

Evaluación, análisis y cuantificación de pérdidas de sacarosa de miel final en los procesos de cristalización, agotamiento y centrifugación del Ingenio María Luisa

Evaluation, analysis and quantification of saccharose loss in molasses in crystallization, stripping and centrifuging processes at the sugar-mill Ingenio María Luisa

Título en Portugués

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

RECIBIDO: ABRIL 27; ACEPTADO: JUNIO 1, 2012

Héctor Hugo Mosquera, M.Sc¹

hh.mosquera@ingeniomarialuisa.com

Guillermo Garzón, Ph.D²

guillermogarz@gmail.com

Jairo Rubio¹

j.rubio@ingeniomarialuisa.com

Ingenio Maria Luisa (1)

Universidad Santiago de Cali (2)

Resumen

El proceso de elaboración de azúcar origina pérdidas de sacarosa determinadas, que se pueden evaluar y controlar; e indeterminadas, que son inevitables pero que se deben controlar y minimizar. Las pérdidas de sacarosa en miel final pueden representar hasta el 6% del total de la sacarosa contenida en la caña de azúcar y con ello producir deficiencia en el proceso, reducir la recuperación de azúcar y afectar económicamente a la empresa. Esta investigación se abordó aplicando la metodología de solución de problemas empleando el ciclo PHVA y herramientas estadísticas básicas usadas en el control y mejoramiento de la calidad. En su primera etapa se hizo un diagnóstico y análisis detallado de las pérdidas, tomando como base datos históricos. En las siguientes, se desarrollaron actividades como análisis de laboratorio y mediciones fisicoquímicas y se realizaron las acciones necesarias para cumplir las metas propuestas. El proyecto tuvo logros importantes en los ámbitos económico, social, cultural y tecnológico, e hizo posible que el ingenio alcanzara por primera vez sus metas de pureza y pérdida de azúcar en miel final.

Palabras Clave

Pérdidas determinadas de sacarosa; miel final; slurry; tamaño de cristales; indicadores del SGC.

Abstract

The sugar refining process originates both determined losses in saccharose (sucrose) that can be assessed and controlled, and undetermined losses that are inevitable but that must be controlled and minimized. Saccharose losses in molasses may represent up to 6% of total saccharose contained in the sugar cane and along with it produce a deficiency during the process, a reduction in sugar recovery and economically affect the company. This research was addressed to through applying the problem-solving methodology employing the PDCA cycle and basic statistical tools used in quality control and improvement. In its first stage, both a detailed diagnosis and analysis of losses were conducted based on historical data; during the following ones, activities such as laboratory analysis and physicochemical measurements were performed and the necessary actions were taken to fulfill previously -set goals. The project had important achievements in terms of economic, social, cultural and technological levels, and it also allowed the mill to reach its concentration goals and sugar-loss control in molasses.

Keywords

Determined losses in saccharose; molasses; slurry; crystal; SCG

I. INTRODUCCIÓN

Los ingenios azucareros son empresas agroindustriales muy importantes en la economía regional y nacional, cuya materia prima es la caña de azúcar. El proceso de elaboración de azúcar origina pérdidas de sacarosa, que son clasificadas como determinadas e indeterminadas (Honig, 1974; Hugot, 1980; Meade, 1967). Las determinadas se pueden evaluar y controlar, las indeterminadas son inevitables, pero se deben controlar y minimizar.

Las pérdidas de sacarosa en miel final pueden representar hasta el 6% del total de la sacarosa contenida en la caña de azúcar, lo que produce deficiencia en el proceso y reducción en la recuperación de azúcar, y afecta económicamente a la empresa.

Históricamente, el Ingenio María Luisa ha presentado el contenido de sacarosa y las pérdidas en miel final más altas entre los ingenios nacionales.

Todos los ingenios utilizan la caña de azúcar para extraer azúcar, algunos además de azúcar producen alcohol; por lo tanto, controlar el mínimo de sacarosa permisible en materiales que salen del proceso es una de las tareas de mayor importancia, para la mejora, supervivencia y rentabilidad de los ingenios azucareros.

