Cámara Nacional de Industrias Bolivia
CPTS
Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles

Mayor productividad y rentabilidad con Producción Más Limpia

UNAS-01 Junio, 2001

ESTUDIO DE CASO: INGENIO AZUCARERO "ROBERTO BARBERY PAZ" UNAGRO S.A. (MUNICIPIO MINEROS – SANTA CRUZ)

SECTOR: PRODUCTOS ALIMENTICIOS **SUBSECTOR: INGENIOS AZUCAREROS**

IMPLEMENTACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA	
RESULTADOS ECONÓMICOS	**RESULTADOS AMBIENTALES**
INVERSIÓN: 221,000 $US **REDUCCIÓN DE COSTOS: 292,000 $US/ZAFRA** **RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN: 132%**	**REDUCCIÓN EN CONSUMO DE AGUA DE POZO: 2,038,000 M^3/ZAFRA (66%)** **REDUCCIÓN EN CONSUMO DE PLOMO: 600 KG/ZAFRA (89%)** **REDUCCIÓN EN CONSUMO DE NAOH: 15 TON/ZAFRA (33%)** **REDUCCIÓN EN PÉRDIDAS DE AZÚCAR: 41 TON/ZAFRA** **REDUCCIÓN DE DQO EN EL EFLUENTE: 305 TON DQO/ZAFRA**

¿QUÉ ES "PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA"?

La "producción más limpia" (PML) es una práctica empresarial que se aplica a todo proceso de cualquier tipo de empresa y subsector industrial, para incrementar la productividad y las utilidades económicas, mediante el uso óptimo de agua, energía y materias primas por unidad de producto, minimizando, al mismo tiempo, la generación de desechos y los costos inherentes al tratamiento y disposición de los mismos.

CICLO DE LA "PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA"

1) Identificar oportunidades y formular recomendaciones

El primer paso consiste en realizar una revisión técnica para identificar oportunidades y formular recomendaciones que permitan mejorar la productividad y eficiencia en cada operación unitaria. Estas tareas deben ser realizadas por profesionales idóneos, quienes deben trabajar con el personal de la empresa en general, desde obreros hasta ejecutivos.

2) Implementar recomendaciones

Una vez que las recomendaciones han sido formuladas, éstas son ordenadas según las prioridades e intereses de la empresa. Luego, se forma un equipo de proyecto para implementar las recomendaciones seleccionadas según cronograma establecido y presupuesto asignado.

3) Medir el éxito

Los resultados son medidos a través de indicadores como la reducción en la cantidad de desechos o de contaminación generada; la reducción en el consumo específico de materias primas, energía y agua; la reducción de costos de producción; y el incremento de las utilidades.

Una vez medido el éxito, se debe volver al paso 1 para iniciar un nuevo ciclo.

Introducción

Este estudio de caso presenta los resultados de la implementación de recomendaciones de "producción más limpia" (PML) propuestas por el CPTS (antes EP3), al Ingenio Azucarero "Roberto Barbery Paz" (IARBP) del grupo agroindustrial UNAGRO, ubicado en la población de Mineros del departamento de Santa Cruz.

La única recomendación no implementada, referente a pretratar el efluente antes de descargarlo a las lagunas de oxidación (en adelante, las lagunas), será ejecutada cuando se concluyan los estudios y la situación general de la empresa permita disponer de la inversión requerida. Adicionalmente, por iniciativa propia, IARBP ha generado e implementado otras medidas de PML, también incluidas en este documento.

Producción

IARBP procesó 860,000 toneladas de caña de azúcar durante la zafra 2000. Los productos principales que obtiene son azúcar (82,800 ton/zafra) y alcohol (10,000 m^3/zafra). Los subproductos que obtiene son el bagazo hidrolizado (alimento para animales) y la levadura seca. El bioabono que produce es utilizado para fertilizar sus propios cañaverales.

La planta trabaja 24 horas/día durante los 200 días que dura la zafra.

Proceso

1. Fabricación de azúcar.

Molienda:

La caña, previamente picada por cuchillas giratorias, ingresa a una línea de 4 molinos (trapiches), los cuales constan de cilindros ranurados que al girar muelen y extraen jugo de la caña. Para optimizar esta extracción se añade agua de imbibición a la caña molida. Después de pasar por los cuatro trapiches, la fibra de caña molida (bagazo) es recuperada y utilizada como combustible para las calderas.

