-101, 102 y 103), así como a los elevados consumos de agua, agentes químicos, etc., siendo éste el principal motivo de que las descargas de efluentes sean tan altas y de gran impacto ambiental.

La optimización de esa sección es de suma importancia, tanto económicamente como con respecto a la calidad del producto, ya que es aquí, en la primer etapa, en donde el producto comienza a perder el color y disminuye notablemente la cantidad de cenizas que contiene el jarabe, dejando el producto listo para la siguiente etapa de perfeccionamiento a los requerimientos del cliente. Con esto, se tiene una relación directa con los factores de competitividad de la empresa.

## 4. Resultados y Análisis







### 4.3 Eco-balance y análisis de los costos de ineficiencia

El proceso de la decoloración del jarabe de azúcar consiste principalmente en remover los iones responsables del color, en su mayoría compuestos aniónicos, principalmente ácidos orgánicos, sulfatos y carbonatos (véase Tabla 3).

Tabla 3. Composición del jarabe de azúcar

<b>Potasio</b>	K <sub>2</sub> O	0.7 - 1
<b>Sodio</b>	Na <sub>2</sub> O	0.02 - 0.04
<b>Sulfato</b>	SO <sub>3</sub>	0.2 - 0.61
<b>Cloruro</b>	Cl	0.16 - 0.46
<b>Calcio</b>	CaO	0.35 - 0.37
<b>Magnesio</b>	MgO	0.03 - 0.32
<b>Silicio</b>	SiO <sub>2</sub>	0.01 - 0.07
<b>Fosfato</b>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01 - 0.02
<b>Hierro</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.007 - 0.01
<b>Ceniza sulfatada</b>		3.1 - 6.5
<b>Ceniza conductimétrica</b>		3.9 - 4.7

Fuente: James, C. P. Chen, J. C. P. y Chou, Ch-Ch. (1993). *Manual del azúcar de caña. Un manual para los fabricantes del azúcar de caña y sus químicos.*

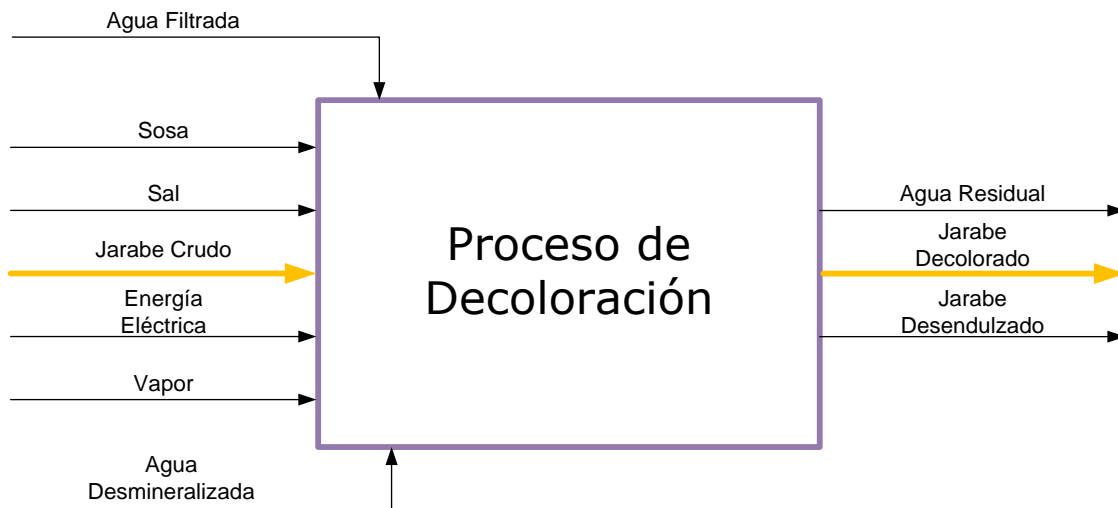
El proceso de decoloración se lleva al cabo en columnas de intercambio iónico por medio de dos resinas tipo aniónicas que mediante el mecanismo de adsorción, remueven el color del jarabe. Cuando el jarabe decolorado tiene un índice de 200 unidades ICUMSA de color se



procede a detener la producción para regenerar las columnas y posteriormente iniciar un nuevo lote de producción. Es en esta parte de la operación en donde se utiliza un gran número de temas ambientales en cantidades bastante significativas, de ahí la necesidad de optimizar este procedimiento.

### 4.3.1 Estimación de costos

En la regeneración de las columnas de decoloración, la mayoría de los insumos utilizados son disoluciones de diferentes características: agua filtrada, agua desmineralizada, hidróxido de sodio, cloruro de sodio, etc, (véase Figura 9).



**Figura 9. Entradas y salidas del Sistema de Decoloración.**

Para la evaluación de los costos de producción de cada una de las entradas se realizaron balances de materia y energía en los siguientes subsistemas.

#### *Agua Clorada*

El agua proveniente de la red municipal de suministro o proveniente de pipas de agua que generalmente la empresa se ve en la necesidad de comprar, es bombeada desde la cisterna a un tanque de 12.6m<sup>3</sup> de capacidad (FA-127) en el que se inyecta automáticamente una dosis de hipoclorito de sodio (NACIO) para que la concentración de éste en el agua sea aproximadamente de 5 mg/L. En la Tabla 4 se presenta el cálculo de los costos.

Insumo	Cantidad requerida	Costo unitario	Costo de Producción
Agua pipas	1.26 pipa	\$400 / pipa	\$504.00
Cloro	0.04 L	\$6.69 / L	\$0.26
Costo Total =			\$504.26
<b>Base de Producción =</b>			<b>12.6 m<sup>3</sup></b>
<b>Costo por m<sup>3</sup> =</b>			<b>\$40.02</b>

*Agua Filtrada*

Posteriormente, el agua clorada es sometida a un proceso de filtración con arena y carbón activado. El agua clorada es bombeada desde el tanque FA-127 hacia los filtros FL-105 y FL-106 para finalmente ser tratada en el filtro pulidor FL-107 y ser almacenada en el tanque de agua filtrada, FA-132. La Tabla 5 muestra los costos asociados.

<b>Tabla 5. Producción de Agua Filtrada</b>			
<b>Insumo</b>	<b>Cantidad requerida</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo de Producción</b>
Agua Clorada	2,289.42 m <sup>3</sup>	\$40.02 / m <sup>3</sup>	\$91,622.47
Cartuchos Pulidores	21 piezas	\$149.5 / pieza	\$3,139.50
Carbón Activado	19.23 kg	\$61.49 / kg	\$1,182.56
Energía Eléctrica	1,879.16 kWh	\$0.8831 / kWh	\$1,659.49
Arena	19.23 kg	\$3 / kg	\$57.69
Agua Filtrada Reg.	1 m <sup>3</sup>	\$42.3 / m <sup>3</sup>	\$42.30
<i>Costo Total =</i>			\$97,704.02
<b>Base de Producción =</b>			<b>2,289.42 m<sup>3</sup></b>
<b>Costo por m<sup>3</sup> =</b>			<b>\$42.68</b>

*Agua Desmineralizada*

Para la producción de agua desmineralizada, se bombea agua filtrada desde el tanque FA-132 hacia las columnas de desmineralización de agua FG - 105 y 106. Una vez llevado al cabo el proceso, se almacena el agua en algún tanque de agua desmineralizada FA - 133 a 136. En la Tabla 6 se muestra la estimación de los costos.