Las pérdidas determinadas, aquellas que se pueden controlar, cuantificar y calificar, son originadas por el bagazo, la cachaza y la miel final.

Las pérdidas totales en miel final en una fábrica están gobernadas por dos variables de gran impacto; i) la pureza en la miel final, ii) los kilos de miel producidos por cada tonelada de caña molida [t.c.m]. La primera depende del proceso de fábrica, mientras la segunda es función de las áreas de campo y cosecha. La miel final es un subproducto del proceso que se usa como materia prima o se comercializa y que está inmerso en la producción de azúcar.

Esta investigación está orientada a evaluar, analizar y cuantificar aquellos factores que inciden en el incremento de las pérdidas determinadas en miel final por alta pureza, y hacer propuestas de mejoramiento para disminuir estas pérdidas teniendo como base la pureza y no los kilos de miel producida por cada tonelada de caña molida.

La pureza promedio de la miel final del Ingenio María Luisa en los últimos tres meses de 2009 fue de 43.2%; el promedio de 2010 fue de 41.5%; por lo tanto el Ingenio

perdió durante el año cerca de 11,3 kilos azúcar por tonelada de caña molida.

Bajo condiciones de operación normal en el área de elaboración, para lograr una aceptable recuperación de azúcar en miel final, acorde con la capacidad del proceso, es necesario hacer un análisis detallado de las diferentes etapas incluyendo equipos y maquinaria, procedimientos, tecnología y recurso humano (Hugot, 1974; 1980).

Conseguir la reducción de sacarosa en la miel final del ingenio y en el indicador de pérdidas totales en miel final constituye un gran reto, por tratarse del ingenio más pequeño, con menor tecnología y con mayores limitaciones en maquinaria y equipos; pero, con la ventaja de conocer su proceso, sus virtudes y falencias.

Como se indicó, las pérdidas en pureza y miel final del Ingenio María Luisa, a través de la historia, han sido las más altas de los ingenios de Colombia; y lo han sido a pesar de poseer una de las materias primas más ricas en contenido de sacarosa. En 2009 el ingenio se ubicó en el segundo lugar con las cañas más ricas en sacarosa; pero se observó, en contraposición, que el ingenio rompió su propio record de años anteriores, en alta pureza y pérdidas en miel final.

Con base en datos históricos del Ingenio María Luisa, este proyecto pretende recuperar entre 10% y 20% de sacarosa en miel final. Este porcentaje recuperado le representara al ingenio entre 400 y 900 millones de pesos por año.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación aplicó una metodología de solución de problemas basada en el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar) usando herramientas básicas aplicadas en el control y mejoramiento de la calidad. La primera etapa (planear) se realizó en el segundo semestre de 2009 (referido como período 2009 B) y consistió en un análisis y preparación del proyecto; las tres etapas restantes se desarrollaron en el primer semestre de 2010 (referido como período 2010A), periodo en el cual inició la implementación del proyecto.

Las cuatro etapas del ciclo PHVA se desarrollaron como sigue:

1) Planear

Esta etapa se basó en la observación, medición y análisis de las variables que afectan el contenido alto de

azúcar en miel final, para llegar a un objetivo, mediante las siguientes actividades:

- a. Diagnóstico, análisis detallado y estudio estadístico del contenido de pureza y pérdidas totales de azúcar en miel final de los años 2005-2009, usando como fuente primaria archivos históricos de proceso en el laboratorio de la fábrica.
- b. Reconocimiento del proceso, medición de equipos y capacidad del proceso
- c. Identificación, análisis y evaluación de las variables de mayor impacto (tiempo, temperatura, pureza y tamaño de los cristales en el polvillo) que afectan el contenido alto de azúcar en miel final, mediante el uso de herramientas estadísticas básicas como tormenta de ideas, representaciones gráficas de datos, hojas de verificación, histogramas, diagramas de causa-efecto, diagramas de barras, diagramas de Pareto y cartas de control.
- d. Selección de las variables que estaban al alcance teniendo en cuenta la capacidad del proceso y la tecnología de los equipos y maquinaria de la fábrica.
- e. Capacitación en el manejo del software para cristalografía, y en muestreo, análisis y caracterización del polvillo, dirigida al personal operativo; se planeó además la sensibilización con los objetivos del proyecto y la asignación de responsabilidades.
- f. Consideraciones sobre las medidas preventivas y correctivas para eliminar las causas del problema.