Purificación del jugo:

El jugo extraído por los trapiches es bombeado a la torre de sulfitación donde es puesto en contacto con gases de dióxido de azufre en contracorriente. Luego, se añade al jugo lechada de cal para neutralizarlo.

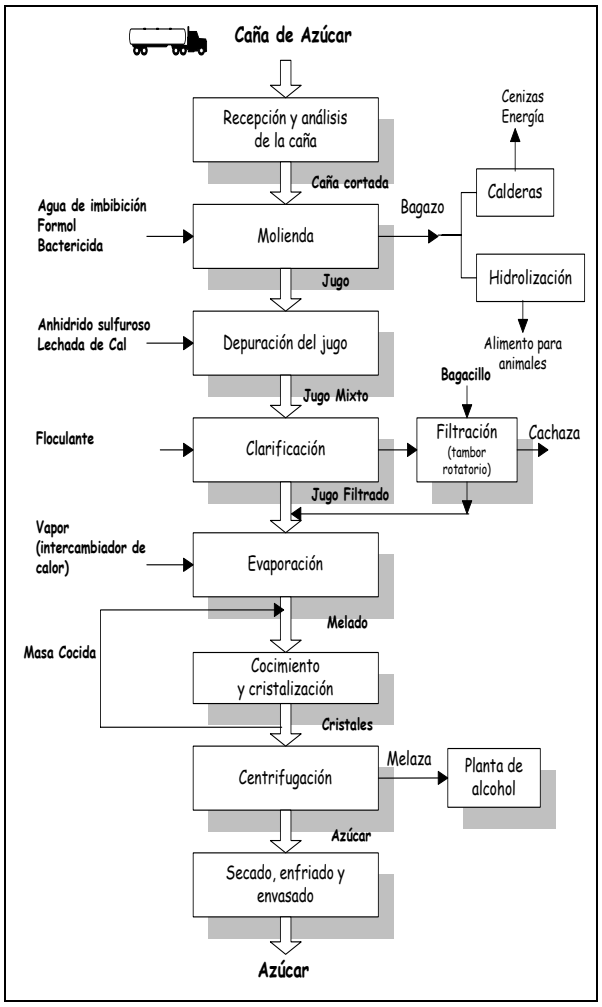

Figura 1. Diagrama de flujo de la producción de azúcar

Clarificación:

Después del tratamiento químico mencionado, el jugo es calentado a 110°C y luego bombeado a unos tanques clarificadores de procesamiento continuo, donde se adiciona floculante para precipitar las impurezas. El jugo sobrenadante es enviado a evaporación. Al lodo que sale de estos clarificadores, conteniendo algo de jugo, se le adiciona bagazo fino (bagacillo) y se lo envía a un filtro de vacío, tipo tambor rotatorio provisto de telas metálicas, donde el jugo se separa por completo de las impurezas (cachaza). Este jugo es nuevamente filtrado, en un filtro de malla 100, y se lo envía al proceso de evaporación. La cachaza es recolectada y utilizada en la elaboración del bioabono.

Evaporación:

En esta operación el jugo se concentra en un evaporador de múltiple efecto, generando, además, vapor de origen vegetal cuyo condensado se denomina "condensado vegetal".

Cocimiento y cristalización:

A medida que el jugo se va concentrando, pasa progresivamente del estado líquido a un estado en parte sólido (cristales) y en parte líquido (jarabes residuales). En esta operación también se genera vapor vegetal.

Centrifugación y secado:

La centrifugación permite separar los cristales de los jarabes residuales, siendo estos últimos recirculados varias veces con el objeto de ayudar a la formación de cristales. Los jarabes agotados (melazas) son transferidos a la planta de alcohol y el azúcar es secada, enfriada y envasada.

2. Producción de bagazo hidrolizado.

El bagazo hidrolizado se produce a partir del bagazo proveniente de la molienda y se emplea como alimento para animales (ganado vacuno, principalmente).

El proceso de hidrólisis consiste en introducir el bagazo en una cámara de vapor presurizado, donde la celulosa se hidroliza en dextrosa y pentosa. En una segunda fase, la cámara es rápidamente despresurizada lo que permite que el bagazo aumente de volumen y suavidad haciéndose, de esta manera, más digerible para el ganado.

