

Etapa de purificación en el proceso de producción de azúcar crudo en la Empresa Agroindustrial Jesús Sablón Moreno

Yadiel Sotolongo Contino

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)

Vía Blanca, No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba

yadiel.sotolongo@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Introducción. La investigación desarrollada en la Empresa Agroindustrial Azucarera Jesús Sablón Moreno tiene como propósito realizar un análisis específico y detallado de los principales parámetros y variables que intervienen en los subprocesos de extracción, clarificación y filtración, para evaluar dicha etapa y detectar las posibles causas que inciden en las afectaciones de esta área.

Objetivo. Evaluar el comportamiento de las principales variables que intervienen en la etapa de purificación y su influencia en el proceso.

Materiales y Métodos. Se desarrolló una metodología para el cálculo de los balances de masa de la etapa de purificación, se realizó un análisis estadístico con el empleo del programa Statgraphics Plus y se aplicaron las técnicas analíticas establecidas para la determinación de los parámetros analizados.

Resultados y Discusión. La metodología de cálculo aplicada en los balances de masa y en los análisis estadísticos permitió conocer y evaluar los diferentes flujos y variables que intervienen en esta etapa del proceso de producción del azúcar crudo.

Conclusiones. El procedimiento de análisis de esta investigación permitió evaluar la etapa de purificación en la producción de azúcar crudo de la Empresa. Se aprecia que los parámetros estudiados en los jugos presentan un buen comportamiento estadístico, respecto al porcentaje de dispersión y al coeficiente de variación. Los resultados que se obtienen en los balances de masa son lógicos y útiles para el análisis del proceso industrial.

Palabras clave: caracterización, purificación, parámetros, calidad.

ABSTRACT

Introduction. Extraction, clarification and filtration subprocesses have associated parameters and variables that being analyzed in detail and specifically define Jesús Sablón Moreno Sugar Company the researching purpose. Evaluation of each stage before mentioned and causes detection affecting this area were also evaluated.

Objective. Both, purification stage variables (the most relevant) evaluation and their influence in this process were defined as aim in this study.

Materials and Methods. A methodology was developed to purification stage mass balance calculation. Statgraphics Plus program was employed in statistical analysis and common analytical techniques were used to parameters definition.

Results and Discussion. Mass balance calculation methodology and statistical analyzes were relevant in both, different flows evaluation (also different flows knowledge was defined) and variables evaluation in raw sugar production process.

Conclusions. Analysis procedure of this investigation was useful to purification stage evaluation in the Company's raw sugar production. Dispersion percentage and variation coefficient (as precision parameters) were optimal statistically using sugarcane juice as sample. Mass balance results are logical and useful considering industrial process analysis.

Keywords: characterization, purification, parameters, quality.

INTRODUCCIÓN

El proceso de producción de azúcar cuenta con varias etapas, en las que se necesita de un estricto control, para que se obtenga el producto final con la máxima calidad y uno de los principales subprocesos que hacen esto posible es la purificación del jugo mezclado. Este proceso es complejo, ya que depende de la eficiencia y calidad con que se hayan realizado las operaciones anteriores; por tanto, condiciona la necesidad de un control muy efectivo sobre los parámetros que participan en ella y hacen, de esta área, una de las más sensibles al aumento de las pérdidas y a la afectación de la calidad del azúcar. Es primordial, para una buena operación de purificación, trabajar con jugos de calidad, lo que significa procesar jugos frescos de caña, con un contenido de fósforo que permita su clarificación, con bajo contenido de no azúcares y poca cantidad de sólidos en suspensión. Este proceso se encarga de eliminar aquellas partículas indeseables, tales como el bagacillo, la tierra y un conjunto de no azúcares presentes en el guarapo, que se somete a diversos procesos de alcalización, calentamiento, clarificación y filtrado, al menor costo y con el mínimo de pérdidas en azúcar.

Todos los elementos que conforman la estructura de dicha etapa deben trabajar de forma armónica, para así garantizar establemente el cumplimiento de los parámetros básicos de operación.