2) Hacer

En esta etapa se puso en práctica lo planeado destacando actividades como:

- a. Realización de los análisis de laboratorio (incluyendo muestreo, análisis y caracterización del polvillo) y las mediciones fisicoquímicas correspondientes (Cenicña, 2002; Tecnicña, 1989).
- b. Se aplicaron las medidas remediabiles correspondientes.

3) Verificar

Se revisaron los resultados obtenidos comparándolos con las metas establecidas mediante las siguientes actividades:

- a. Revisión de resultados analíticos obtenidos en las

etapas de cristalización, agotamiento y centrifugación.

- b. Revisión y documentación de los procedimientos aprobados.
- c. Evaluación del impacto directo de la solución propuesta en términos económicos

4) Actuar

En esta etapa se tomaron medidas para prevenir la recurrencia del mismo problema investigado, a través de las siguientes actividades:

- a. Estandarización de los procesos de cristalización, agotamiento y centrifugación, definiendo horas de molienda del polvillo, tamaño y cantidad de los cristales en el polvillo, tiempo de agotamiento de la sacarosa en los cristalizadores, temperatura en la centrifugación, pureza en miel final y temperatura en miel final.
- b. Se documentaron los procesos mejorados y las acciones correctivas.
- c. Se dio una capacitación en los nuevos estándares y procesos mejorados acompañada de una asignación de responsabilidades.
- d. Se analizaron los beneficios indirectos e intangibles logrados con el plan de mejoramiento propuesto.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto tuvo resultados en varios aspectos.

A. Logro económico

El beneficio obtenido de mayor importancia es sin duda el económico. En el período 2010A se logró la recuperación de 252 millones de pesos por concepto de azúcar recuperado en la miel final.

La Figura 1 ilustra la recuperación en dicho período. Se observa que la recuperación es ascendente en el tiempo a excepción de enero y abril, afectados por problemas internos en el ingenio María Luisa; el mes de junio fue el de mayor recuperación.

Figura 1. Valor de la recuperación (\$ millones) - Período 2010A

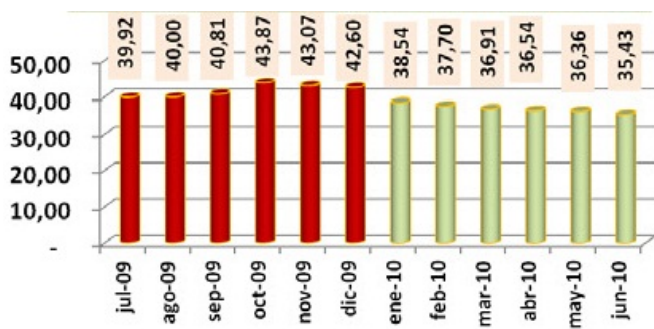


B. Cumplimiento de indicadores del SGC

La empresa logró cumplir con dos indicadores del SGC, pureza en miel final y pérdidas totales de azúcar en miel final; se destaca que se cumplió por primera vez después de diez años de certificación SGC del proceso y del producto terminado.

En la Figura 2 se muestra cómo de 2009 hacia atrás, la pureza promedio aproximada en miel final fue de 41.70%, un valor que durante la aplicación del proyecto se pudo reducir un 13 %.

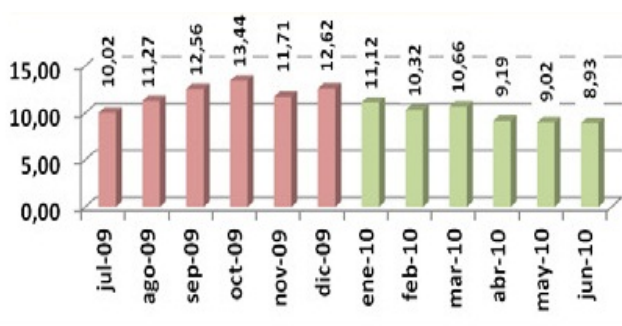
Figura 2. Comparativo de la meta en pureza en miel final 2009B vs 2010A



De 2009 hacia atrás la pérdida total promedio de azúcar en miel final fue de 11,20 kg de azúcar por tonelada de caña molida. La meta para este indicador es de 10 kg azúcar/t.c.m., el cual se logró reducir a 9,92 kg azúcar/t.c.m. Este valor se redujo gracias al menor contenido de sacarosa obtenida en la miel final.