3. Producción de alcohol.

Recepción:

La melaza proveniente de la planta de azúcar, es pesada y analizada antes de ser almacenada en tanques.

Fermentación:

En este proceso, el azúcar contenida en la melaza es transformada en alcohol y dióxido de carbono por acción de la levadura.

La melaza, a 85°Brix (1°Brix = 1 g de azúcar en 100 g de solución), es bombeada a una serie de tanques donde es diluida, primero a 60°Brix y luego a 26°Brix. Una pequeña parte de este "mosto" es diluido una tercera vez a 12°Brix para alimentar el tanque de cultivo de levadura. El resto es enviado a uno de los tanques de fermentación donde se añade levadura.

Después de cierto tiempo, el mosto fermentado es bombeado a una centrífuga donde la levadura es separada de la fase líquida. Parte de esta levadura es enviada nuevamente al proceso de fermentación, y la parte restante es sometida a un proceso de secado y posteriormente de empaquetado para su venta.

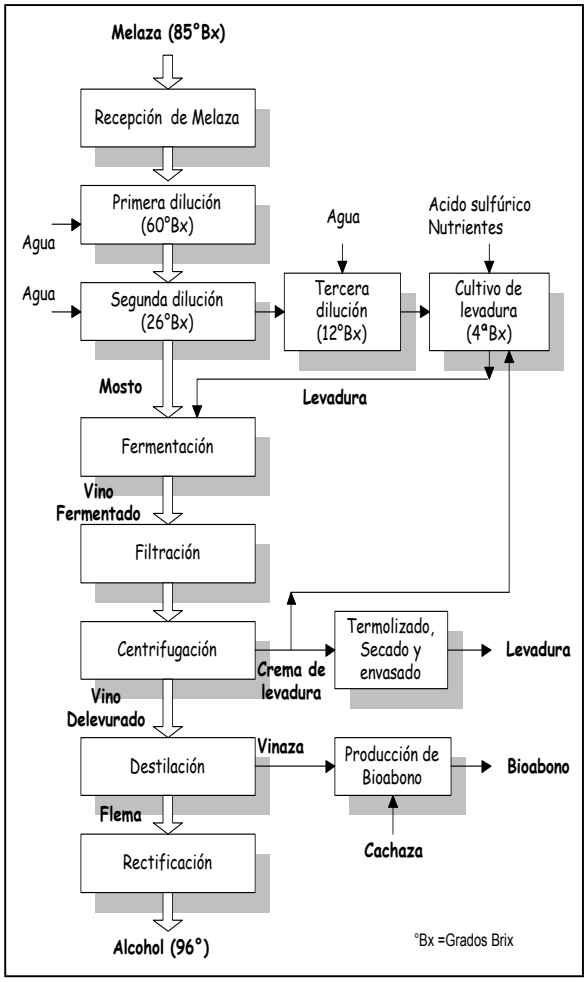

Figura 2. Diagrama de flujo de la producción de alcohol

Destilación:

La fase líquida que se separa en la centrífuga, llamada "vino", alimenta a la primera de las dos columnas de destilación. Como resultado del proceso de destilación se obtiene alcohol y un residuo denominado vinaza.

Recomendaciones implementadas

1. Eliminar la descarga de plomo de los laboratorios.

Situación anterior: Consumo de 0.79 g de plomo/ton caña para el análisis de sacarosa.

Los análisis del contenido de sacarosa en caña, jugos, mieles y jarabes se realizaban utilizando subacetato de plomo, para clarificar las muestras, además de otros reactivos y materiales, demandando un tiempo excesivo en toda la operación. Los desechos líquidos y sólidos contaminados con plomo y con los otros reactivos, provenientes de estos análisis, eran descargados a las lagunas y al relleno sanitario, respectivamente.

Situación actual: Consumo de 0.09 g de plomo/ton caña, equivalentes a una reducción de 600 kg de plomo/zafra, con un ahorro de 26,500 $US/zafra.