Actualmente la etapa de purificación en la industria azucarera se encuentra afectada, pues existen diversos parámetros que, en ocasiones, no cumplen con las normas de calidad requeridas; además, se conoce que el jugo proveniente del proceso de clarificación trae consigo muchas impurezas, debido a la presencia de un elevado contenido de sólidos totales no disueltos, que inciden en la calidad de los materiales en las posteriores etapas. Por tanto, mediante un análisis específico y detallado de los principales parámetros y variables que intervienen en los subprocesos de extracción, clarificación y filtración, se podrá evaluar dicha etapa y detectar las posibles causas que inciden en las afectaciones de esta área.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de los jugos que se procesan en la etapa de purificación. Métodos analíticos utilizados por la industria

Para poder caracterizar los jugos que se procesan en esta etapa se toman una secuencia de datos durante 28 días (del 4 al 31 de marzo), estos fueron obtenidos en el proceso y analizados en el laboratorio de la industria, las corridas se toman en diferentes horarios del día.

Los parámetros a determinar en el jugo son: Pol, Brix y pH. Estos valores se obtienen a partir de las sábanas de datos del laboratorio de la industria. Las técnicas analíticas empleadas para la obtención de estos parámetros se encuentran en el Manual de métodos analíticos para azúcar crudo (1).

Análisis estadístico de los resultados que se obtienen en las pruebas de laboratorio

Los resultados experimentales se caracterizan estadísticamente para determinar si existen diferencias significativas en los valores obtenidos de cada variable, con la utilización del el paquete estadístico Statgraphics Plus y, de esta manera, dar cumplimiento a lo planteado con anterioridad.

Entre los parámetros más importantes que caracterizan una muestra estadísticamente, se encuentran:

- Promedio o media aritmética (medida de tendencia central): Es el centro de masa del conjunto de los datos analizados.
- Desviación estándar (medida de dispersión): Raíz cuadrada de la varianza muestral.
- Coeficiente de variación (medida de dispersión): Mide la magnitud de la desviación estándar como un porcentaje de la media muestral.

La NC 92-21 establece las reglas para determinar los resultados anormales (dato grandemente desviado del grupo de resultados normales de las observaciones y que no pertenece a la distribución probabilística de esos resultados), de un conjunto de observaciones de una variable aleatoria continua, cuya distribución probabilística sea normal.

Proceder para el cálculo de balances de masa

Se realiza el balance de masa en la etapa de extracción y purificación para conocer el comportamiento de las diferentes variables de flujos que intervienen en esta parte del proceso. Se tiene en cuenta la data de valores correspondientes a los días ya antes mencionados. Se toma como base de cálculo una hora.

Balance de masa en el área de extracción de jugos

En esta área se desarrolla un balance de masa, con el objetivo de determinar el flujo de bagazo húmedo (BH) que sale del tándem de molinos, así como el flujo de jugo mezclado que ingresa al área de purificación.

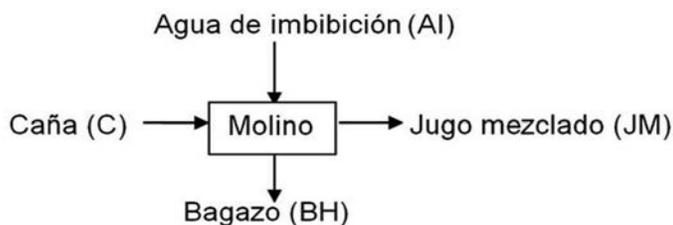


Figura 1. Diagrama del proceso de extracción de jugo.

Se parte de un balance de masa general correspondiente a esta etapa de extracción; posteriormente, se realiza un balance por componente, a partir de la fibra para determinar el flujo de bagazo que sale de los molinos, se desprecian las fibras de caña en el jugo mezclado y en el agua de imbibición. Tenemos como datos el flujo de caña y las fibras correspondientes a cada corriente.