<b>Tabla 6. Producción de Agua Desmineralizada</b>			
<b>Insumo</b>	<b>Cantidad requerida</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo de Producción</b>
Agua Filtrada Reg.	13 m <sup>3</sup>	\$42.68 / m <sup>3</sup>	\$554.80
Agua Filtrada Prod.	350 m <sup>3</sup>	\$42.68 / m <sup>3</sup>	\$14,936.94
NaOH [50% masa]	0.11 m <sup>3</sup>	\$9,769.6 / m <sup>3</sup>	\$1,074.66
HCl [30% masa]	0.066 m <sup>3</sup>	\$2,530 / m <sup>3</sup>	\$166.98
Aire	40 min	\$6.59 / h	\$6.59
<i>Costo Total =</i>			\$16,739.96
<b>Base de Producción =</b>			<b>350 m<sup>3</sup></b>
<b>Costo por m<sup>3</sup> =</b>			<b>\$47.83</b>

*Salmuera*

Para la producción de salmuera al 20% se utiliza agua filtrada proveniente del tanque FA – 132, a la cual se le añade cloruro de sodio granular, la mezcla es agitada aproximadamente durante una hora. Los costos de producción se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Producción de Salmuera 20% masa			
Insumo	Cantidad requerida	Costo unitario	Costo de Producción
<b>Agua Filtrada</b>	8 m <sup>3</sup>	\$42.68 / m <sup>3</sup>	\$341.42
<b>NaCl</b>	1,750 kg	\$ 1.94 / kg	\$3,395.00
<b>Energía Eléctrica</b>	2.24 kWh	\$0.8831 / kWh	\$1.98
<i>Costo Total =</i>			\$3,738.39
<b>Base de Producción =</b>			<b>8 m<sup>3</sup></b>
<b>Costo por m<sup>3</sup> =</b>			<b>\$467.30</b>

*Vapor de baja presión*

La producción de vapor está a cargo de la caldera CA – 101. Para la determinación de los costos de producción del vapor se tomaron en cuenta los consumos de agua que ingresa a la caldera, así como los consumo de combustible y electricidad. En la Tabla 8 se presenta el cálculo del costo de producción.

Tabla 8. Producción de Vapor de Baja Presión			
Insumo	Cantidad requerida	Costo unitario	Costo de Producción
Agua Filtrada	0.0007 m3	\$42.68 / m3	\$0.03
Agua pipas	0.0084 pipa	\$400 / pipa	\$3.37
NaCl	0.6944 kg	\$ 1.94 / kg	\$1.35
Energía Eléctrica	11.185 kWh	\$0.8831 / kWh	\$9.88
Gas LP	792.59 L	\$3.92 / L	\$3,106.94
<i>Costo Total =</i>			\$3,121.56
<b>Base de Producción =</b>			<b>1 h</b>
<b>Costo por min =</b>			<b>\$52.03</b>

Los costos de estos insumos se basaron en los precios promedio manejados por los proveedores de esta empresa durante el año 2011. En la Tabla 9 se muestran los costos obtenidos para los insumos utilizados en el proceso de decoloración:

Tabla 9. Costos Totales	
Insumo	Costo de Producción
<b>Agua Clorada</b>	\$40.02/m <sup>3</sup>
<b>Agua Filtrada</b>	\$42.68/m <sup>3</sup>
<b>Agua Desmineralizada</b>	\$47.83/m <sup>3</sup>
<b>Salmuera 20%</b>	\$467.30/m <sup>3</sup>
<b>Vapor de baja presión</b>	\$52.03/min

#### **4.3.2 Proceso de Decoloración del jarabe de azúcar**

Uno de los principales procesos en donde se enfocó el proyecto fue en la etapa de regeneración de las columnas de decoloración. Para la operación de estas columnas el proveedor ha propuesto los siguientes parámetros de operación, Tabla 10. El costo del proceso se adjunta.

En la actualidad, el procedimiento con que se realiza cada ciclo de producción y regeneración sigue la misma metodología propuesta por el proveedor, pero tiene variaciones importantes en cuanto a los tiempos y los flujos utilizados. A continuación se muestra la Tabla 11 con los parámetros con que actualmente se trabaja en la planta.

Tabla 10. Parámetros de operación del proveedor

Proveedor							
			Consumo		Bombeo	Operación	Costo Ciclo
	Flujo [GPM]	T [min]	[GAL]	[m <sup>3</sup> ]	[\$/ciclo]	[\$/ciclo]	[\$/ciclo]
Producción							
<b>Endulzado</b>	60	40	2,400	9.08	\$2.56	\$618.41	\$618.41
<b>Servicio</b>	45	2,915	131,175	496.5	\$186.28		
Desendulzado							
<b>ADC</b>	32	74	2,368	8.96	\$4.32	\$4,634.95	\$4,634.95
Regeneración							
<b>Inyección de salmuera alcalina</b>							
<b>NaOH 50%</b>	0.5	65	33	0.12	\$0.70	\$1,202.62	
<b>Sal 20%</b>	19	65	1,235	4.67	\$6.57	\$2,191.19	\$7,325.39
<b>ADC</b>	26	65	1,690	6.40	\$3.80	\$3,942.66	
<b>Desplazamiento de salmuera</b>							
<b>ADC</b>	38	65	2,470	9.35	\$3.80	\$4,199.81	\$4,199.81
<b>Enjuague</b>							
<b>ADC</b>	140	51	7,140	27.03	\$2.98	\$5,010.27	\$5,010.27
						<b>[\$/ciclo]</b>	<b>\$21,975.12</b>
						<b>[\$/m<sup>3</sup>]</b>	<b>\$44.26</b>
						<b>[\$/año]</b>	<b>\$1,922,822.93</b>



Tabla 11 - Parámetros de operación Reales

Real							
			Consumo		Bombeo	Operación	Costo Ciclo
	Flujo [GPM]	T [min]	[GAL]	[m <sup>3</sup> ]	[\$/ciclo]	[\$/ciclo]	[\$/ciclo]
Producción							
<b>Endulzado</b>	39.63	30	1,188.77	4.50	\$1.92	\$327.30	\$327.30
<b>Servicio</b>	29.51	1,401	41,339.82	129.24	\$89.52	\$89.52	\$89.52
<b>Desendulzado</b>							
<b>ADC</b>	39.62	60	2,377.20	9	\$3.50	\$3,908.80	\$3,908.80
<b>Reproceso D</b>				9	\$0.00	\$610.10	\$610.10
Regeneración							
<b>Inyección de salmuera alcalina</b>							
<b>NaOH 50%</b>	0.5	65	33	0.12	\$0.70	\$2,423.70	
<b>Sal 20%</b>	24	65	1,560	6.18	\$6.57	\$2,892.56	\$9,122.76
<b>ADC</b>	18	65	1,170	4.83	\$3.80	\$3,806.50	
<b>Desplazamiento de salmuera</b>							
<b>ADC</b>	21	65	1,365	5.17	\$3.80	\$3,835.51	\$3,835.51
<b>Enjuague</b>							
<b>ADC</b>	170	51	8,670	32.82	\$2.98	\$5,514.69	\$5,514.69
						<b>[\$/ciclo]</b>	<b>\$23,408.68</b>
						<b>[\$/m<sup>3</sup>]</b>	<b>\$181.13</b>
						<b>[\$/año]</b>	<b>\$2,048,259.53</b>

Para obtener esta tabla se realizó el seguimiento de la operación de las columnas decoloradoras (FG – 101 y 102) durante un periodo aproximado de mes y medio.