El 100% de las muestras de caña y jugos se analiza actualmente con un Espectrofotómetro de Infrarrojo Cercano (NIR), inversión de $US 50,000, que no requiere de muestras clarificadas, reduciendo el uso de reactivos y materiales, así como el tiempo empleado en el análisis. De las muestras de mieles y jarabes, un 50% son analizadas con un nuevo reactivo, denominado "Octapol", que no contiene plomo; el restante 50% todavía requiere de sales de plomo. Estos cambios en la forma de realizar los análisis de sacarosa han logrado reducir el consumo y la descarga de plomo en un 89%.

Figura 3. Espectrofotómetro NIR

2. Reducir el consumo de hidróxido de sodio (NaOH) y de agua en el lavado de los evaporadores.

Situación anterior: Consumo de 27 lt de agua/ton caña y 52 g de NaOH/ton caña para el lavado de los evaporadores.

Las operaciones de lavado de los evaporadores se efectuaban manualmente con cantidades excesivas de agua y de NaOH. Si bien una parte de las aguas de lavado de los evaporadores era reciclada, el resto era enviado a las lagunas.

Situación actual: Consumo de 14 lt de agua/ton caña, equivalentes a una reducción de 11,000 m^3/zafra, y 35 g de NaOH/ton caña, equivalentes a una reducción de 15 ton/zafra, con un ahorro total de 2,800 $US/zafra.

Se ha instalado aspersores (hidrojets) en la parte superior de cada evaporador (inversión de $US 35,000) que permiten que las operaciones de lavado se realicen con un menor caudal de agua a alta presión y en forma automática. El uso de los hidrojets ha permitido reducir en 48% el consumo de agua y en 33% el de hidróxido de sodio en el lavado de los evaporadores. Como consecuencia, se ha disminuido el volumen de agua y la carga de NaOH vertidos a las lagunas.

3. Eliminar el uso de agua en la remoción de cenizas de las calderas y reducir la descarga de cenizas a las lagunas y a la atmósfera.

Situación anterior: Consumo de 27 lt de agua de condensado vegetal/ton caña, con un contenido de 170 mg de DQO[1]/lt, en la limpieza de las calderas.

La remoción de cenizas de las calderas y el lavado de sus cajas se realizaba empleando agua de condensado vegetal, proveniente de las ollas de cocimiento y de los evaporadores, que se recirculaba entre un tanque de sedimentación y las calderas. Cuando esta agua contenía demasiada suciedad, era enviada del tanque de sedimentación a las lagunas. Esto ocasionaba un incremento en la carga de sólidos suspendidos y de DQO en las lagunas.

Por otro lado, gran parte de las cenizas generadas por las calderas, eran emitidas a la atmósfera debido a que el sistema de depuración de los gases de combustión, no funcionaba eficientemente.

[1] DQO, Demanda química de oxígeno: Medida cuantitativa de la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente la materia presente en el agua residual utilizando como oxidantes el dicromato o el permanganato de potasio.

Situación actual: Eliminación del uso de agua de condensado vegetal en el lavado de las calderas y eliminación de la descarga de DQO y sólidos suspendidos, provenientes de esta operación, a las lagunas. Disminución de la descarga de cenizas a la atmósfera.

Se ha eliminado el uso de agua en la limpieza de las calderas *(23,000 m^3/zafra)* y su carga de DQO (*4 ton DQO/zafra*), mediante limpieza en seco. Parte del agua de condensado vegetal, antes utilizada para el lavado, se emplea como agua de imbibición (ver recomendación 6).

Por otro lado, el sistema húmedo de depuración de gases de combustión ha sido sustituido por 4 separadores inerciales (2 por chimenea) que reducen en seco las emisiones de cenizas y polvo a la atmósfera. Las cenizas recuperadas son utilizadas para relleno y compactación de caminos y para la preparación de bioabono.

4. Mejorar prácticas de mantenimiento y minimizar fugas y derrames.

Situación anterior: Pérdidas de jarabes y mieles equivalentes a 41 ton azúcar/zafra y descarga de 46 ton DQO/zafra, a las lagunas, en la operación de centrifugación.

Existían pérdidas por derrames y fugas de mieles y jarabes, que caían al piso. Estas pérdidas, eran descargadas a las lagunas, durante las operaciones de limpieza.