- Ecuación general para el cálculo del jugo mezclado (JM):

$$CM + AI = JM + BH \quad \text{Ec. 1}$$

Siendo:

CM: flujo de caña molida (t/h)

AI: flujo de agua de imbibición (t/h)

BH: flujo de bagazo húmedo (t/h)

JM: flujo de jugo mezclado (t/h)

El flujo de agua de imbibición (AI), que se suministra, se determina como se muestra en la ecuación 2, en la que el porcentaje de agua de imbibición en caña (AI% C) y el flujo de caña molida (CM) son datos conocidos.

- Cálculo del flujo de agua de imbibición (AI)

$$AI = \frac{AI \% C}{100} \cdot t \cdot CM \quad \text{Ec. 2}$$

- Cálculo del bagazo húmedo, a partir del balance por componente con respecto a la fibra

$$CM \cdot f_{CM} = BH \cdot f_{BH} \quad \text{Ec. 3}$$

Siendo:

f_{CM} : fibra en caña molida (%)

f_{BH} : fibra en bagazo húmedo (%)

- Si se despeja el bagazo húmedo (BH) de la ecuación (3), se tiene que:

$$BH = \frac{CM \cdot f_{CM}}{f_{BH}} \quad \text{Ec. 4}$$

Mediante la ecuación (1) del balance de masa general, se despeja el flujo de jugo mezclado, ya que las demás corrientes son conocidas, a partir de los cálculos realizados anteriormente y los datos conocidos.

$$JM = (CM + AI) - BH \quad \text{Ec. 5}$$

- Cálculo del porcentaje de extracción de Pol en jugo mezclado

$$\% \text{ Extracción de Pol} = \frac{Pol_{JM} \cdot JM}{Pol_{CM} \cdot CM} \cdot 100 \quad \text{Ec. 6}$$

- Para conocer el porcentaje de extracción de jugo mezclado se acude a la ecuación

$$\% \text{ Extracción de JM} = \frac{JM}{CM} \cdot 100 \quad \text{Ec. 7}$$

Es de suma importancia tener conocimiento de las pérdidas en la etapa de molienda pues, a partir de estas, se sabe cuánta sacarosa se está desaprovechando en el proceso.

- Porcentaje de pérdidas de sacarosa en el bagazo

$$\% \text{ Pérdidas Pol} = \frac{BH \cdot Pol_{BH}}{CM \cdot Pol_{CM}} \cdot 100 \quad \text{Ec. 8}$$

Balance de masa en el área de purificación

Para la etapa de purificación se realiza el balance de masa, a partir del esquema:

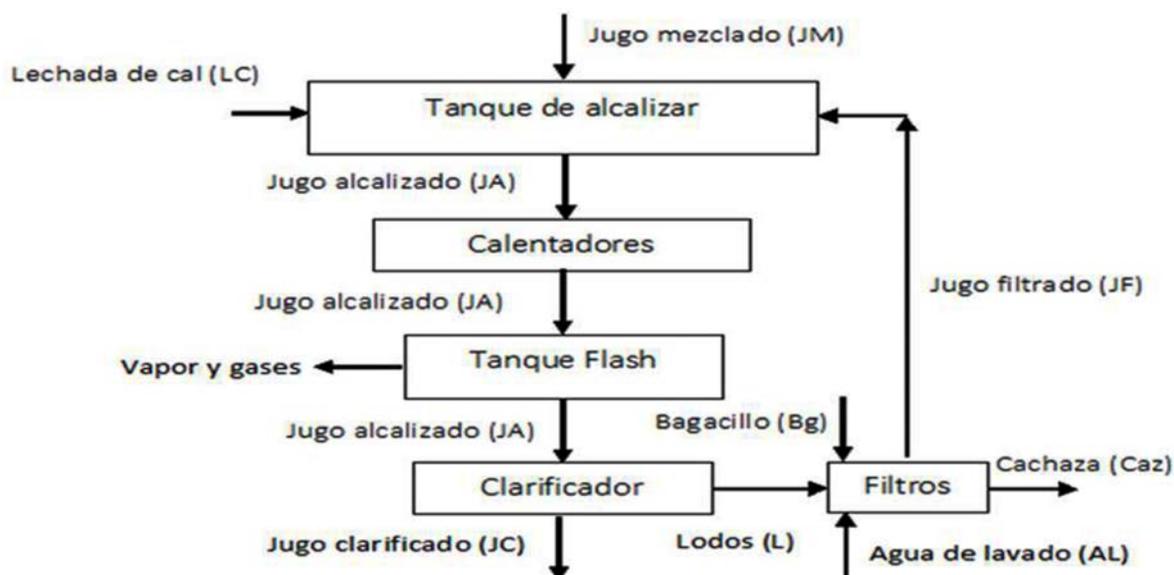


Figura 2. Diagrama de la etapa de purificación.

Balance de masa en el tanque de alcalizar

Se procede a realizar el balance de masa en el tanque de alcalizar para conocer los flujos de entrada y de salida en este equipo.

- Cálculo del flujo de jugo filtrado (Jf), a partir de la ecuación (9). Se conoce que el jugo que sale de los filtros representa el 15 % de la caña molida.

$$Jf = \frac{15\%}{100} \cdot CM \quad \text{Ec. 9}$$

- Al tener el jugo filtrado y al conocer la cantidad de lechada de cal que se introduce al proceso por toneladas de caña, se determina cuánto se obtiene de jugo alcalizado (Ja), a partir de la ecuación:

$$Ja = JM + Jf + Lc \quad \text{Ec. 10}$$

Siendo:

(CM): caña molida (t/h)

(Jf): flujo de jugo filtrado (t/h)

(JM): flujo de jugo mezclado (t/h)

(Lc): flujo de la lechada de cal (t/h)

(Ja): flujo de jugo alcalizado (t/h)

Balance de masa en el clarificador

Con el objetivo de conocer la cantidad de jugo clarificado que se obtiene en el proceso se desarrolla un balance de masa general, en la ecuación 11 se presenta la determinación de esta variable.

$$Ja = Jc + Fl \quad \text{Ec. 11}$$

- Se considera que el flujo de lodos (que se obtiene en un proceso azucarero, mediante la clarificación del jugo, representa el 25 % de la caña molida que entra.

$$Fl = \frac{25}{100} \cdot CM \quad \text{Ec. 12}$$

- Al despejar el flujo de jugo clarificado () en la ecuación 11, se tiene que:

$$Jc = Ja - Fl \quad \text{Ec. 13}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis estadístico correspondiente al jugo mezclado

En la tabla 1 se muestran diferentes parámetros estadísticos como: media, desviación estándar y coeficientes de variación, necesarios para conocer si los datos obtenidos del proceso se encuentran en el rango establecido por las normas.

Tabla 1. Resultados estadísticos obtenidos a partir del jugo mezclado

| Variables | Media | Desviación estándar | Coefficiente de variación (%) |
|--|-------|---------------------|-------------------------------|
| Concentración de sólidos solubles (Bx) | 14.03 | 0.35 | 2.55 |
| Contenido de sacarosa (Pol) | 11.90 | 0.37 | 3.14 |
| pH | 5.15 | 0.12 | 2.41 |

Como se observa en la tabla anterior, los parámetros estudiados presentan una desviación estándar baja, lo cual indica que los datos presentan poca dispersión. Los coeficientes de variación oscilan entre el 2 y 4 %, estos valores son adecuados y dan a conocer que están en un rango estadístico permisible.

Análisis estadístico correspondiente al jugo clarificado

Tabla 2. Resultados estadísticos obtenidos a partir del jugo clarificado

| Variables | Media | Desviación estándar | Coefficiente de variación (%) |
|--|-------|---------------------|-------------------------------|
| Concentración de solidos solubles (Bx) | 14.06 | 0.38 | 2.73 |
| Pol | 11.98 | 0.37 | 3.08 |
| pH | 6.90 | 0.08 | 1.16 |

En la tabla 2 se muestra que todos los parámetros presentan una desviación estándar baja, lo cual indica que los datos presentan poca dispersión entre ellos. Los coeficientes de variación oscilan entre el 1 y 4 %, valores permisibles por el rango estadístico establecido.