Se contó con la ayuda del personal de la planta para la recopilación de los datos y se estimaron los promedios correspondientes para cada etapa del proceso. Así mismo, se conoce que la planta labora durante un periodo de 350 días, considerándose cada mes con 30 días y que se realiza una regeneración cada 4 días.

Se observa el costo de cada operación, así como el costo de producción por m<sup>3</sup> de jarabe decolorado y el costo de operación anual de la columna.

#### **4.4 Alternativas de Solución**

Analizando la operación de las columnas decoloradoras y buscando la disminución de insumos y efluentes de descarga se proponen los siguientes parámetros para la óptima operación de este proceso (véase Tabla 12):

Tabla 12 - Operación y Costos Recomendados

Recomendado							
			Consumo		Bombeo	Operación	Costo Ciclo
	Flujo [GPM]	T [min]	[GAL]	[m <sup>3</sup> ]	[\$/ciclo]	[\$/ciclo]	[\$/ciclo]
Producción							
<b>Endulzado</b>	40	27	1,080	4.24	\$1.79	\$224.44	\$224.44
<b>Servicio</b>	31.5	2,000	63,000	238.48	\$127.81	\$127.81	\$127.81
<b>Desendulzado</b>							
<b>ADC</b>	40	55	2,200	8.33	\$3.21	\$3,589.95	\$3,589.95
<b>Reproceso D</b>						\$0.00	\$0.00
Regeneración							
<b>Inyección de salmuera alcalina</b>							
<b>NaOH 50%</b>	0.5	30	15	0.06	\$0.32	\$555.05	
<b>Sal 20%</b>	24	30	720	2.73	\$3.03	\$1,276.66	\$3,592.05
<b>ADC</b>	20	30	600	2.27	\$1.75	\$1,760.34	
<b>Desplazamiento de salmuera</b>							
<b>ADC</b>	21	50	1,050	3.97	\$2.92	\$2,950.39	\$2,950.39
<b>Enjuague</b>							
<b>ADC</b>	170	40	6,800	25.74	\$2.34	\$4,325.25	\$4,325.25
						<b>[\$/ciclo]</b>	<b>\$14,809.90</b>
						<b>[\$/m<sup>3</sup>]</b>	<b>\$62.10</b>
						<b>[\$/año]</b>	<b>\$1,295,866.59</b>
<b>AHORRO</b>						<b>[\$/año]</b>	<b>\$752,392.93</b>

La Tabla 12 muestra los resultados obtenidos con el seguimiento de las columnas en sus etapas de regeneración y servicio. Se realizaron pruebas para verificar los tiempos de operación y los caudales utilizados. Una de estas pruebas se realizó mediante la titulación de muestras obtenidas en la corriente de salida de cada etapa del proceso de regeneración con la finalidad de conocer el cambio de la concentración de sosa y salmuera. Esta tabla es el resultado de lo que podría ser un ahorro notable para la empresa, tanto económica como ambientalmente. En ésta se proponen los parámetros de operación que pueden aumentar la producción y generar la disminución de tiempos muertos.

El ahorro producido en este caso es de **\$752,392.93** al año.

En las tablas que a continuación se muestran (véanse Tablas 13, 14, 16, 17 y 18) se observa una comparación entre los parámetros de operación, costos y ahorros que podrían producirse en las etapas de un ciclo del sistema de decoloración.

Tabla 13. Endulzado

	<b>Proveedor</b>	<b>Real</b>	<b>Recomendado</b>
<b>Flujo [GPM]</b>	60	39.63	40
<b>Tiempo [min]</b>	40	30	28
<b>Consumo [Gal/ciclo]</b>	2,400	1,189	1,120
<b>Consumo [m<sup>3</sup>/ciclo]</b>	9.08	4.50	4.24
<b>Costo Bombeo [\$/Ciclo]</b>	\$2.56	\$1.92	\$1.79
<b>Costo [\$/Ciclo]</b>	\$618.41	\$327.30	\$224.44
<b>Costo [\$/Año]</b>	<b>\$54,111.30</b>	<b>\$28,638.98</b>	<b>\$19,638.74</b>
<b>Ahorro [\$/Año]</b>			<b>\$9,000.24</b>
<b>Ahorro [m<sup>3</sup>/Año]</b>			<b>22.78</b>

Tabla 14. Desendulzado

	<b>Proveedor</b>	<b>Real</b>	<b>Recomendado</b>
<b>Flujo [GPM]</b>	32	39.62	40
<b>Tiempo [min]</b>	74	60	55
<b>Consumo [Gal/ciclo]</b>	2,368.00	2,377.20	2,200.00
<b>Consumo [m<sup>3</sup>/ciclo]</b>	8.96	9.00	8.33
<b>Costo Bombeo [\$/Ciclo]</b>	\$4.32	\$3.50	\$3.21
<b>Costo [\$/Ciclo]</b>	\$4,634.95	\$4,518.90	\$3,589.95
<b>Costo [\$/Año]</b>	<b>\$405,557.81</b>	<b>\$395,403.34</b>	<b>\$314,121.06</b>
<b>Ahorro [\$/Año]</b>			<b>\$81,282.29</b>
<b>Ahorro [m<sup>3</sup>/Año]</b>			<b>58.69</b>

El desendulzado es la etapa del proceso en donde se desplaza el jarabe dentro de la columna con una cantidad de ADC (aproximadamente 9 m<sup>3</sup>). Lo que se busca aquí es enviar ese jarabe en un menor tiempo y con una cantidad menor de agua. Lo que se propone es que permita enviar gran parte de este jarabe de nuevo al tanque de balance 1 para su recuperación.

Para esto, se propone la utilización de una bomba centrífuga de acero inoxidable, con una potencia nominal de 7.5 HP, 3,500 RPM, con capacidad de manejar un caudal aproximado de 100 GPM para el jarabe de azúcar.

La instalación de la tubería abarca las conexiones de las columnas de decoloración, así como las de desmineralización hacia la bomba y hacia los tanques de balance 1 y 2, el tanque de barridos y el tanque de neutralización.

Este equipo beneficiaría tanto al proceso de decoloración como al de desmineralización. Con base en esto y considerando exclusivamente el proceso de decoloración, se estiman la inversión inicial requerida y los ahorros generados que se muestran en la Tabla 15.

Costo de la tubería	\$100,399.87
Costo de la bomba	\$29,255.34
Instalación	20%
Inversión total	\$155,586.25
Ahorro mensual desendulzado	\$18,302.93
TRI	9 meses
Ahorro Anual	\$213,534.21

Esto disminuirá los tiempos de operación, así como la cantidad de agua utilizada.