La Figura 3 ilustra el cumplimiento en la meta del SGC en la reducción de pérdidas en kg de azúcar/t.c.m.

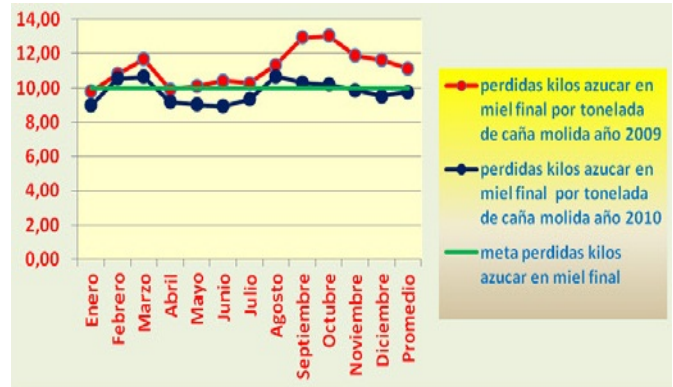
Figura 3. Comparativo en kg de azúcar en miel final por tonelada de caña molida. Periodo 2010B vs 2010A



La Figura 4 ilustra el comportamiento progresivo, descendente y positivo de los kilos de azúcar en miel final durante 2010 y permite la comparación con el

comportamiento de los kilos de azúcar en miel final de 2009. Este es uno de los indicadores de gestión del SGC más importantes de la fábrica; la meta del indicador es 10.00.

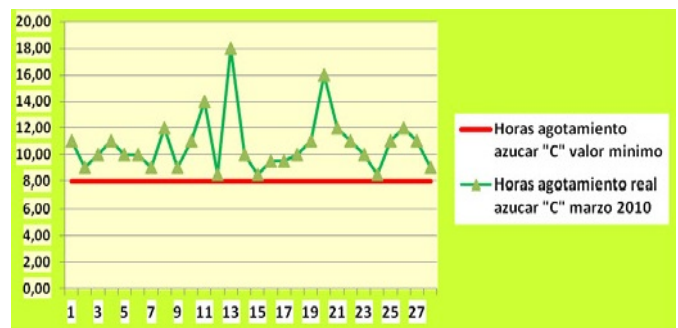
Figura 4. Comportamiento de pérdida de azúcar en miel final del indicador SGC. 2009 vs 2010



C. La variable Tiempo en el agotamiento de la sacarosa en los cristalizadores

En esta etapa del proceso se logró dar un mínimo de ocho horas de permanencia a las masas C en los cristalizadores, permitiendo una mayor difusión de la sacarosa contenida en la miel que va hacia los cristales de azúcar tal como se ilustra en la Figura 5. Se estableció como procedimiento dar un mínimo de ocho horas en agotamiento o reposo al material azúcar de tercera o “C”. Esto permitió además tener siempre azúcar de tercera en inventario con un recipiente o cristalizador lleno de forma constante. Antes del proyecto este control no se hacía.