Análisis estadístico correspondiente al jugo que sale de los filtros

Tabla 3. Resultados estadísticos obtenidos a partir del jugo que sale de los filtros

| Variables | Media | Desviación estándar | Coefficiente de variación (%) |
|--|-------|---------------------|-------------------------------|
| Concentración de solidos solubles (Bx) | 11.52 | 0.22 | 1.97 |
| Pol | 9.41 | 0.21 | 2.24 |

En la tabla 3 se muestra que todos los parámetros presentan una desviación estándar baja, lo que indica que los datos presentan poca dispersión. Los coeficientes de variación oscilan entre el 1 y 3 %, estos valores son adecuados y dan a conocer que están en un rango estadístico permisible.

Análisis de los parámetros del azúcar crudo

Se realiza el análisis estadístico al azúcar crudo (tabla 4) para ver como repercuten los parámetros anteriores en la calidad del producto final, los indicadores analizados son: Pol, reductores y color.

Tabla 4. Análisis estadístico correspondiente al azúcar crudo

| Variables | Media | Desviación estándar | Coefficiente de variación (%) |
|----------------|-------|---------------------|-------------------------------|
| Pol (%) | 99.21 | 0.013 | 0.014 |
| Reductores (%) | 0.20 | 0.014 | 7.07 |
| Color (UCH) | 9.58 | 0.95 | 10.01 |

Como se aprecia, se obtiene una desviación estándar baja. Los coeficientes de variación del porcentaje de reductores y del color en el azúcar crudo se encuentran algo elevados, aunque no so-

brepanan el 12 %, condición máxima que se debe cumplir para que exista un buen comportamiento de este parámetro.

Análisis de los resultados obtenidos en los balances de masa

A partir de la metodología de cálculo ya mencionada anteriormente fue posible conocer las diferentes variables y los flujos que participan en la etapa de extracción y purificación.

Etapa de extracción

En la tabla 5 se muestran los diferentes flujos y parámetros de eficiencia que intervienen en la etapa de extracción.

Tabla 5. Resultados de los balances de masa en el área de extracción

| Parámetros calculados | Valor |
|--|--------|
| Caña molida (t/h) | 131.82 |
| Bagazo húmedo (t/h) | 42.24 |
| % Agua de imbibición (%) | 26.27 |
| Agua de imbibición (t/h) | 34.69 |
| Agua de imbibición % fibra en bagazo (%) | 169.74 |
| Jugo mezclado (t/h) | 124.27 |
| (%) Extracción del jugo mezclado | 94.27 |
| (%) Pérdida de Pol en bagazo | 5 |
| (%) Pol en bagazo | 1.92 |
| (%) Extracción de Pol | 91.35 |

Según Pedrosa (2), el porcentaje de agua de imbibición está dentro del rango permisible por la norma, la cual admite valores entre el 25 y 30 %, es importante conocer que un elevado porcentaje de esta variable provoca una mayor incorporación de agua al proceso, que demanda un mayor consumo de vapor en la etapa de evaporación, lo que podría provocar un desbalance energético de la industria.

El porcentaje de extracción del jugo mezclado, que se logra durante esta etapa de estudio, es del 94.3 %, valor que se acerca al 95 % que establece la norma, esto indica que se está aprovechando la cantidad de jugo requerida para que se obtenga una mejor eficiencia en el proceso.

Se cuenta con un 15.54 % de fibra en caña, el Manual de operaciones para la fabricación de azúcar crudo (3) establece que el rango en que debe estar este parámetro es entre el 11 y 16 %, lo que demuestra que se cumple, de manera aceptada, con las normas de calidad. Se plantea que un incumplimiento de estos valores de fibra en caña puede provocar afectaciones en la extracción del jugo mezclado, cuestión que no se presenta en estos resultados, debido a buenas presiones en el tándem de molinos.