Tabla 16. Inyección de Salmuera

		<b>Proveedor</b>	<b>Real</b>	<b>Recomendado</b>
<b>Flujo [GPM]</b>	Sosa	0.5	0.5	0.5
	Sal	19	24	24
	ADC	26	18	20
<b>Tiempo [min]</b>		<b>65</b>	<b>65</b>	<b>30</b>
<b>Consumo [Gal/ciclo]</b>	Sosa	32.5	32.5	15
	Sal	1235	1560	720
	ADC	1690	1170	600
<b>Consumo [m<sup>3</sup>/ciclo]</b>	Sosa	0.12	0.12	0.06
	Sal	4.67	6.18	2.73
	ADC	6.40	4.83	2.27
<b>Costo Bombeo [\$/Ciclo]</b>	Sosa	\$0.70	\$0.70	\$0.32
	Sal	\$6.57	\$6.57	\$3.03
	ADC	\$3.80	\$3.80	\$1.75
		\$11.08	\$11.08	\$5.11
<b>Costo [\$/Ciclo]</b>	Sosa	\$1,202.62	\$2,423.70	\$555.05
	Sal	\$2,191.19	\$2,892.56	\$1,276.66
	ADC	\$3,942.66	\$3,806.50	\$1,760.34
		\$7,325.39	\$9,122.76	\$3,592.05
<b>Costo [\$/Año]</b>	Sosa	\$105,228.97	\$212,073.40	\$48,567.21
	Sal	\$191,728.99	\$253,099.20	\$111,707.35
	ADC	\$344,982.64	\$333,068.55	\$154,030.18
		<b>\$640,971.51</b>	<b>\$798,241.15</b>	<b>\$314,304.75</b>
<b>Ahorro [\$/Año]</b>	Sosa			\$163,506.19
	Sal			\$141,391.84
	ADC			\$179,038.37
				<b>\$483,936.40</b>
<b>Ahorro [m<sup>3</sup>/Año]</b>	Sosa			<b>5.96</b>
	Sal			<b>301.91</b>
	AD			<b>224.24</b>

Tabla 17. Desplazamiento de Salmuera

	<b>Proveedor</b>	<b>Real</b>	<b>Recomendado</b>
<b>Flujo [GPM]</b>	38	21	21
<b>Tiempo [min]</b>	65	65	50
<b>Consumo [Gal/ciclo]</b>	2,470.00	1,365.00	1,050.00
<b>Consumo [m<sup>3</sup>/ciclo]</b>	9.35	5.17	3.97
<b>Costo Bombeo [\$/Ciclo]</b>	\$3.80	\$3.80	\$2.92
<b>Costo [\$/Ciclo]</b>	\$4,199.81	\$3,835.51	\$2,950.39
<b>Costo [\$/Año]</b>	<b>\$367,483.79</b>	<b>\$335,607.16</b>	<b>\$258,159.35</b>
<b>Ahorro [\$/Año]</b>			<b>\$77,447.81</b>
<b>Ahorro [m<sup>3</sup>/Año]</b>			<b>104.34</b>

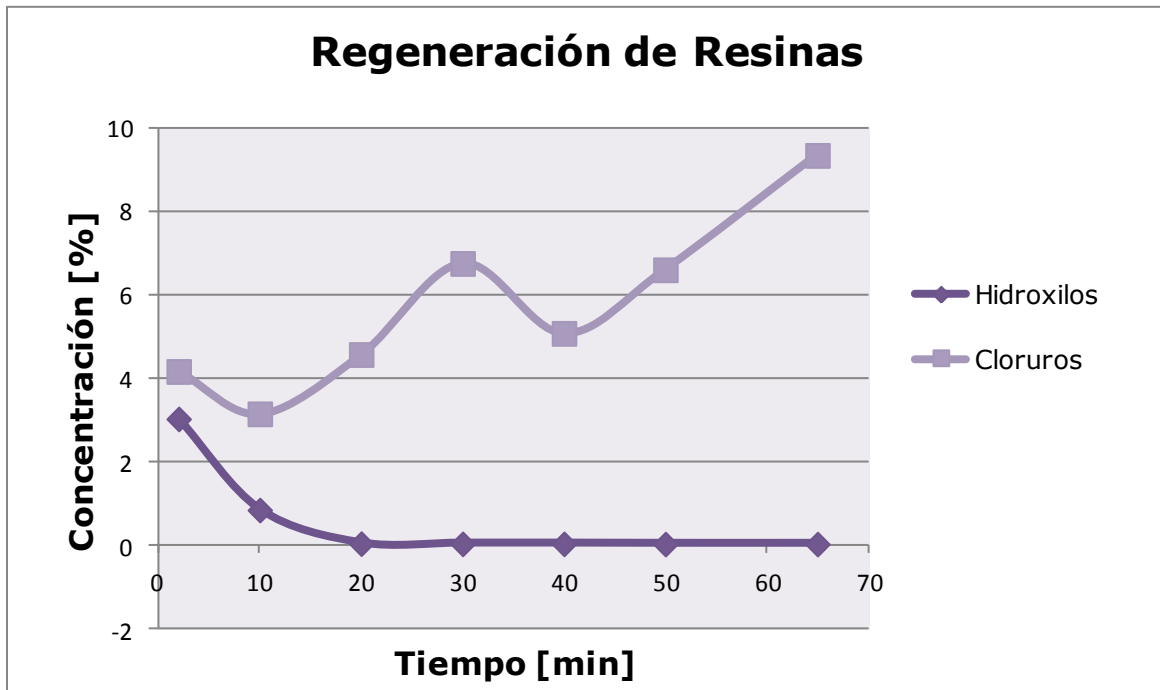
Tabla 18. Enjuague

	<b>Proveedor</b>	<b>Real</b>	<b>Recomendado</b>
<b>Flujo [GPM]</b>	140	170	170
<b>Tiempo [min]</b>	51	51	40
<b>Consumo [Gal/ciclo]</b>	7,140	8,670	6,800
<b>Consumo [m<sup>3</sup>/ciclo]</b>	27.03	32.82	25,740.79
<b>Costo Bombeo [\$/Ciclo]</b>	\$2.98	\$2.98	\$2.34
<b>Costo [\$/Ciclo]</b>	\$5,010.27	\$5,514.69	\$4,325.25
<b>Costo [\$/Año]</b>	<b>\$438,398.79</b>	<b>\$482,535.66</b>	<b>\$378,459.34</b>
<b>Ahorro [\$/Año]</b>			<b>\$104,076.32</b>
<b>Ahorro [m<sup>3</sup>/Año]</b>			<b>619.39</b>

**Ahorro total por etapas: \$755,743.04 anuales**



En la inyección y el desplazamiento de salmuera se propone disminuir los tiempos de operación, esto debido a que se realizaron pruebas para conocer la concentración que manejaba la corriente de salida y para verificar con ello que las resinas se estén regenerando adecuadamente (Gráfica 1).



**Gráfica 1. Variación de la concentración de los iones hidroxilos y cloruros con el tiempo**

Las pruebas indicaron que esto se cumplía aproximadamente a los 30 min, casi en la mitad del tiempo en el que se opera actualmente. Se propone continuar con pruebas de laboratorio para encontrar los tiempos óptimos de regeneración.

En el caso de la etapa de servicio, se observa que se puede operar durante un periodo más largo, ya que es posible mantener el jarabe decolorado por debajo de los 200 ICUMSA.

Evidentemente, al aumentar el tiempo de operación, aumentará la producción, pero al mismo tiempo se generará un aumento en el costo de operación que se verá reflejado en el consumo energético, en este caso con un total de \$3,350.11 anuales. De ahí que el ahorro total sea de \$752,392.93 y no de \$755,743.04 anualmente. Sin embargo, considerando el ahorro generado evitando los reprocesos en la etapa del desendulzado (\$213,534.21 por año), se obtiene un ahorro neto de: **\$965,936.14 al año (véase Tabla 19).**

**Tabla 19. Comparativa de costos**

	<b>Proveedor</b>	<b>Real</b>	<b>Propuesto</b>	<b>Ahorro</b>
<b>[\$/ciclo]</b>	\$21,975.12	\$23,408.68	\$14,809.90	\$8,598.78
<b>[\$/m<sup>3</sup> jarabe]</b>	\$44.26	\$181.13	\$62.10	\$119.02
<b>[\$/Año]</b>	\$1,922,822.93	\$2,048,259.53	\$1,295,866.59	<b>\$752,392.93</b>
			<i>Propuesta etapa desendulzado</i>	<b>\$213,534.21</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>\$965,927.14</b>

En este proyecto de eco-eficiencia dedicado al área de decoloración de jarabe se encontraron los beneficios ambientales siguientes (véase Tabla 20):

**Tabla 20. Ahorros Ambientales anuales**

Insumo	Ahorro	
<b>Agua</b>	1,014.83	[m <sup>3</sup> ]
<b>NaOH</b>	4,550.32	[kg]
<b>NaCl</b>	69,445.69	[kg]
<b>Gas LP</b>	76.29	[m <sup>3</sup> ]
<b>Energía Eléctrica</b>	1,076.60	[kWh]

En la Tabla 21 se muestra un resumen de las alternativas propuestas en este proyecto.