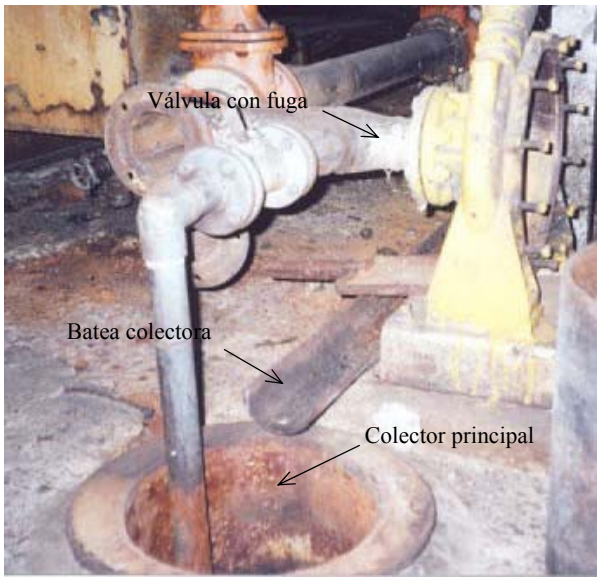

Figura 4. Recuperación de mieles y jarabes por fugas en bombas de centrífugas.

Situación actual: Eliminación de las pérdidas de jarabes y mieles y de la descarga de DQO,a las lagunas, con un ahorro de 12,200 $US/zafra.

Para recuperar estas pérdidas, mientras se procede a la reparación de los puntos de fuga, se ha instalado un colector, consistente en una batea metálica larga colocada debajo de todas las válvulas de las bombas de las centrífugas por donde circulan mieles y jarabes. Los productos recuperados son enviados directamente a las ollas de cocimiento para su reprocesamiento.

5. Reducir la alimentación de agua de los tanques pulmón al "spray pond" (piscina de enfriamiento de agua por aspersión).

Situación Anterior: Alimentación de 1.08 m^3 de agua de pozo/ton caña de los tanques pulmón.

El agua de enfriamiento de los condensadores barométricos, junto con los condensados vegetales de las ollas de cocimiento y del último efecto de los evaporadores, eran enviados al spray pond, a una temperatura elevada. Con el objetivo de ayudar a enfriar estas aguas, se mezclaba con agua fría procedente de los dos tanques pulmón de abastecimiento de la planta. Sin embargo, su aporte a la disminución de la temperatura era poco significativo, comparado al efecto de enfriamiento por evaporación del agua en la aspersión; y, como efecto colateral, solamente diluía la concentración de DQO en el agua del spray pond, que, en parte, era recirculada en los condensadores barométricos, y el resto descargado a las lagunas.

En estas condiciones el rebalse del spray pond descargado a las lagunas era equivalente a 1.43 m^3 de agua/ton de caña, con una DQO de 250 mg/lt.

Situación actual: Alimentación de 0.06 m^3 de agua de pozo/ton caña de los tanques pulmón, equivalente a una reducción de 877,000 m^3/zafra, con un ahorro de 8,800 $US/zafra.

Debido a una mejor gestión en el uso de agua, particularmente la utilización del condensado vegetal del último efecto del evaporador como agua de imbibición (ver recomendación 6), se ha logrado que la temperatura del agua que entra al spray pond disminuya y que éste pueda operar con poca agua de enfriamiento proveniente de los tanques pulmón, lo que ha permitido reducir el consumo de agua en 1.02 m^3/ton caña.

Esta medida ha permitido que el rebalse actual del spray pond a las lagunas se reduzca en 1,100,000 m^3 de agua/zafra (1.28 m^3 de agua/ton caña).

Asimismo, pese a que la concentración de DQO se ha incrementado, de 250 a 400 mg/lt, por la reducción del agua proveniente de los tanques pulmón, la carga neta de DQO enviada a las lagunas ha disminuido (ver recomendación 6).

6. Reciclar el condensado del último efecto del evaporador como agua de imbibición.

Situación anterior: Consumo de 0.35 m^3 de agua de pozo/ton caña para imbibición.

Como agua de imbibición, se añadía agua fresca de pozo en una cantidad equivalente al 35% en peso de caña procesada.

Situación actual: Consumo de 0.09 m^3 de agua de pozo/ton caña, equivalente a una reducción de 223,000 m^3/zafra, con un ahorro de 2,200 $US/zafra.