El valor promedio de Pol en el bagazo húmedo (1.92 %) cumple con lo normado en la industria, esto demuestra el buen comportamiento de otros parámetros que se exigen en esta área para disminuir al mínimo las pérdidas de sacarosa por este concepto.

El promedio de Pol en el jugo mezclado es de 11.90 %. Hugot (4), refiere valores normales de Pol por encima de este porcentaje; por lo tanto, el valor obtenido está por debajo de lo establecido en el Manual para ingenieros azucareros, esto puede estar dado, fundamentalmente, por la calidad y el grado de maduración de la caña.

Se obtuvo una concentración de sólidos solubles de 14.02 °Bx en el jugo mezclado, que incumple ligeramente con la norma del central (14.5 – 15.5 °Bx). Hugot (4) plantea que este debe encontrarse

entre 14 y 15 °Bx y el Manual de operaciones para la fabricación de azúcar crudo (3) establece que este parámetro debe estar entre 14 y 20 °Bx; por tanto, se puede decir que este parámetro cumple, generalmente, con las normas citadas.

Una disminución del Brix en el jugo mezclado puede estar provocada por un exceso de agua de imbibición. Resultados superiores a 15 °Bx afectaría el proceso de clarificación, pues aumentaría el contenido de insolubles en el jugo clarificado y las pérdidas de sacarosa en la posterior etapa de filtración.

Morales (5), plantea que el pH en el jugo mezclado presenta un carácter ácido (aproximado a 5.2) y el Manual de operaciones para la fabricación de azúcar crudo (3) establece que este parámetro debe estar en el rango entre 5.0 y 5.6; el que se obtiene como media en los días analizados es de 5.2, valor que se encuentra en norma, según la bibliografía citada.

Según Jenkins (6) y Morrel (7), si el pH es ácido favorece que pueda ocurrir la inversión de la sacarosa, fenómeno no deseado en el proceso, por lo que es necesaria su neutralización, para ello se debe elevar su pH con la adición de hidróxido de calcio hasta, aproximadamente, siete. A valores elevados de pH puede ocurrir la destrucción de los azúcares reductores y producirse un efecto negativo en el color y la viscosidad del jugo.

El porcentaje de extracción de Pol que se logra es del 91.35 %, Morrell (7) plantea que este valor debe encontrarse entre un 90 y 95 %, lo que corrobora el buen comportamiento de este parámetro y el buen funcionamiento de la estación de molienda. Esto permite asegurar que las presiones en los molinos y la cantidad de agua de imbibición que se incorpora al proceso son adecuadas. Hugot (4) plantea que la extracción de Pol también depende, en gran medida, de la fibra en caña, cuanto más elevada es esta, más probabilidad existe de que aumenten las pérdidas de azúcar en el bagazo.

Tabla 6. Resultados de los balances de masa en el área de purificación

| Balance en el tanque de alcalizar | Valor |
|--|--------------|
| Jugo filtrado (t/h) | 22.41 |
| Jugo alcalizado (t/h) | 146.77 |
| Lechada de cal (t/h) | 0.092 |
| Balance en el clarificador | Valor |
| Jugo clarificado (t/h) | 113.81 |
| Lodos (t/h) | 32.96 |

Como resultado del análisis que se realiza se obtiene un valor de Brix en el jugo clarificado de 14.06 °Bx, según el Manual de operaciones para la fabricación de azúcar crudo (3), el rango en que debe estar este valor es entre 14 y 18 °Bx, por lo que se afirma que el parámetro analizado presenta un buen comportamiento, lo que contribuye a una mejor eficiencia en la remoción de las impurezas.

El Manual de operaciones para la fabricación de azúcar crudo (3) indica que el jugo clarificado debe presentar un pH dentro del rango entre 6.5 y 7.1, el resultado promedio obtenido de pH fue de 6.9, que cumple con lo establecido por la norma, este valor permite que se evite la inversión de la sacarosa y la descomposición de los reductores, que puedan producir un color indeseable.