**Tabla 21. Resumen de las propuestas**

<b>Área de Oportunidad</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Inversión [\$]</b>	<b>TRI</b>	<b>Ahorro Económico [\$/Año]</b>	<b>Beneficio Ambiental/Año</b>
Reproceso innecesario de jarabe	Instalar una bomba centrífuga para recirculación del jarabe para el Tanque de Balance 1	\$155,586.25	9 meses	\$213,534.21	/
Altos consumos de agua y regenerantes	Disminuir los tiempos de operación y aumentar flujos	N/A	N/A	\$752,392.93	128.86 ton de emisiones de CO <sub>2</sub> no emitidas a la atmósfera
			<b>TOTAL</b>	<b>\$965,927.14</b>	<b>128.86 ton de CO<sub>2</sub></b>

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5. 1 Conclusiones

Se realizó un proyecto de eco-eficiencia en el área de decoloración de jarabe de azúcar.

La metodología impulsada por PROFEPA y SEMARNAT en el Programa de "*Liderazgo Ambiental para la Competitividad*", resultó ser de fácil aplicación para el análisis del proceso, generando beneficios tanto ambientales como económicos y mejorando la competitividad de la empresa.

Los beneficios ambientales se pueden ver traducidos en: 2 familias de 5 miembros abastecidas de agua al año, 4 hogares abastecidos de energía eléctrica al mes, 128.86 ton de emisiones de CO<sub>2</sub> no emitidas a la atmósfera. Los beneficios económicos para la empresa se pueden ver reflejados en los \$965,936.14 ahorrados anualmente.

El uso de las herramientas de la eco-eficiencia (eco-mapa, eco-balance y costos de ineficiencia) permitió la detección, la ubicación y el análisis de los problemas presentes en el área de decoloración permitiendo la evaluación de los costos de los servicios auxiliares y de operación, así como la evaluación de las ineficiencias encontradas. El 80% de las alternativas de solución encontradas en este proyecto están basadas en las buenas prácticas de manufactura (BPM), por lo que la inversión es muy baja y el TRI muy factible.

La realización periódica de proyectos de eco-eficiencia es una estrategia que permite implementar acciones a favor del medio ambiente al mismo tiempo que favorece la mejora continua tanto del proceso como del producto, reduce costos de operación, evita multas y sanciones, mejora las relaciones con la comunidad, promueve un ambiente laboral más sano y gana prestigio entre clientes y proveedores fortaleciendo la cadena de valor; lo que a su vez fortalecerá la competitividad de la empresa.

### **5.2 Recomendaciones**

El 80 % de las mejoras son producidas debido a las buenas prácticas, así mismo es evidente que la planeación adecuada en la operación permite aumentar el volumen de producción y disminuir los tiempos.

Algunas recomendaciones específicas en cuanto al manejo y operación de las columnas de decoloración son:

- Ⓢ Planear adecuadamente toda acción, permitirá aumentar la producción del jarabe, disminuyendo inclusive los ciclos de regeneración.
- Ⓢ Vigilar y reparar inmediatamente las fugas de agua en los rotámetros para evitar afectación directamente en los flujos requeridos y en los tiempos de operación.
- Ⓢ Hacer pruebas de laboratorio, pruebas piloto y estadística de datos para encontrar los tiempos óptimos de operación.

### **5.2.1 Recomendaciones Generales**

- ④ Redefinir la estructura organizacional de la empresa. Se propone la generación del departamento de ingeniería que se encargue de verificar el correcto funcionamiento de la planta, así como del control, la optimización y la mejora continua del proceso de producción. Este departamento también se encargaría de la selección técnica de los proveedores de los servicios requeridos además de su supervisión a lo largo de los proyectos que se contraten. Asimismo, se recomienda incluir dentro del personal, profesionistas especializados en cada área del proceso para el manejo adecuado de las operaciones unitarias requeridas, sin dejar de tomar en cuenta la necesidad de una capacitación constante dentro de la empresa.
  
- ④ Realizar mejoras en la organización de la producción. Optimizar los planes de producción para reducir tiempos muertos y aumentar la producción. Rediseñar adecuadamente los formatos de recopilación de datos de producto en proceso para controlar los parámetros de mayor importancia y contar siempre con los antecedentes que se requieran en caso de presentarse algún problema. Hacer énfasis en el registro adecuado y completo de los datos en bitácoras y formatos, con la finalidad de que los datos sean prácticos, precisos y correspondientes al objetivo planteado.
  
- ④ Instrumentar adecuadamente las instalaciones. Instalar medidores de flujo, temperatura y otras propiedades de importancia en el proceso. Esto ayudará a tener un mejor control de lo que está

sucedendo realmente dentro de los equipos. Poner especial énfasis en el control del flujo y presión dentro de las líneas de vapor. Utilizar válvulas adecuadas para el control de flujos (válvulas de globo). Reparar y dar mantenimiento a los rotámetros de las columnas de intercambio iónico, así como a los instrumentos de medición de concentración (Los instrumentos necesitan ser checados por los menos cada 6 meses para que permanezcan siempre calibrados, permitiendo mediciones más exactas).

- Ⓢ Tener mayor control en cuestiones ambientales. Continuar haciendo descargas de efluentes directamente al drenaje podría significar multas cuando la autoridad ambiental realice una inspección a la planta. Buscar opciones de reutilización o reciclado de agua utilizada en el proceso.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asiarasán, I. Martínez, J.A. (2000) *Alimentos: Composición y propiedades*. Madrid: McGraw Hill Interamericana.
- Ávila, J. A. (1999) *Lo esencial acerca del intercambio iónico*. [Consulta: agosto de 2011] <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/5-6-02avilla.pdf>
- BAYER Corporation Patent Department. *Sugar juice decolorization by means of monodisperse anion exchanges*. Soest, H-K. Klipper, R. Schnegg, U. US. Int. Cl. C02F 1/42 US Cl 210/670. Noviembre 2001.
- CALIFORNIA and Hawaiian Sugar Company. *Process for the production of a colorless sugar syrup from cane molasses*. Riffer, R. US. Int. Cl. C13D 3/14. US Cl 127/46B; 127/46 A. Septiembre 1977.
- CMP+L Centro Mexicano para la Producción Más Limpia [Consulta: octubre de 2011] <http://www.cmpl.ipn.mx/>
- EPA Environmental Protection Agency [Consulta: octubre de 2011] <http://www.epa.gov/>
- Harris, D. C. (2003). *Análisis químico cuantitativo*. (3ª ed.) España: Reverté.
- James, C. P. Chen, J. C. P.y Chou, Ch-Ch. (1993). *Manual del azúcar de caña. Un manual para los fabricantes del azúcar de caña y sus químicos*. (12a ed.) Nueva York: John Wiley & Sons.
- Larrahondo, J.E. (1995) *Calidad de la caña de azúcar. En CENICAÑA*. El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia, Cali. CENICAÑA. pp. 337-354.