Figura 5. Control horas agotamiento en azúcar C. Marzo 2010A



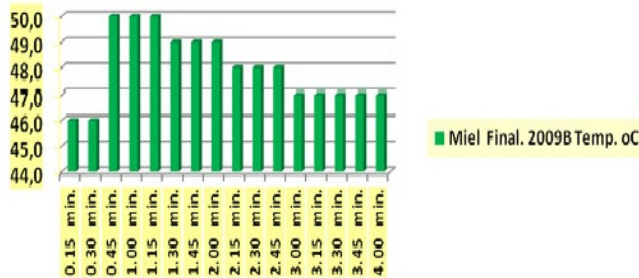
D. La variable temperatura en la centrifugación

Se logró disminuir el uso de vapor en las tuberías de descargue y alimentación en centrifugas, previa limpieza de ductos. También se logró disminuir el uso excesivo de vapor y agua caliente. Entre los correctivos aplicados están:

- purgar solo templas C que registren tiempo mínimo de ocho horas;
- sensibilizar a los operarios de centrifugas en el cumplimiento de objetivos;
- reducir temperatura y rango en la centrifugación de azúcar C

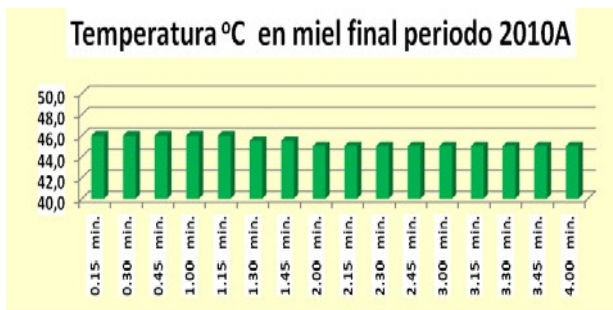
La Figura 6 evidencia el mal uso del vapor en la centrifugación de templas C, que permite la elevación de la temperatura en la miel final, algo que ocurría antes del inicio de este proyecto.

Figura 6. Temperatura en miel final en la centrifugación cada 15 minutos durante 4 horas Año 2009B



La Figura 7 ilustra una de las mejoras conseguidas al reducir y estabilizar la temperatura de la miel final (por debajo de 45 °C) en el período 2010A mediante el control del vapor en la etapa de la centrifugación.

Figura 7. Temperaturas controladas en la miel final cada 15 minutos durante 4 horas. Año 2010A

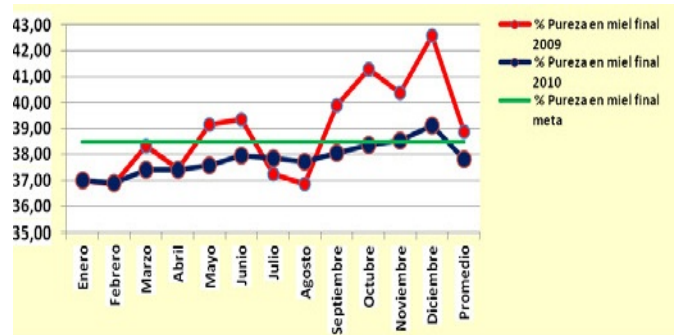


E. La variable pureza en miel final

La Figura 8 presenta datos comparativos del porcentaje de pureza en miel final, comparando los periodos 2009 y 2010. El año 2010 definitivamente muestra un efecto positivo en el cumplimiento del objetivo del proyecto,

reflejado en un menor porcentaje de pureza; el valor de la meta es de 38.50% pureza. En la medida en que este valor sea más bajo se tendrá mayor recuperación de azúcar.

Figura 8. Comparativo de % pureza en miel final 2009 vs 2010



F. Tamaño y estadística de los cristales en el slurry o polvillo

Con la ayuda de un microscopio adaptado a un software, se logró mejorar la calidad y la cantidad de cristales para cristalizar. Se consiguió estandarizar:

- la cantidad de azúcar o polvillo para cristalizar en 1,2 kilos; esta cantidad antes del proyecto oscilaba entre 0.8 y 2.0 kilos, al igual que el material no solvente, alcohol.
- las horas de molienda del *slurry* o polvillo en 6 horas; antes del proyecto se aplicaba un tiempo entre 10 y 24 horas
- tamaño en la media del cristal del polvillo entre 8 y 10 micras y un coeficiente de variación menor al 40%. Antes del proyecto se tenían mediciones de 6 micras en el tamaño del polvillo y 63% en el coeficiente de variación.

Todo lo anterior contribuye a mejorar el proceso de centrifugación.