El 74% del agua de imbibición ha sido substituido con agua de condensado vegetal del último efecto del evaporador. El 26% aún proviene de los pozos. La sustitución descrita, ha resultado, además, en una reducción del rebalse del spray pond, así como de la carga de DQO, que se ha reducido en 250 ton DQO/zafra.

7. Emplear la vinaza y la cachaza para producción de bio-abono.

Situación anterior: Rendimiento de los cultivos de caña igual a 50 ton caña/Ha, con un contenido de sacarosa en la caña de 11.58%.

La vinaza era irrigada directamente en los cañaverales como fertilizante. Igualmente, la cachaza era directamente incorporada como abono.

Situación actual: Rendimiento de los cultivos de caña igual a 60 ton caña/Ha, con un contenido de sacarosa en la caña de 12.44% y un ahorro de 230,000 $US/zafra.

Con la cachaza y la vinaza se produce un fertilizante de suelos denominado compost o bio-abono.

El proceso se lleva a cabo al aire libre en un terreno de superficie de 6 hectáreas (Ha). La degradación para obtener compost toma un tiempo aproximado de 2 meses, período durante el cual el material es removido constantemente y la humedad requerida es mantenida mediante irrigación con vinaza.

Se ha comprobado un incremento del 20% en la producción de caña por hectárea y el contenido de sacarosa en la caña ha alcanzado un valor de 12.44%, el más alto registrado históricamente.

8. Mejorar el proceso de enfriamiento de agua en la planta de alcohol.

Situación anterior: Consumo de 109 m^3 de agua/m^3 de alcohol en la planta de alcohol.

Debido a que la temperatura del agua, a la salida de las torres de enfriamiento, no era lo suficientemente fría para ser recirculada, se la enviaba directamente a las lagunas requiriéndose de agua fresca de pozo para el enfriamiento.

Situación actual: Consumo de 19 m^3 de agua/m^3 de alcohol en la planta de alcohol, equivalente a una reducción de 900,000 m^3 de agua/zafra, con un ahorro de 9,000 $US/zafra.

Se han instalado dos nuevas torres de enfriamiento, lo que ha mejorado la eficiencia del proceso de enfriamiento permitiendo la recirculación de agua. En consecuencia, el consumo así como el volumen de agua enviado a las lagunas se ha reducido en 83%.

9. Medidas varias.

- El agua empleada para reducir la espuma (agua de dilución añadida al producto) en las torres de sulfitación ha disminuido en un 81% por la instalación de aspersores de flujo controlado (3,600 m^3/zafra).
- Se ha separado los efluentes sanitarios de los industriales. Antes ambos eran enviados directamente a las lagunas. Ahora los sanitarios van a un pozo ciego. Esta medida evita que coliformes fecales ingresen en las lagunas contaminando las aguas que, luego de ser tratadas, son utilizadas para riego.
- Los ambientes en varias áreas de producción han mejorado, en cuanto a iluminación y calidad de pisos, facilitando la detección de fugas y derrames que eran inadvertidos anteriormente.

Beneficios de la práctica de PML

Se ha logrado reducciones importantes en el consumo global de agua de pozo (reducción del consumo específico de agua de 2.37 m^3/ton caña o 2,038,000 m^3/zafra), y en insumos (hidróxido de sodio y subacetato de plomo), así como en el caudal del efluente y en la carga contaminante enviada a las lagunas.

Además de estos logros ambientales, se han logrado ahorros económicos que permiten un 132% de retorno de las inversiones realizadas. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 1.

TABLA 1 – MEJORAS EN EL DESEMPEÑO DE LA PLANTA SEGÚN INDICADORES ANTES Y DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACION DE LAS MEDIDAS DE PML

Medida de PML implementada	Indicador de desempeño	Antes	Después	Reducción	Porcentaje Reducción
1. Eliminar la descarga de plomo de los laboratorios	Descarga de Plomo [g Pb/ton caña]	0.79	0.09	0.7	89%
2. Reducir el consumo de hidróxido de sodio (NaOH) y de agua en el lavado de los evaporadores.	Consumo de NaOH [g/ton caña]	52	35	17	33%
	Consumo agua [lt/ton caña]	27	14	13	48%
3. Eliminar el uso de agua en la remoción de cenizas de las calderas y reducir la descarga de cenizas a las lagunas y a la atmósfera.	Descarga agua [lt/ton caña]	27	0	27	100%
	DQO al efluente [g/ton caña]	4.6	0	4.6	100%
4. Mejorar prácticas de mantenimiento y minimizar fugas y derrames, en la operación de centrifugación	Pérdidas de mieles y jarabes [g azúcar/ton caña]	48	0	48	100%
	Reducción de DQO [g/ton caña]	53	0	53	100%
5. Reducir la alimentación de agua de los tanques pulmón al "spray pond".	Rebalse de los tanquespulmón [m^3/ton caña]	1.08	0.06	1.02	94%
6. Reciclar el condensado del último efecto del evaporador como agua de imbibición.	Consumo de agua de pozo para imbibición [m^3/ton caña]	0.35	0.09	0.26	74%
	DQO en spray pond [g DQO/ton caña]	357	67	290	81%
7. Emplear la vinaza y la cachaza para producción de bio-abono.	Descarga de vinaza y cachaza como desecho	No medido	0	--	100%
8. Mejorar el proceso de enfriamiento de agua en la planta de alcohol.	Consumo de agua de pozo [m^3/m^3 alcohol]	109	19	90	83%
9. Medidas varias					
- **Disminución del agua para control de espuma.**	Consumo agua [lt/ton caña]	5.2	1.0	4.2	81%
- **Separación de efluentes sanitarios e industriales**	Eliminación de coliformes fecales y descarga de DQO de los sanitarios a las lagunas (180 personas) [ton DQO/zafra]	5.4	0	5.4	100%

TABLA 2 – INVERSIONES, AHORROS, RETORNOS Y BENEFICIOS AMBIENTALES

Medida de PML implementada	Inversión [$US]	Ahorro anual [$US/zafra]	Retorno de la inversión	Beneficio Ambiental
1. Eliminar la descarga de plomo de los laboratorios.	50,000	26,500	53%	Reducción de 600 kg de plomo/zafra en descargas a lagunas y suelo.
2. Reducir el consumo de hidróxido de sodio (NaOH) y de agua en el lavado de los evaporadores.	35,000	2,800	8%	Reducción de 15 ton de NaOH/zafra y 11,000 m^3 de agua/zafra.
3. Eliminar el uso de agua en la remoción de cenizas de las calderas y reducir la descarga de cenizas a las lagunas y a la atmósfera.	12,000	230	2%	Reducción de 23,000 m^3 de agua/zafra y 4 ton de DQO/zafra en el efluente.
4. Mejorar prácticas de mantenimiento y minimizar fugas y derrames, en la operación de centrifugación.	7,000	12,200	174%	Reducción de pérdidas de mieles y jarabes, equivalentes a 41 ton de azúcar/zafra y reducción de 46 ton de DQO/zafra en el efluente.
5. Reducir la alimentación de los tanques pulmón al "spray pond".	Ninguna	8,800	--	Reducción de 877,000 m^3 de agua/zafra.
6. Reciclar el condensado del último efecto del evaporador como agua de imbibición.	5,000	2,200	44%	Reducción de 223,000 m^3 de agua de pozo/zafra y de 250 ton de DQO/zafra en el spray pond.
7. Emplear la vinaza y la cachaza para producción de bio-abono.	78,000	230,000	295%	Mejoramiento de cultivos.
8. Mejorar el proceso de enfriamiento de agua en la planta de alcohol	30,000	9,000	30%	Reducción de 900,000 m^3 de agua/zafra.
9. Medidas varias				
- **Disminución del agua para control de espuma**	1,000	36	3.6%	Reducción de 3,600 m^3 de agua/zafra.
- **Separación de efluentes sanitarios de los industriales**	3,000	No cuantificado	--	Eliminación de coliformes fecales. Reducción de 5.4 ton de DQO/zafra en el efluente.
	221,000	**291,766**	**132%**	

CPTS "Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles", Av. Mcal. Santa Cruz Nº 1392, Edif. Cámara Nacional de Comercio, Piso 12, Tel.: (591-2) 319891, Fax: (591-2) 319903, Casilla 2603, La Paz - Bolivia