- Michaud, C.F. (1999). *After SB1006: Factors affecting the brine efficiency of softeners*. Water conditioning and purification, volume 41, Number 8. pp 36-38.
- Pérez Mireles, A. E. (2009) Problemas, retos y soluciones en la implementación de proyectos de eco-eficiencia en la industria. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Perry, H. R. (1999) Perry's chemical engineers' handbook. (7a ed.) McGraw Hill.
- PROFEPA. Liderazgo Ambiental para la Competitividad [Consulta: octubre de 2012] <http://liderazgoambiental.profepa.gob.mx/>
- Rohm & Haas (2008) [Consulta: agosto de 2011] <http://www.advancedbiosciences.com/products/amberliteFP.html>
- ROHM and Haas Company. *Method of decolorizing sugar solutions with hybrid ion exchange resins*. Henry Barret, J. Henry Clements, D. US. Int. Cl. 127/46 A; 260 2.1R. US Cl C13D 3/14. Junio 1976.
- SEMARNAT. Liderazgo Ambiental para la Competitividad [Consulta: noviembre de 2011] <http://www.liderazgoambiental.gob.mx/>
- Van Hoof, B. Monroy, N. y Sear, A. (2008) *Producción más Limpia. Paradigma de gestión ambiental*. México: Alfaomega Grupo Editor.

## ANEXOS

### Anexo I. Determinación de los Factores de Competitividad

<b>Actores Interesados</b>	<b>Clientes</b>
	<b>Proveedores</b>
	<b>Empleados</b>
	<b>Comunidad</b>
	<b>Autoridades</b>
<b>Imagen</b>	¿Cómo ven los empleados la empresa?
	¿Cómo ven los clientes la empresa?
	¿Cómo ven los proveedores la empresa?
	¿Cómo ve la comunidad la empresa?
	¿Cómo ven las autoridades la empresa?
<b>Clientes</b>	¿Por qué los clientes prefieren el producto?
	¿Cuánto tiempo tienen ofreciendo su producto a los clientes actuales?
	¿Han realizado cambios en procesos o procedimientos para satisfacer al cliente?
	¿Los clientes tienen conocimiento de los reconocimientos o las penalizaciones recibidas?
	¿A los clientes les interesa que el producto o proceso sea ambientalmente amigable?
	¿Los clientes tienen conocimiento del nivel de la tecnología utilizada en el proceso?
	¿Los clientes tienen conocimiento de la ubicación de la planta?
	¿Por qué los prefieren como proveedores?
<b>Proveedores</b>	¿Por qué los prefieren como cliente?
	¿Cuál es la antigüedad de los proveedores?

<b>Empleados</b>	¿Cuál es el nivel de escolaridad de los empleados en la planta?
	¿Cuál es el nivel de escolaridad de empleados en el corporativo?
	¿Cuál es el tipo de capacitación inicial proporcionada a los empleados?
	¿Cuál es el tipo de capacitación inicial proporcionada a los empleados en la planta?
	¿Cuál es la frecuencia de capacitación de los empleados de la planta en el corporativo?
	¿Cuál es la antigüedad de los empleados?
	¿Cuál es la rotación de los empleados?
	¿Los empleados de la planta residen cerca de la misma?
	¿Existe comunicación entre las distintas áreas sobre lo que ocurre en la empresa?
	¿Los empleados tienen conocimiento de los reconocimientos o las penalizaciones recibidas?
	¿Cómo es la convivencia en la planta?
<b>Comunidad</b>	¿La comunidad tiene conocimiento de la existencia de la empresa?
	¿La comunidad sabe lo que se realiza en la planta?
	¿La comunidad tienen conocimiento de los reconocimientos o las penalizaciones recibidas?
	¿La comunidad ha presentado quejas de la empresa a las autoridades?
	¿La comunidad recibe algún beneficio de parte de la empresa?
<b>Autoridades</b>	¿Qué autoridad los visita con mayor frecuencia?
	¿Qué tan frecuentemente son visitados por autoridades?
	¿Han recibido reconocimientos de las autoridades?
	¿Han recibido penalizaciones de las autoridades?
<b>Tecnología</b>	¿Cuál es el nivel de tecnología de la empresa?
	¿Cuál es la antigüedad de la tecnología utilizada?
	¿Cada cuánto tiempo se realizan renovaciones de la tecnología?
<b>Gerencia</b>	¿Qué tipo de organización tiene la empresa?
	¿Existe una centralización en la toma de decisiones?
	¿Existen estímulos para realizar iniciativas propias?

## Anexo II. Lista de Equipo

### Tanques y Recipientes

Clave	Nombre
<b>DC - 101</b>	Disolutor 1
<b>DC - 102</b>	Disolutor 2
<b>DC - 103</b>	Disolutor 3
<b>DC - 104</b>	Disolutor 4
<b>FA - 101</b>	Tanque de Desendulzado
<b>FA - 102</b>	Tanque de Precapa
<b>FA - 103</b>	Tanque de Balance 1
<b>FA - 104</b>	Tanque de Balance 2
<b>FA - 105</b>	Tanque de Pulido
<b>FA - 106</b>	Tanque de Precapa para Filtro de Pulido
<b>FA - 107</b>	Tanque de Producto Terminado 1
<b>FA - 108</b>	Tanque de Producto Terminado 2
<b>FA - 109</b>	Tanque de Producto Terminado 3
<b>FA - 110</b>	Tanque de Producto Terminado 4
<b>FA - 111</b>	Tanque de Producto Terminado 5
<b>FA - 112</b>	Tanque de Sanitizante para Tanques de Producto Terminado
<b>FA - 113</b>	Tanque de Detergente para Tanques de Producto Terminado
<b>FA - 114</b>	Tanque de Agua para Lavado de Tanques de Producto Terminado
<b>FA - 115</b>	Fosa de Residuos Sólidos
<b>FA - 116</b>	Tanque de Agua Filtrada de Proceso
<b>FA - 117</b>	Tanque de Agua Desmineralizada para Decoloración
<b>FA - 118</b>	Tanque de Aire
<b>FA - 119</b>	Tanque de NaOH
<b>FA - 120</b>	Tanque de HCl
<b>FA - 121</b>	Tanque de Condensados
<b>FA - 122</b>	Suavizador
<b>FA - 123</b>	Tanque de Salmuera para Suavizador

<b>FA - 124</b>	Tanque de Salmuera 20%
<b>FA - 125</b>	Tanque de Neutralización A
<b>FA - 126</b>	Tanque de Neutralización B
<b>FA - 127</b>	Tanque de Agua Clorada
<b>FA - 128</b>	Tanque de Cloro
<b>FA - 129</b>	Tanque de NaOH para Desmineralización de Agua
<b>FA - 130</b>	Tanque de HCl para Desmineralización de Agua
<b>FA - 131</b>	Tanque de Neutralización de Desmineralización de Agua
<b>FA - 132</b>	Tanque de Agua Filtrada
<b>FA - 133</b>	Tanque de Agua Desmineralizada 1
<b>FA - 134</b>	Tanque de Agua Desmineralizada 2
<b>FA - 135</b>	Tanque de Agua Desmineralizada 3
<b>FA - 136</b>	Tanque de Agua Desmineralizada 4
<b>FA - 137</b>	Cisterna de Agua