La Figura 9 ilustra la baja calidad y el alto coeficiente de variación en la granulometría del *slurry* periodo 2009B, lo que se refleja en materiales en proceso y azúcar, tal como se observa en la Figura 10.

Durante la ejecución del proyecto mejoró la granulometría del polvillo con coeficientes de variación menores al 40% (ver Figura 11) y como consecuencia de este cambio positivo mejoró la calidad del cristal de azúcar en el proceso (Ver Figura 12).

Figura 9. Polvillo - 2009B

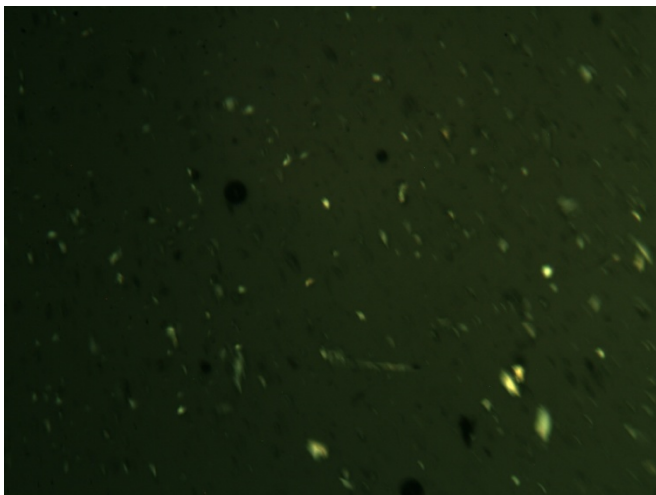


Figura 10. Polvillo – 2010A

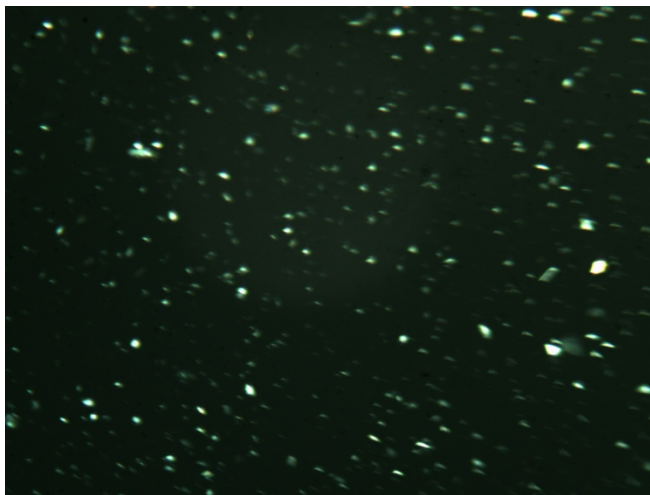


Figura 11. Cristales de azúcar – 2009B

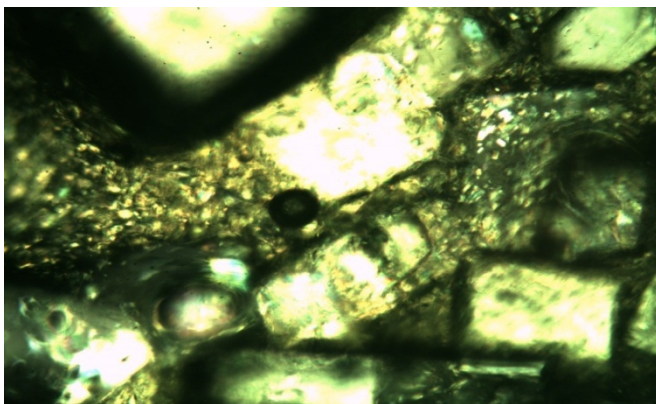
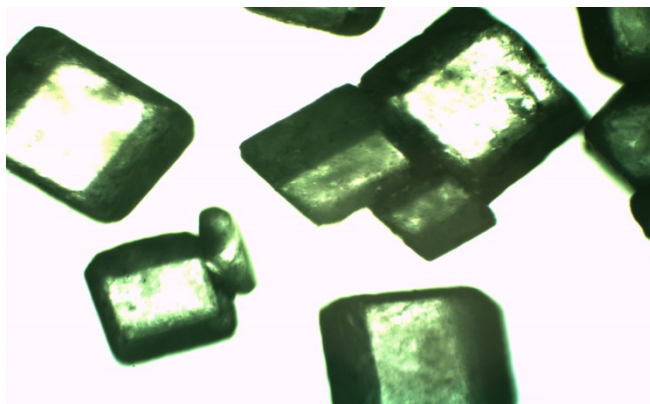


Figura 12. Cristales de azúcar – 2010A



G. Resultados indirectos

Además del resultado económico obtenido como objetivo principal, se lograron los siguientes resultados indirectos, designados como alcances.

Alcance social. Se generó empleo al establecer la necesidad de crear el cargo relacionado con la logística de cristalización, con el objetivo de mantener y mejorar la meta alcanzada, para cuatro personas.

Alcance cultural. El proyecto mostró la ventaja de trabajar en equipo para cumplir con objetivos retadores.

Alcance industrial. El ahorro económico alcanzado permitirá a la empresa hacer inversiones para lograr un mejor desarrollo industrial en la planta, haciéndola más eficiente, eficaz y efectiva, lo que contribuirá a disminuir sus desventajas frente a los demás ingenios del país.

Alcance tecnológico. Como efecto del proyecto, la planta cuenta con un microscopio moderno y un software para

cristalografía que le permitirá, al proceso de fábrica, un mejor control en áreas relacionadas con la elaboración de azúcar.

Alcance técnico. Se logró un mejor manejo y control de los procesos de cristalización, agotamiento y centrifugación.

IV. CONCLUSIONES

La ejecución de este proyecto redujo la pureza en miel final a valores iguales a los de algunos ingenios de mayor capacidad industrial, comercial, técnica y tecnológica.

El trabajo realizado es de baja inversión y de muy alta recuperación. Sirve como modelo para aplicar en otras industrias azucareras nacionales o internacionales.

La experiencia obtenida en la realización de esta investigación le facilitará al Ingenio María Luisa emprender otros proyectos prioritarios a corto plazo empleando una metodología semejante.

V. REFERENCIAS

- Honig, P. (1974). *Principios de Tecnología azucarera. Tomo II. Cristalización* [6ª ed.]. México DF, México. Continental.
- Cenicafía A. Ramírez (Ed.) (2002). *Manual laboratorio para la industria azucarera*. Cali, Colombia.
- Hugot, E. (1980). *Manual del azúcar de caña* [6a ed.]. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
- Hugot, E. (1974). *Manual para ingenieros azucareros*. México DF, México: Continental.
- Meade, G. (1967). *Manual azúcar de caña* (9a ed.). Barcelona, España: Montaner y Simón.
- Tecnicaña. (1989). C. Buenaventura (Ed.). *Manual laboratorio para la industria azucarera*. Cali, Colombia: autor.

VI. CURRÍCULOS

Guillermo Garzón García. Químico Universidad Nacional de Colombia; M.Sc. Purdue University, Estados Unidos; Ph.D. Northwestern University, Estados Unidos; Posdoctorado Texas A&M University, Estados Unidos; Especialista en Administración de la Calidad Total y la Productividad, Universidad del Valle, Colombia. Profesor de Dedicación Exclusiva de la Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Química, Universidad Santiago de Cali.

Héctor Hugo Mosquera Mejía. Químico de la Universidad Santiago de Cali. Estudios de Magister en Gestión y Auditoría Ambiental, Ingeniería y Tecnología Ambiental, Funiber, España. Evaluador y Tutor del Sena y Asocaña, Auditor SCG, Asesor técnico. Treinta años de experiencia en la industria azucarera en las áreas de Calidad y Producción.

Jairo Rubio Gutiérrez. Ingeniero Químico Universidad del Valle. Posgrados en Administración de Producción, Universidad de Kard Dush, Alemania; Especializaciones en Sistemas de Cómputo. Treinta años de experiencia en la industria azucarera; Jefe de Producción, Asesor y Consultor Técnico; experiencia en desarrollo de proyectos en refinerías y destilerías. Profesor Hora Cátedra Universidad del Valle.