Díaz (8) plantea que la cantidad de sólidos solubles en el jugo filtrado debe ser de 12 °Bx, el valor obtenido es de (11.52 °Bx), que se encuentra ligeramente por debajo de lo establecido. Un aumento o disminución de este parámetro está en dependencia de la cantidad de agua de lavado que se emplee en el filtro; cuanto menor sea la cantidad de agua, mayor será el Brix obtenido y viceversa. Es importante que el volumen de agua utilizado sea capaz de garantizar las menores pérdidas de sacarosa en la cachaza y no provoque una demanda mayor de vapor para evaporarla, cuando se reprocese este jugo.

El Pol en la torta de cachaza se reduce mediante la aplicación de agua de lavado y bagacillo sobre la superficie de los filtros. En este estudio se obtiene una media de Pol en cachaza de 2.41 %, que incumple con lo que exige la norma de la industria (2.30 %), esto implica que se produzcan pérdidas de sacarosa por este concepto.

El bajo agotamiento de la torta de cachaza puede estar provocado por la mala aplicación del agua de lavado a la torta, debido a que numerosos atomizadores de agua se encuentren tupidos y a que las presiones de alto y bajo vacíos no se registren, y no se tenga la seguridad de que estén funcionando correctamente, esto se corrobora al apreciarse que el tambor del filtro no viste uniformemente la capa de material sólido.

La cantidad de agua aplicada está típicamente en el rango entre 1 y 2 kg/kg torta, o entre 6.5 y 13 kg agua de lavado/kg de sólidos de lodo en la cachaza, esta cantidad total de agua utilizada representa alrededor de una cuarta parte del flujo de agua de imbibición usado en la estación de molinos (9).

CONCLUSIONES

1. El procedimiento de análisis permitió evaluar la etapa de purificación en la producción de azúcar crudo en la EA Jesús Sablón Moreno.
2. Se muestra que durante la etapa de análisis, los parámetros estudiados en los jugos: mezclado, clarificado y filtrado, y en el azúcar crudo presentan una desviación estándar baja, lo cual indica que los datos presentan poca dispersión o no difieren en gran medida.
3. Los coeficientes de variación de estas variables se consideran buenos, pues ninguno sobrepasa el 12 %, valor estadístico máximo permisible.
4. Generalmente, los parámetros analizados presentan un buen comportamiento, pues se encuentran dentro del rango establecido por las normas, excepto las pérdidas en cachaza que se incumplen por los criterios ya antes mencionados.
5. Los resultados que se obtienen en los balances de masa son lógicos y útiles para el análisis del proceso industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Manual de Métodos Analíticos para Azúcar Crudo. Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras. Noviembre 2006. Pág. 208.
2. Pedrosa Puertas, R. Fabricación de Azúcar Crudo. Editorial Pueblo y Educación, 1983.
3. Manual de operaciones para la fabricación de azúcar crudo. Operación del área de purificación de jugos. Capítulos 1 y 5. Cuba, 2005.
4. Hugot, E. Manual para ingenieros azucareros. Tomos I y II, 1986.
5. Morales, Y. *et al.* Estudio preliminar de la influencia del desvío del jugo secundario en la etapa de clarificación de la empresa Mielera Siboney. RTQ vol. 32 no. 2 Santiago de Cuba, 2012.
6. Jenkins, G. Introducción a la Tecnología del Azúcar de Caña. Ediciones de Ciencia y Técnica. La Habana, 1971.
7. Morrell, I. Tecnología Azucarera. Edición Pueblo y Educación, 1985.
8. Díaz, S. Comportamiento de los azúcares reductores en el proceso de obtención de azúcar crudo. Su influencia en el agotamiento de la miel final. Tesis de Maestría, 1999.
9. Wright, P. Consultor Principal, PGW ProSuTech, Australia. Capítulo 10. Clarificación, 2005.