### Bombas, Motores y Lámparas

<b>Clave</b>	<b>Nombre</b>
<b>GA - 101</b>	Bomba de Jarabe de Disolutores 1 y 2
<b>GA - 102</b>	Bomba de Recirculación de Disolutores 1 y 2
<b>GA - 103</b>	Bomba de Jarabe de Disolutores 3 y 4
<b>GA - 104</b>	Bomba de Recirculación de Disolutores 3 y 4
<b>GA - 105</b>	Bomba de Desendulzados
<b>GA - 106</b>	Bomba de Precapa
<b>GA - 107</b>	Bomba del Tanque de Balance 1, A
<b>GA - 108</b>	Bomba del Tanque de Balance 1, B
<b>GA - 109</b>	Bomba de Alimentación a Desmineralización 1
<b>GA - 110</b>	Bomba de Alimentación a Desmineralización 2
<b>GA - 111</b>	Bomba de Filtro de Pulido
<b>GA - 112</b>	Bomba para Llenado de Pipas
<b>GA - 113</b>	Bomba de Recirculación de Producto Terminado
<b>GA - 114</b>	Bomba de Recirculación para Lavado de Tanques
<b>GA - 115</b>	Bomba de Alimentación para Lavado de Tanques
<b>GA - 116</b>	Bomba para Calentamiento de Agua Filtrada de Proceso A
<b>GA - 117</b>	Bomba para Calentamiento de Agua Filtrada de Proceso B

---

<b>GA - 118</b>	Bomba de Agua Filtrada de Proceso
<b>GA - 119</b>	Bomba de Agua Desmineralizada para Decoloración
<b>GA - 120</b>	Bomba de Agua para Regeneraciones
<b>GA - 121</b>	Bomba de NaOH
<b>GA - 122</b>	Bomba de HCl
<b>GA - 123</b>	Bomba de Condensados A
<b>GA - 124</b>	Bomba de Condensados B
<b>GA - 125</b>	Bomba de Salmuera 20% a Decoloración
<b>GA - 126</b>	Bomba de Salmuera 20% a Desmineralización
<b>GA - 127</b>	Bomba de Recirculación de CIP de Pipas
<b>GA - 128</b>	Bomba de Alimentación de CIP de Pipas
<b>GA - 129</b>	Bomba de Agua de Enfriamiento
<b>GA - 130</b>	Bomba de Agua de Cisterna
<b>GA - 131</b>	Bomba de Agua Filtrada
<b>GA - 132</b>	Bomba de Agua Desmineralizada
<b>AG - 101</b>	Agitador del Disolutor 1
<b>AG - 102</b>	Agitador del Disolutor 2
<b>AG - 103</b>	Agitador del Disolutor 3
<b>AG - 104</b>	Agitador del Disolutor 4
<b>AG - 105</b>	Agitador de Precapa de Filtros
<b>AG - 106</b>	Agitador del Tanque de Pulido
<b>AG - 107</b>	Agitador de Precapa del Filtro de Pulido
<b>AG - 108</b>	Agitador de Salmuera 20%
<b>UV - 101</b>	Lámpara Ultravioleta del Tanque de Producto Terminado 1
<b>UV - 102</b>	Lámpara Ultravioleta del Tanque de Producto Terminado 2
<b>UV - 103</b>	Lámpara Ultravioleta del Tanque de Producto Terminado 3
<b>UV - 104</b>	Lámpara Ultravioleta del Tanque de Producto Terminado 4
<b>UV - 105</b>	Lámpara Ultravioleta del Tanque de Producto Terminado 4
<b>UV - 106</b>	Lámpara de Luz Ultravioleta de CIP de Pipas
<b>M - 101</b>	Motor del Ventilador de la Caldera
<b>M - 102</b>	Motor del Ventilador de la Torre de Enfriamiento
<b>L - 102</b>	Elevador de Cangilones
<b>SR - 101</b>	Molino de Azúcar
<b>CM -101</b>	Compresor

---

### Filtros y Columnas de Intercambio Iónico

Clave	Nombre
<b>FL - 101</b>	Filtro 1
<b>FL - 102</b>	Filtro 2
<b>FL - 103</b>	Filtro 3
<b>FL - 104</b>	Filtro de Pulido
<b>FL - 105</b>	Filtro de Grava
<b>FL - 106</b>	Filtro de Carbón
<b>FL - 107</b>	Filtro Pulidor de Agua
<b>FG - 101</b>	Columna de Decoloración A
<b>FG - 102</b>	Columna de Decoloración B
<b>FG - 103</b>	Columna de Desmineralización A
<b>FG - 104</b>	Columna de Desmineralización B
<b>FG - 105</b>	Columna Aniónica de Desmineralización de Agua
<b>FG - 106</b>	Columna Catiónica de Desmineralización de Agua

### Intercambiadores de Calor y Misceláneos

<b>EA - 101</b>	Enfriador de Producto Terminado
<b>EA - 102</b>	Calentador de Agua Filtrada A
<b>EA - 103</b>	Calentador de Agua Filtrada B
<b>EA - 104</b>	Boiler
<b>EA - 105</b>	Enfriador de Producto para Pipas
<b>CA - 101</b>	Caldera
<b>DA - 101</b>	Torre de Enfriamiento
<b>PA - 101</b>	CIP de pipas
<b>SC - 101</b>	Secador de Aire
<b>L - 101</b>	Tolva de Vaciado de Azúcar



## Anexo III. Parámetros de Proceso

Tabla A. 1- Parámetros Medidos en Laboratorio

Vaciado	Disolución	Filtración	Decoloración	Desmineralización	Pulido	Prod.Terminado
Tipo de Azúcar	Disolutor	# Filtro	Hora	Hora	# Filtro	Tanque destino
Ingenio	Hora	Hora	°Bx Jarabe	°Bx Jarabe	Hora	Analista
	°Bx Barrido	°Bx Jarabe	ABS 420 F	ABS 420 F	°Bx Jarabe	Turno
	pH de Barrido		Color	Color	ABS 420 F	Observaciones
	°Bx Jarabe		pH	pH	Color	
	ABS 420 F		Cenizas	Cenizas	pH	
	pH de Jarabe				Cenizas	
	Cenizas					
	Carbón [kg]					
	T [°C]					

Tabla A. 2- Lista de parámetros para las Unidades Decoloradoras

Paso de operación	Parámetros	Valor
<b>Producción</b>		
<b>Calentamiento de cama a neutralización</b>	Agua de calentamiento	50 °C
<b>Calentamientos a cama de recuperación</b>	Agua de calentamiento	50 °C
<b>Endulzado a tanque de neutralización</b>	Jarabe de entrada	65 °C
<b>Servicio</b>	°Brix Jarabe de salida	67
	Color, ICUMSA	<250
<b>Desendulzado a recuperación</b>	Agua desendulzado	50 °C
	°Brix a la salida de la unidad	0
<b>Regeneración</b>		
<b>Inyección de salmuera alcalina</b>	Agua de dilución	50 °C
	Concentración de salmuera a la entrada	10%
<b>Desplazamiento de salmuera</b>	Agua de desplazamiento	50 °C
	Densidad agua de salida	1
	Conductividad	300 ≤ μS ≤ 200
<b>Enjuague</b>	Agua de desplazamiento	50 °C
	Conductividad	30 ≤ μS ≤ 20

Tabla A. 3- Lista de parámetros para las Columnas Desmineralizadoras

Paso de operación	Parámetros	Valor
<b>Producción</b>		
<b>Calentamiento de cama a neutralización</b>	Agua de entrada	50 °C
	Conductividad de salida	$10 \leq \mu S \leq 2$
	pH a la salida	8 - 9
<b>Endulzado a tanque de recuperación</b>	Jarabe de entrada	65 °C
	°Brix Jarabe de salida	67
<b>Servicio</b>	°Brix Jarabe de salida	67
	Color, ICUMSA	<250
<b>Regeneración</b>		
<b>Desendulzado a recuperación</b>	Agua desendulzado	50 °C
	°Brix a la salida de la unidad	0
<b>Inyección de salmuera alcalina</b>	Concentración de salmuera a la entrada	0.1
<b>Desplazamiento de salmuera</b>	Densidad agua de salida	1
<b>Inyección de ácido / Bloqueo de sosa</b>	% concentración a la entrada de ácido	4 - 3.5
<b>Inyección de ácido / Inyección de sosa</b>	% concentración a la entrada de ácido	4 - 3.5
<b>Inyección de sosa</b>	% concentración a la entrada de sosa	2 - 2.5
<b>Desplazamiento de ácido / Inyección de sosa</b>	% concentración a la entrada de sosa	2 - 2.5
<b>Desplazamiento de ácido / Desplazamiento de sosa</b>	Densidad agua de salida del colector	1
<b>Enjuague de ácido / Enjuague de sosa</b>	pH agua de salida del colector	10.5 - 9
<b>Enjuague final</b>	pH agua de salida de la columna	8 - 9
	Conductividad a la salida de la columna	$10 \leq \mu S \leq 2$

Tabla A. 4- Parámetros medidos en cada paso del lavado de pipas

Etapa	Parámetro medido	Intervalo de aceptación
1º Enjuague	°Brix	< 10 °Brix
Sanitizado	URL	$\leq 150$ URL
2º Enjuague	°Brix	0 °Brix

Tabla A. 5- Parámetros que determinan si se realizará lavado de la pipa

Recepción	Embarque
¿La unidad se encuentra limpia, libre de olores y daños físicos en la parte exterior?	La unidad cuenta con sellos en la escotilla y en la válvula de descarga
¿El interior está libre de cualquier tipo de plaga, objetos u objetos extraños?	La numeración de los sellos coincide con la numeración establecida en el comprobante de salida
¿La unidad está libre de abejas?	¿El operador de la unidad aseguró las condiciones de higiene en su persona (limpio, sin malos olores y ropa limpia)?
¿La válvula de descarga viene bien protegida, limpia y con capuchón y codo de acero inoxidable?	Las mangueras que se usan para la descarga de los materiales están limpias y se mantuvieron los registros de limpieza
¿El operador de la unidad aseguró las condiciones de higiene en su persona (limpio, sin malos olores y ropa limpia)?	Se cumple con los puntos anteriores para que salga la unidad de la planta
¿Hay evidencia de soldaduras, picaduras de moho y/o manchas internas?	
¿Se cumple con los puntos anteriores para que se pueda embarcar el producto?	
¿Las mangueras de descarga se encuentran limpias y empleadas?	

Tabla A. 6- Agentes químicos utilizados en el proceso

AGENTE	NOMBRE COMERCIAL	MARCA
Desinfectante a base de yodo para CIP	DIVONSAN MH	JOHNSON DIVERSEY
Desinfectante terminal para CIP	DIVONSAN DB	JOHNSON DIVERSEY
Detergente ácido clorado	DIVONSAN TC 86	JOHNSON DIVERSEY
Sanitizante (Dimetil Cloruro de Amonio)	BIO HATCH	CHEMLAND
Sal (NaCl)	SAL	
Resinas de intercambio iónico	AMBERLITE	ROHM AND HAAS
Resina aniónica	LEWATIT	BAYER
Tierra filtrante	DICAMEX	DICALITE
Carbón activado		CLARIMEX/ CLARISORB
Hipoclorito de sodio 13%	HIPOCLORITO DE SODIO	ORION/RICHER
Celulosa	SOLKA FLOC 40	DICALITE

## Anexo IV. Claves y Características de los Temas Ambientales

Clave	Servicio	Características	Desde:
A	Aire Comprimido	---	CM-101
ACL	Agua Clorada	T ambiente	FA - 127
ADC	Agua Desmineralizada para Decoloración	T = 70 °C	FA-117
ADD	Agua Desmineralizada	T ambiente	FA-133 a 136
AE	Agua de Enfriamiento	T = 15 °C	DA - 101
AF	Agua Filtrada	T ambiente	FA-132
AFC	Agua Filtrada de Proceso	T = 70 °C	FA-116
AM	Agua de la Red Municipal de Suministro	T ambiente	L. B.
AN	Arena	---	Almacén
AZ	Azúcar	Granular	L.B.
C	Carbón Activado	Darco S-51	Almacén
CL	Hipoclorito de Sodio	Conc = 13%	Almacén
CO	Costales	---	Almacén
CP	Cartuchos del Filtro Pulidor	10 micras	Almacén
DE	Detergente	Dibosan TC86	Almacén
DX	Tierra Filtrante	Dicalite	Almacén
E	Electricidad	220 V	Subestación
EM	Emisiones de Caldera	CO, CO <sub>2</sub>	CA-101
GLP	Gas L. P.	---	L. B.
H	Hilos	---	Almacén
HCl	Ácido Clorhídrico	Conc = 30%	FA-120
JB	Jarabe	67 °Brix	Proceso
NaCl	Cloruro de Sodio	Granular	Almacén
NaOH	Hidróxido de Sodio	Conc = 50%	FA-119
SK	Celulosa	Solka	Almacén
SL	Salmuera de Cloruro de Sodio	Conc = 20%	FA-124
SN	Sanitizante	Dibosan DB	Almacén
VBP	Vapor de Baja Presión	P = 4.5 Kg/cm <sup>2</sup>	CA-101

---

## GLOSARIO

°Bx	Grado Brix. Unidad de medida de cantidad de sacarosa disuelta en un líquido.
ABS	Absorbancia. Parámetro utilizado para la medición indirecta de la concentración de compuestos de color en una muestra
AIB	Empresa internacional especializada en salubridad, inocuidad y calidad de los alimentos.
Bagacillo	Fibra muy fina de la caña de azúcar.
CIP	Siglas en inglés: Clean In Place. Método de limpieza del interior de tuberías, tanques, contenedores y equipo en general, en el que no se realiza desmontaje del mismo.
Cenizas	Conjunto de minerales que no arden ni se evaporan.
Disolutor	Nombre que recibe el tanque donde se realiza la disolución del azúcar en la empresa donde se desarrollo este proyecto. Tanque de disolución.
Emplayado	Palabra que no existe en español y que se utiliza coloquialmente para designar la operación de envolver productos sobre una tarima con una película plástica, para evitar que estos se caigan o separen de la tarima.
GPM	Galones por minuto.
HP	Siglas en inglés: Horse Power. Caballo de Fuerza. Unidad de medida de potencia en el sistemas inglés
ICUMSA	Siglas en inglés: International Commision for Uniform Methods of Sugar Analysis. Comisión Internacional de Métodos Uniformes para el Análisis del Azúcar.
IEPS	Impuesto especial sobre producción y servicios.
LP	Siglas tomadas del inglés: Liquid Propane , traducidas como licuado de petróleo.
Pellet	Del latín <i>pila</i> , pelota o bola. Es una denominación genérica, no española, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido. En este caso utilizada para referirse a pequeñas porciones de resina.
RPM	Revoluciones por minuto.

Sanitización	Palabra que no existe en español y que se utiliza coloquialmente para designar el tratamiento especial por el cual se elimina la contaminación microbiológica en determinado objeto.
SGA	Sistema de Gestión Ambiental
UNEP	Siglas en inglés: United Nations Environment Programme. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
WBCSD	Siglas en inglés: World business Council for Sustainable Development. Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable.