

Volumen 2, No. 1, 2008

## Disminución de Pérdidas de Sacarosa en la Elaboración de Meladura en un Ingenio Azucarero

M. C. Fernando Ortiz Flores  
[ferchilo@prodigy.net.mx](mailto:ferchilo@prodigy.net.mx)

*Instituto Tecnológico de Orizaba  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Orizaba, Veracruz, México*

Ing. Lucila Guadalupe Tobón Galicia  
[ltobon19@hotmail.com](mailto:ltobon19@hotmail.com)

M.C Ana María Alvarado Lassmann  
[lassmann@prodigy.net.mx](mailto:lassmann@prodigy.net.mx)

M. C. Raúl Torres Osorio  
[raultorresosorio@yahoo.com](mailto:raultorresosorio@yahoo.com)

Dr. Oscar Báez Sentíes  
[obaez70@yahoo.com.mx](mailto:obaez70@yahoo.com.mx)

### Resumen

En el presente se proporciona en primera instancia un panorama general de la importancia que tiene la caña de azúcar dentro del proceso de obtención de sacarosa en los ingenios azucareros y se describen las etapas principales del proceso de obtención de azúcar. Posteriormente, se describen en forma breve cuatro herramientas estadísticas, la importancia de tomar datos correctamente y la forma de desarrollar planes de acción. Finalmente, se muestra cómo se controlaron dos variables: una el proceso extracción y la otra en el de clarificación para evitar de pérdidas de sacarosa en el proceso de elaboración de meladura de un ingenio azucarero<sup>1</sup>, particularmente en el subproducto denominado bagazo y cachaza, mediante la utilización de las cuatro herramientas estadísticas, previamente descritas, a partir de datos<sup>2</sup> de todo un mes proporcionados por el área de control de calidad. Asimismo, se muestra el análisis de los resultados obtenidos por estas herramientas estadísticas, los planes de acción desarrollados para controlar la pérdida de sacarosa y los resultados de la implementación de algunas de las acciones del plan de acción propuesto.

**Palabras clave:** Ingenio azucarero, Sacarosa, Herramientas estadísticas.

### Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa; compuesto que al ser extraído y cristalizado en un ingenio azucarero forma el azúcar.

La caña de azúcar ha sido, sin lugar a dudas, uno de los productos de mayor importancia para el desarrollo comercial en el mundo. Los principales países productores de azúcar son Brasil, La

<sup>1</sup> Por instrucciones de la administración del ingenio, no se proporciona el nombre

<sup>2</sup> Los datos están ajustados por un factor por fines de confidencialidad.

India, Estados Unidos, China, México, Tailandia, Australia, Cuba y Pakistán; estos países concentran el 70 por ciento de la producción mundial (Hernández, 2008).

La evolución del proceso de obtención de azúcar, desde el punto de vista tecnológico, es de suma importancia para la eficiente extracción de la sacarosa. Sin embargo, en México, como en muchos otros países que cuentan con una amplia gama de industrias azucareras, se lucha día a día por tener una mejor tecnología en los procesos debido a que muchos de los ingenios utilizan la molienda convencional. Esta situación origina, por consiguiente, una baja productividad de sus procesos.

Por otro lado, en la época de este artículo, existía una feroz competencia internacional, derivada de la entrada de los tratados de libre comercio. Esta competencia ofrecía un precio por tonelada de azúcar a un precio menor al asignado por la industria azucarera en la República Mexicana.

Esta situación y la baja productividad de los procesos habían provocado que los empresarios de la industria azucarera atravesaran una fuerte crisis económica. Desafortunadamente, muy pocos empresarios parecían haberse preparado para enfrentar la competencia mundial.

Enríquez (2008) mencionó que era evidente que el ingenio azucarero que resistiese esta fase conocida como “la peor de las crisis económicas de la industria azucarera en la historia de México” sería aquel que buscara alternativas que le brindaran ventajas sobre sus competidores, específicamente, calidad en el producto y el servicio, respuesta a los tiempos de entrega y demanda del azúcar y, principalmente, producir a un costo más bajo.

Para lograr bajos costos de producción, se habían tomado diferentes estrategias en cada área de la organización, enfocadas principalmente a la disminución de los gastos de operación. Sin embargo, para los administradores era evidente que la existencia de grandes pérdidas de materiales derivados como subproductos de la caña de azúcar durante el proceso de elaboración -el bagazo, la cachaza y la miel final--, podrían ser aprovechadas para incrementar la producción de azúcar del ingenio, obteniendo con ello más producto a un mismo costo.

Para efectos del presente artículo se analizaron únicamente las variables de porcentaje de sacarosa en bagazo y porcentaje de sacarosa en cachaza. Esto fue debido a que el ingenio en el cual se aplicaron las herramientas estadísticas tiene un proceso que concluye en la elaboración de meladura: jugo de la caña sin agua. Cabe mencionar que las últimas etapas del proceso de obtención de azúcar (cristalización, secado y envasado) se llevan a cabo en otro Ingenio perteneciente al mismo grupo industrial.

## **Proceso de elaboración de azúcar**

Una breve descripción del proceso para la elaboración de azúcar de caña se proporciona en la figura 1. A continuación se describen las etapas de este elaborado proceso.

### Recepción y preparación de la caña

La caña de azúcar, que se transporta desde el lugar de corte hasta la entrada del ingenio por medio de diversos vehículos como carretas, jaulas, camiones de 8 a 16 toneladas y tráileres de hasta 30 toneladas es pesada en una báscula electrónica que registra el peso y proporciona un ticket al transportista para que éste lleve su vehículo cargado al patio o batey.

Una vez que el vehículo cargado está en el patio, el jefe de patio toma la decisión de almacenar la carga (caña de azúcar) por medio de grúas, o alimentarla directamente con volteadores mecánicos o hidráulicos a una mesa alimentadora. Posteriormente el operador de la mesa alimentadora se encarga de mantener una alimentación uniforme a un conductor de caña. La caña que viaja sobre el conductor debe pasar por un juego de niveladores y dos juegos de

cuchillas y posteriormente a una desfibradora. El proceso desde el conductor de caña a la desfibradora se conoce como preparación de la caña.

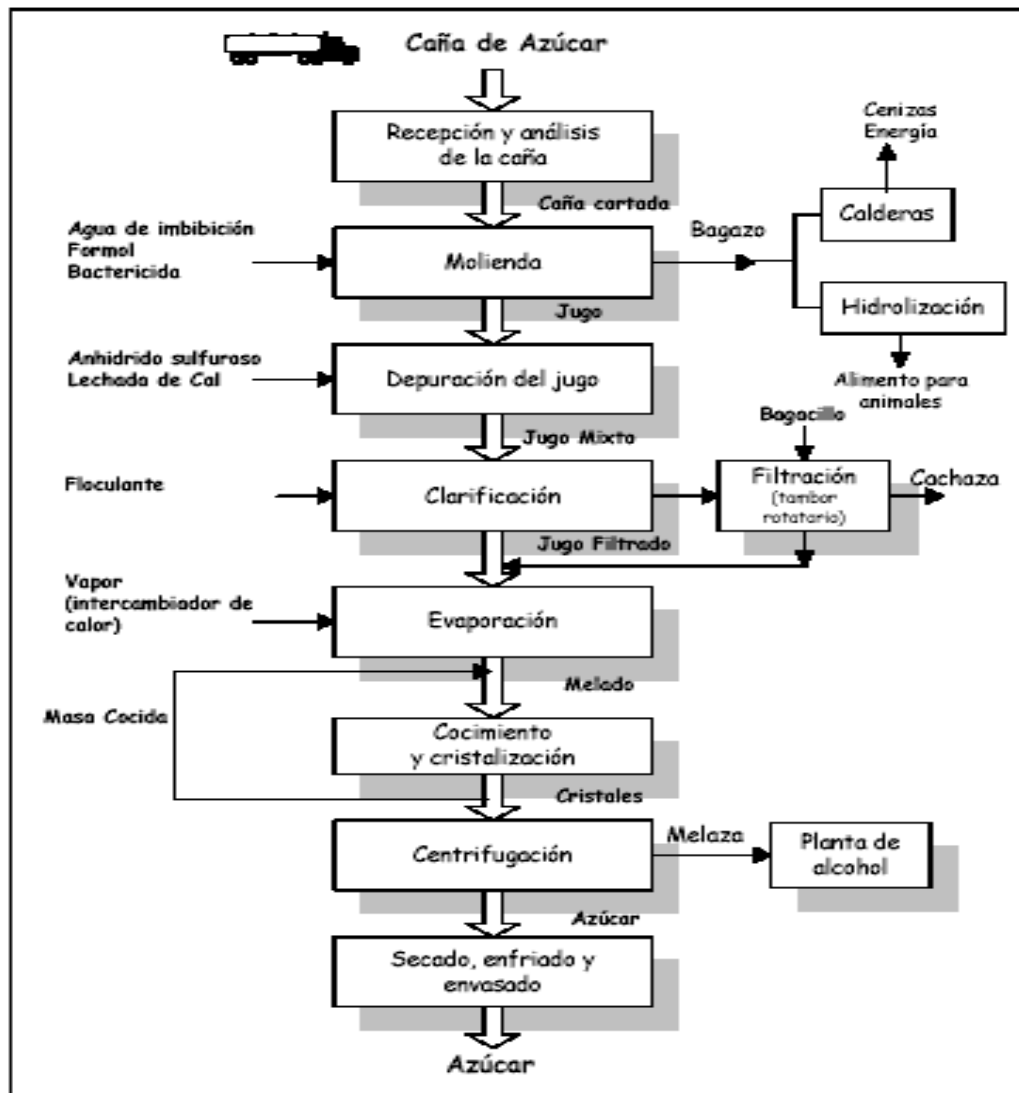


Figura 1. Diagrama del proceso de elaboración de azúcar.

### Molienda

El proceso de molienda tiene la finalidad de extraer el jugo a la caña de azúcar mediante un tándem de molinos, que para el caso del ingenio bajo estudio, consiste de cuatro molinos. Del primer y segundo molino se obtiene jugo mezclado, el cual es trasladado a fábrica (departamento de elaboración) para continuar con el proceso de depuración y clarificación; de los molinos restantes, el jugo es utilizado para la maceración. La fibra resultante del último molino se le da el nombre de bagazo.

La caña preparada primeramente se transporta al primer molino para dar inicio al proceso de extracción de jugo; posteriormente se traslada a un conductor intermedio en el que se aplica jugo de caña proveniente del tercer molino. A este proceso se le llama maceración, y tiene por objeto diluir el azúcar que contiene la caña.

La caña que sale del primer molino entra al segundo molino, en el que vuelve a ser sometida a compresión para extraer el jugo. Posteriormente se manda a otro conductor intermedio donde

nuevamente se le aplica el proceso de maceración para proseguir con su ingreso al tercer molino y continuar la extracción.

La caña del tercer molino se transporta mediante un conductor intermedio al cuarto molino, donde antes de su ingreso se le agrega agua caliente con el mismo fin de la maceración; al proceso anterior se le conoce como imbibición y es realizado normalmente en el último molino.

#### Depuración y clarificación

El jugo mezclado bombeado de los molinos 1 y 2 es pesado para su control por medio de básculas electrónicas; posteriormente se bombea a un sistema de alcalizado. Éste consiste en adicionar al jugo cal en forma de lechada. Así se obtiene el jugo alcalizado, el cual se conduce al sistema de calentadores, donde deberá alcanzar una temperatura hasta de 105°C a la salida de los calentadores. El jugo caliente es trasladado a un tanque denominado flash para eliminar el vapor que se forma por auto-*flasheo*, así como para disminuir la velocidad del jugo para su próxima entrada al clarificador.

La clarificación, que tiene por objeto obtener jugo claro mediante la eliminación de impurezas del jugo mezclado, se lleva a cabo mediante una reacción química de alta temperatura, entre el jugo mezclado, el carbonato de calcio que se añadió en forma de lechada y la dosificación de floculante. Este último es un químico que ayuda a la separación de lodos del jugo.

Las impurezas que se decantan, a las que se denomina cachaza, son extraídas por medio de bombas, y enviadas al sistema de filtración de tambores rotativos. El jugo recuperado se retorna al sistema de alcalizado.

#### Evaporación

El jugo claro, procedente del clarificador, se evapora para eliminar gran parte del agua contenida en él, obteniendo con ello una solución azucarada más espesa denominada meladura: ésta está formada de sacarosa cristalizable (azúcar) y no cristalizable (mieles). La evaporación se lleva a cabo en aparatos denominados evaporadores que trabajan con presión y vacío de simple efecto.

#### Cristalización

La meladura que se obtiene de evaporación termina de evaporarse en los tachos, dispositivos que funcionan con vacío de simple efecto. Estos dispositivos, por medio de la técnica del ensemillamiento, permiten obtener una templa: masa cocida formada por cristales y miel, de una manera acelerada. A la operación anterior se le denomina cristalización.

Existen templeas de diferente calidad y pureza. Las templeas de menor pureza (templa de "C"), se envían a unos cristalizadores. Ahí se dejan enfriar y permanecen un tiempo, con el propósito de que se deposite en los cristales ya formados, la sacarosa que todavía contienen las mieles.

#### Centrifugación

Después de reposar en el cristalizador las templeas, éstas se calientan ligeramente, y se envían a un área de centrifugas, donde se obtiene, por un lado, cristales de azúcar de "C", y por otro, un material incristalizable denominado miel final.

El azúcar de "C", se mezcla en un gusano con otras soluciones azucaradas, para formar una mezcla (o magma) que se envía a depósitos denominados semilleros. Esta mezcla, que contiene sacarosa en forma de cristales muy pequeños, sirve como "pie" de templa o base para otras de mayor pureza (templa de "B" o templa de "A"), con la finalidad de que estos cristales pequeños, adquieren un tamaño apropiado.

Las templeas de mayor pureza, a la salida de los tachos, generalmente se envían directamente a las centrifugas, donde se separan los cristales de las mieles. Estas mieles se envían a diferentes tanques situados en el área de tachos.

### Secado, enfriado y envasado

Los cristales de azúcar, obtenidos en centrifugación, se envían a un secador de azúcar, o a un almacén, dependiendo el tipo de azúcar a producir. Los azúcares que pasan por el secador, se pesan después en básculas automáticas, se envasan en sacos y se estiban en un almacén.

### **Toma correcta de datos**

En el control de calidad es muy importante tener un enfoque estadístico y con base en hechos emitir criterios y tomar acciones. Los datos, que son un lenguaje común y entendible para la mayoría de las personas, permiten basarse en ellos para emitir juicios y tomar acciones preventivas o correctivas. Por esta razón, es esencial definir claramente el objetivo de la toma de datos. Asimismo, es elemental aclarar bien las condiciones que prevalecen en el momento que se toman dichos datos, es decir, ¿cuándo?, ¿dónde?, ¿quién?, y ¿cómo? se tomaran los datos con el fin de facilitar posteriormente las comparaciones con otros datos y el análisis de los mismos.

### **Herramientas estadísticas**

Las herramientas estadísticas son un conjunto de técnicas que ayudan en la detección de problemas con la finalidad de mejorar el proceso de toma de decisiones con base en la organización de datos numéricos o de información, previamente obtenida. Algunas de las herramientas estadísticas utilizadas para la disminución de pérdidas de sacarosa fueron el histograma, las gráficas de control, el diagrama de Pareto y el diagrama causa-efecto.

### **Plan de acción**

El plan de acción es una herramienta que permite a los equipos llevar el control del estado de un proyecto y enfocarse en la ejecución de las actividades. El plan de acción se debe seguir rutinariamente: semanal, mensual, trimestral o semestralmente, según sea el caso; y con compromiso hasta que se ejecute o se resuelva el proyecto o asunto (Boggan, 1995).

La evaluación del desempeño de la solución implementada es una parte vital de cualquier plan. El equipo debe determinar si el plan propuesto está produciendo los resultados deseados o si está generando cualquier efecto secundario indeseable. Los equipos pueden hacer cualquier ajuste al plan que sea necesario para lograr resultados exitosos.

### **Metodología utilizada para la disminución de pérdida de sacarosa**

Se han descrito brevemente los conceptos acerca de la toma de datos, plan de acción y las cuatro herramientas estadísticas usadas en este estudio. Se procede ahora a describir en orden cronológico las fases utilizadas para lograr una disminución de la pérdida de sacarosa en el proceso de elaboración de meladura en un ingenio azucarero.

### **Primera fase: Capacitación**

Con la finalidad de garantizar que la muestra de datos a utilizar para el análisis de pérdidas de sacarosa, fuera obtenida de la forma correcta, se realizó lo siguiente:

- a. Se les encomendó a unos muestreros (personal sindicalizado) la labor de recopilar muestras del subproducto cachaza, para que posteriormente se determinara el porcentaje de sacarosa en cachaza.
- b. Se le encomendó a un químico analista (personal de confianza) la labor de recopilar muestras del subproducto bagazo, para que posteriormente se determinara el porcentaje de sacarosa en bagazo.
- c. Se dio seguimiento, durante los tres turnos, a la forma en que tomaba las muestras el personal de cada turno. Las observaciones mostraron inconsistencias relacionadas con la forma de tomar la muestra: no se realizaba la toma de la muestra en el punto exacto, la cantidad muestreada no era la misma en los tres casos y la forma de obtención de la muestra no era la indicada
- d. Se capacitó al personal, debido a las inconsistencias encontradas, con la finalidad de estandarizar las actividades de muestreo en los tres turnos y principalmente para que

fuera realizado de la manera señalada por las técnicas de muestreo establecidas por el departamento de control de calidad.

- e. Se dio seguimiento a la capacitación. Para asegurar que fuera comprendida se acudió a los diferentes puntos de muestreo con el fin de indicar, al muestrero y a la química analista, la manera correcta de obtención de la muestra. Esta práctica de muestreo se realizó en diversas ocasiones hasta asegurar que la técnica se aplicara correctamente.

Posteriormente, con la certeza de que las muestras obtenidas eran validas, se procedió a verificar que las técnicas de análisis efectuadas, para la obtención del porcentaje de sacarosa en bagazo y porcentaje de sacarosa en cachaza, fueran desarrolladas de acuerdo a las técnicas establecidas por el área de control de calidad se observaron en los tres turnos a las diferentes químicas analistas. Esta observación mostró que no había diferencias entre la técnica establecida y la aplicada.

### **Segunda fase: Obtención de datos**

En la fase de obtención de datos fue necesario definir los siguientes criterios:

- a. La frecuencia de muestreo a utilizar para la elaboración de histogramas y de gráficas de control.
- b. El número de datos ( $n$ ) a utilizar en la elaboración de histogramas; el número recomendado está entre el 10 por ciento y 20 por ciento de la población de datos.
- c. El número de datos que deberá contener cada muestra, para la elaboración de las gráficas de control  $X-R$ ; el mínimo recomendable es de 5 datos por muestra.

Considerando los criterios anteriores, se especificaron los datos siguientes para cada una de las variables analizadas.

- Para el histograma de la variable de porcentaje de sacarosa en bagazo se definió que:
  - a. La frecuencia de muestreo fuera de una vez cada hora durante un mes (30 días), siempre y cuando la molienda fuera constante, puesto que si existían paros en el proceso no era posible realizar el muestreo. Esta frecuencia, al proporcionar 24 muestras diarias, da una población mensual de 720 muestras.
  - b. Considerando una muestra aleatoria del 18 por ciento de la población, se obtuvieron los 130 datos que se muestran en la tabla 1.
- Para la gráfica de control  $X-R$  de la variable de porcentaje de sacarosa en bagazo se definió que:
  - a. La frecuencia de muestreo fuera de 4 veces por turno durante un mes (30 días), siempre y cuando el proceso permaneciera continuo, por lo tanto, se obtienen 4 datos por turno, 12 al día o 360 datos al mes.
  - b. El número de datos que deberá contener cada muestra fue 8. De esta forma,  $360/8$  proporciona las 45 muestras de la tabla 2.
- Para el histograma de la variable de porcentaje de sacarosa en cachaza, primeramente se considera que existen tres tambores rotativos, conocidos comúnmente como filtros de cachaza, mismos que se alternan durante el periodo de molienda. Normalmente en el proceso trabajan dos filtros y uno queda fuera de servicio para proporcionar el mantenimiento correspondiente, por lo tanto, los datos se obtuvieron de la siguiente manera:
  - a. La frecuencia de muestreo fue de una vez cada dos horas, tomando datos de los dos filtros en operación durante un mes (30 días), siempre y cuando la molienda fuera constante, puesto que si existían paros en el proceso no era posible realizar el muestreo. Esta frecuencia proporciona 4 análisis por turno, 12 por día, por 2 filtros en operación se tiene un total de 24 datos diarios, que multiplicados por 30 días del mes, hacen que la población sea de 720 datos.
  - b. Considerando una muestra aleatoria del 18 por ciento de la población, se obtuvieron los 130 datos que muestra la tabla 3.

Tabla 1. Porcentaje de Sacarosa en Bagazo para la elaboración del histograma.

Porcentaje Sacarosa en Bagazo												
4.57	4.16	3.92	3.69	3.42	3.28	3.20	3.12	3.06	3.03	2.95	2.85	2.80
4.45	4.12	3.92	3.65	3.40	3.28	3.20	3.11	3.06	3.02	2.94	2.83	2.79
4.44	4.08	3.91	3.61	3.39	3.28	3.20	3.11	3.06	3.02	2.94	2.83	2.78
4.41	4.05	3.88	3.59	3.38	3.28	3.18	3.10	3.05	3.02	2.92	2.83	2.73
4.32	4.05	3.87	3.51	3.35	3.28	3.18	3.09	3.05	2.99	2.91	2.82	2.71
4.30	4.05	3.86	3.50	3.32	3.28	3.18	3.09	3.05	2.99	2.91	2.82	2.70
4.23	4.04	3.82	3.49	3.30	3.27	3.18	3.09	3.04	2.98	2.90	2.81	2.70
4.22	4.02	3.80	3.45	3.29	3.25	3.17	3.08	3.04	2.98	2.90	2.80	2.69
4.20	3.97	3.80	3.45	3.29	3.23	3.15	3.08	3.03	2.97	2.87	2.80	2.60
4.20	3.97	3.70	3.42	3.29	3.20	3.14	3.07	3.03	2.96	2.85	2.80	2.40

Tabla 2. Porcentaje de sacarosa en bagazo para elaboración de gráficas X-R.

Porcentaje de sacarosa en bagazo																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
4.4	4.6	5.7	5.1	4.9	5.5	4.1	3.5	3.4	3.5	3.7	3.4	4.2	4.9	5.3	4.8	3.3	4.9	3.5
4.4	4.2	4.9	4.0	3.8	4.0	3.8	3.1	3.3	3.1	3.4	3.3	3.4	4.5	4.8	4.1	3.0	4.7	3.4
4.1	4.0	4.8	4.0	3.4	4.0	3.4	3.0	3.0	2.6	3.0	3.0	3.4	4.2	4.5	4.0	3.0	4.7	3.1
3.7	3.3	4.4	3.7	3.4	3.3	3.1	2.8	3.0	2.4	2.8	2.8	3.1	3.8	4.4	3.8	3.0	4.0	3.1
3.3	3.1	4.1	3.5	3.3	3.3	3.0	2.8	2.7	2.4	2.7	2.7	3.0	3.1	4.4	3.1	2.8	3.7	3.0
3.2	3.1	4.0	3.1	2.7	3.3	3.0	2.6	2.7	2.4	2.7	2.4	2.6	3.0	4.2	3.0	2.8	3.4	2.7
2.	2.8	2.8	2.7	2.6	2.8	2.8	2.6	2.6	2.4	2.6	2.4	2.4	2.8	4.1	3.0	2.7	3.0	2.7
2.4	2.3	2.4	2.7	2.4	2.4	2.7	2.2	2.4	2.3	2.6	2.3	2.2	2.8	4.1	2.7	2.3	2.8	2.7
<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>
4.1	4.0	3.6	4.6	4.5	4.6	3.7	4.6	3.7	3.9	5.7	4.4	5.2	3.2	4.1	5.9	5.4	4.7	4.0
3.5	3.4	3.4	3.3	4.4	4.2	5.0	4.3	3.5	3.6	5.5	4.0	4.0	3.9	3.2	4.6	4.6	3.9	3.7
3.3	3.0	3.3	3.1	4.2	4.1	4.4	4.0	3.5	3.2	3.5	4.0	3.6	3.9	3.2	4.1	4.3	3.7	3.3
3.0	3.0	3.0	3.0	4.1	3.8	4.4	3.9	2.9	3.0	3.2	3.7	3.6	3.5	2.9	3.3	3.5	3.3	3.3
3.0	2.8	2.7	2.8	3.1	3.8	4.0	3.7	2.9	3.0	2.9	3.2	2.8	2.9	2.9	3.3	3.3	3.2	3.2
2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	3.8	4.0	3.3	2.8	2.9	2.8	3.2	3.2	2.6	2.9	2.8	3.2	3.0	2.9
2.7	2.6	2.7	2.7	2.8	3.7	4.0	3.0	2.6	2.8	2.8	2.9	2.9	2.6	2.5	2.6	3.2	3.0	2.8
2.6	2.6	2.4	2.6	2.6	3.5	3.9	3.0	2.3	2.8	2.3	2.8	2.8	2.5	2.5	2.6	2.8	2.9	2.6
<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>												
4.6	5.5	6.0	5.2	3.6	3.6	4.1												
4.6	5.4	4.5	4.6	3.6	3.3	4.0												
4.0	4.4	4.3	4.6	3.5	3.2	3.3												
3.3	4.1	3.7	4.3	3.3	3.2	3.3												
3.0	4.0	3.2	4.0	3.2	3.0	3.0												
2.9	3.3	2.9	3.9	3.2	2.8	2.9												
2.5	3.2	2.8	3.6	3.0	2.6	2.6												
2.3	2.9	2.5	3.5	3.0	2.6	2.6												

- Para la gráfica de control X-R de la variable de porcentaje de sacarosa en cachaza se definió que:
  - a. La frecuencia de muestreo fuera de dos veces por turno, tomando datos de los dos filtros en operación, durante un mes (30 días), y durante el proceso permaneciera continuo. Con esta frecuencia se obtendrían 4 datos por turno, 12 al día, o 360 datos al mes; sin embargo, se presentó un problema mecánico en las bombas de vacío a filtros que interrumpió el proceso, por lo que no se consideraron datos de dos turnos, de esta forma, sólo se obtuvieron 352 datos.

Tabla 3. Porcentaje de Sacarosa en Cachaza para la elaboración del histograma.

Porcentaje de Sacarosa en Cachaza												
6.6	4.9	4.5	4.2	4.1	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	3	2.9	2.6
5.9	4.8	4.5	4.2	4	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	3	2.9	2.6
5.8	4.8	4.5	4.2	4	3.8	3.7	3.5	3.4	3.2	3	2.9	2.6
5.6	4.8	4.4	4.2	4	3.8	3.6	3.5	3.4	3.2	3	2.8	2.6
5.5	4.7	4.4	4.2	4	3.8	3.6	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8	2.5
5.3	4.7	4.4	4.2	4	3.7	3.6	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8	2.5
5.2	4.6	4.4	4.2	3.9	3.7	3.6	3.4	3.3	3.1	2.9	2.7	2.5
5	4.6	4.3	4.2	3.9	3.7	3.6	3.4	3.3	3.1	2.9	2.7	2.4
4.9	4.6	4.3	4.1	3.9	3.7	3.6	3.4	3.3	3.1	2.9	2.7	2.2
4.9	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7	3.6	3.4	3.2	3.1	2.9	2.7	3.20

- b. En la determinación del número de datos que deberá contener cada muestra se consideró utilizar 8 datos para cada una. De esta forma,  $352/8$  proporciona las 44 muestras de la tabla 4.

### Tercera fase: Verificación de la estabilidad del proceso

Después de haber determinado las características para la obtención de datos--número de datos, tamaño de la muestra y la frecuencia de muestreo--y haberlas aplicado para obtener los datos de las variables en estudio (tabla 1 a tabla 4), se procedió a verificar si el proceso se encontraba estable, mediante la aplicación de dos herramientas estadísticas: histograma y gráfica de control.

Para la elaboración de los histogramas de las variables analizadas (porcentaje de sacarosa en bagazo y cachaza) sólo fue necesario introducir los datos de cada una de las variables: límites de especificación y media de especificación (tabla 5), y los datos de la tablas 1 y tabla 3, al software Minitab. Las gráficas de los histogramas obtenidos se presentan en las figuras 6 y 7, y la interpretación de éstas en la tabla 6.

Tabla 4. Porcentaje de sacarosa en cachaza para elaboración de gráficas X-R.

Porcentaje de sacarosa en cachaza																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
6.0	8.0	4.1	4.7	4.1	5.1	5.0	5.1	6.1	4.6	5.0	4.5	4.8	6.5	4.6	6.2	7.5	6.1	6.7
4.4	3.8	3.2	4.5	3.9	3.7	3.9	4.0	5.3	3.8	4.0	4.4	4.5	5.5	4.5	5.1	4.6	3.9	6.1
4.2	3.4	3.1	3.9	3.5	3.7	3.6	3.5	4.4	3.1	3.2	3.6	4.1	4.9	3.0	4.1	3.9	3.2	5.3
3.2	3.1	2.4	3.2	3.3	3.6	3.4	3.4	3.3	2.8	2.6	3.1	3.2	4.6	3.0	3.4	3.9	3.1	4.8
3.1	2.7	2.0	3.1	3.1	3.1	2.9	3.2	3.1	2.6	2.0	3.0	3.1	3.7	2.8	2.7	3.0	3.0	4.5
2.9	2.5	2.0	2.9	2.9	3.0	2.8	2.9	2.9	2.3	2.0	2.9	2.9	3.6	2.3	2.7	2.9	2.9	4.4
2.0	1.8	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.0	2.2	1.9	1.0	2.5	2.4	3.1	2.3	2.0	2.7	2.9	3.3
1.8	1.5	1.1	1.5	2.1	2.2	2.4	1.1	2.2	1.0	1.0	2.4	1.9	2.3	2.3	2.0	2.0	2.2	2.0
<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>
5.9	5.0	7.9	5.9	5.3	5.4	4.8	10.3	7.6	5.9	6.7	7.3	6.4	5.0	6.3	5.7	3.1	6.9	4.5
5.6	4.9	6.1	5.5	5.6	5.3	4.7	5.3	7.2	5.1	6.1	5.1	5.8	3.9	5.3	5.2	2.9	4.4	4.4
3.9	4.1	6.0	4.9	5.1	4.3	4.7	5.2	5.2	4.9	6.0	4.9	5.8	3.5	4.0	4.1	2.9	4.3	3.9
3.7	3.6	5.1	3.9	4.2	3.7	4.0	4.1	4.9	4.4	5.9	4.9	4.0	3.1	3.8	3.7	2.7	4.3	3.0
3.4	3.5	3.2	3.0	4.0	3.7	3.1	3.9	4.6	3.9	3.6	2.1	3.7	2.6	2.4	3.1	2.2	4.0	2.8
3.1	3.4	3.1	3.0	3.8	3.0	3.0	3.7	3.3	3.9	2.9	1.6	2.7	2.5	2.3	2.7	2.1	2.3	2.6
2.7	2.8	3.0	2.9	2.9	3.0	2.9	3.5	3.0	2.7	2.9	1.4	2.0	2.4	2.2	2.2	2.0	2.3	2.2
2.0	2.0	3.0	2.8	2.1	2.8	2.6	2.9	3.0	2.5	2.1	1.4	1.6	2.4	2.2	2.2	1.2	2.0	2.0
<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>													
5.2	3.8	3.1	5.3	8.9	8.2													
4.8	3.7	3.0	3.3	2.9	5.7													
4.0	3.7	2.3	3.0	2.8	3.9													
4.0	3.4	2.2	2.9	2.7	3.7													
3.1	3.0	2.0	2.5	2.3	3.1													
3.0	2.8	1.5	2.0	2.3	2.9													
2.6	2.6	1.0	1.4	2.0	1.8													
2.5	2.1	1.0	1.3	1.8	1.0													

Tabla 5. Límites y media de especificación de las variables en estudio, para la elaboración de histogramas.

Porcentaje de sacarosa en bagazo		Porcentaje de sacarosa en cachaza	
Número de datos	130	Número de datos	130
Límite Superior de Especificación	4.0	Límite Superior de Especificación	4.5
Límite Inferior de Especificación	1.0	Límite Inferior de Especificación	1.0
Media de Especificación	2.50	Media de Especificación	2.75

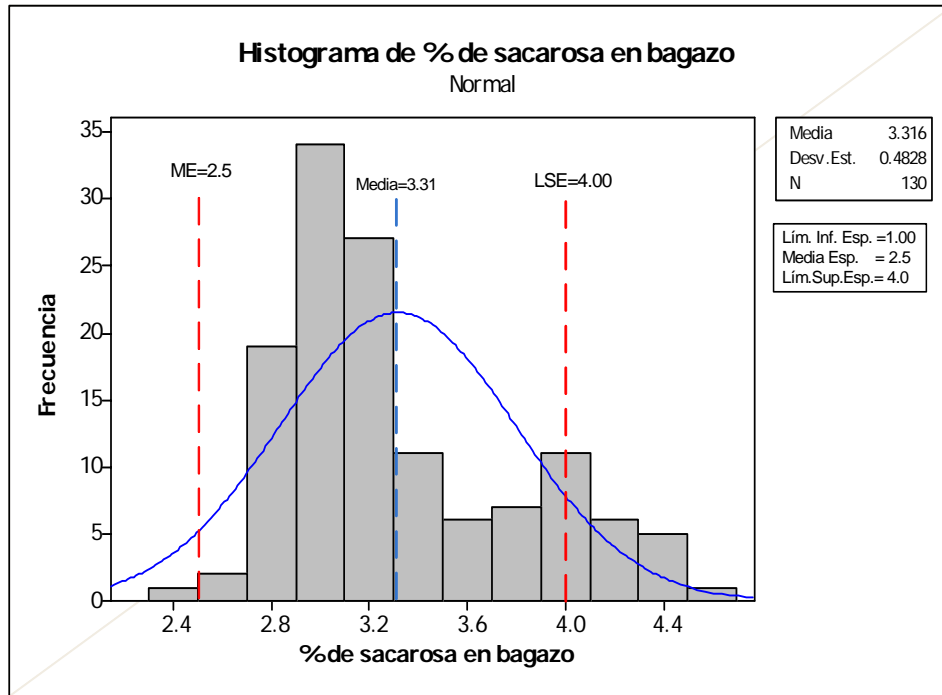


Figura 6. Histograma de porcentaje de sacarosa en bagazo.

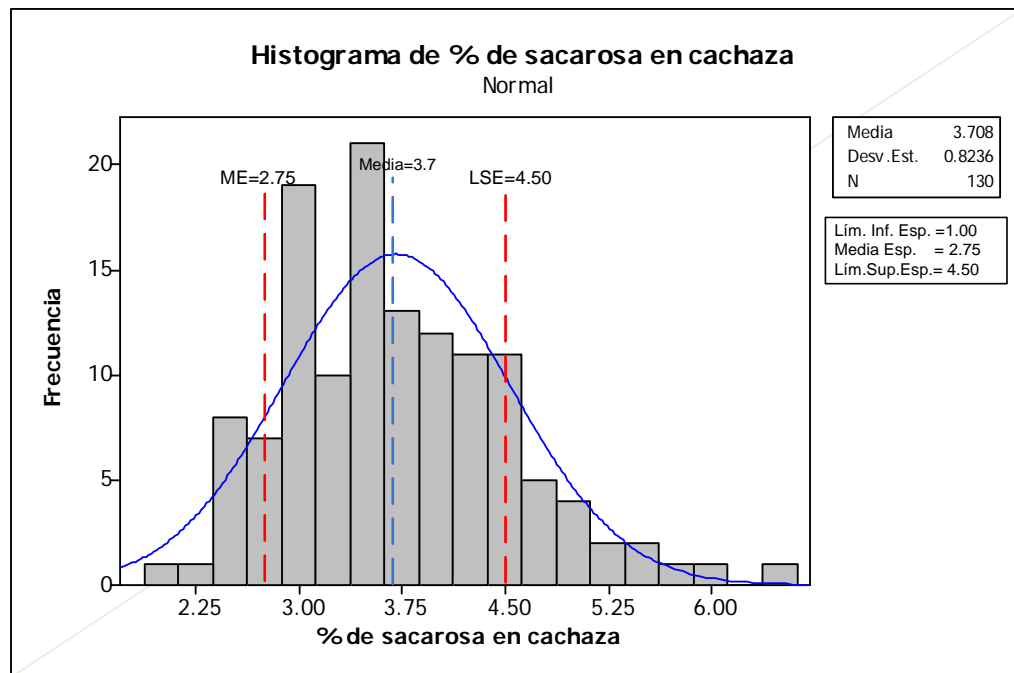


Figura 7. Histograma de porcentaje de sacarosa en cachaza.

Tabla 6. Interpretación de histogramas de frecuencia.

Figura	Variable	Interpretación
6	Porcentaje de sacarosa en bagazo	Existen datos que se localizan fuera del límite de especificación superior, lo que indica que se hay una mayor pérdida de sacarosa de lo establecido.  Es evidente que la media real es considerablemente mayor que la media de especificación, lo que refleja que el proceso no se encuentre centrado, o bien, que es muy variable.
6	Porcentaje de sacarosa en cachaza	Se observa un proceso variable y no centrado; lo anterior se refleja por la gran diferencia existente entre la media real y la de especificación.  Es evidente que el proceso está superando los valores máximos permitidos de pérdida de sacarosa, en otras palabras, se están rebasando las pérdidas de sacarosa estimadas.

Para la elaboración de las gráficas de control de medias y rangos de las variables analizadas (porcentaje de sacarosa en bagazo y cachaza) también se utilizó el software Minitab, donde únicamente se introdujeron los datos de las tablas 2 y 4, y se indicó el número de datos para cada muestra. Las gráficas obtenidas se muestran en las figuras 8 y 9. En la tabla 7 se muestra la interpretación de éstas, basada en los siguientes criterios:

- Puntos fuera de los límites de control
- Adhesión a las líneas de control
- Series
- Tendencias (5 o más puntos consecutivos para arriba o hacia abajo)
- Corridas (5 o más puntos consecutivos por arriba o por debajo del promedio)

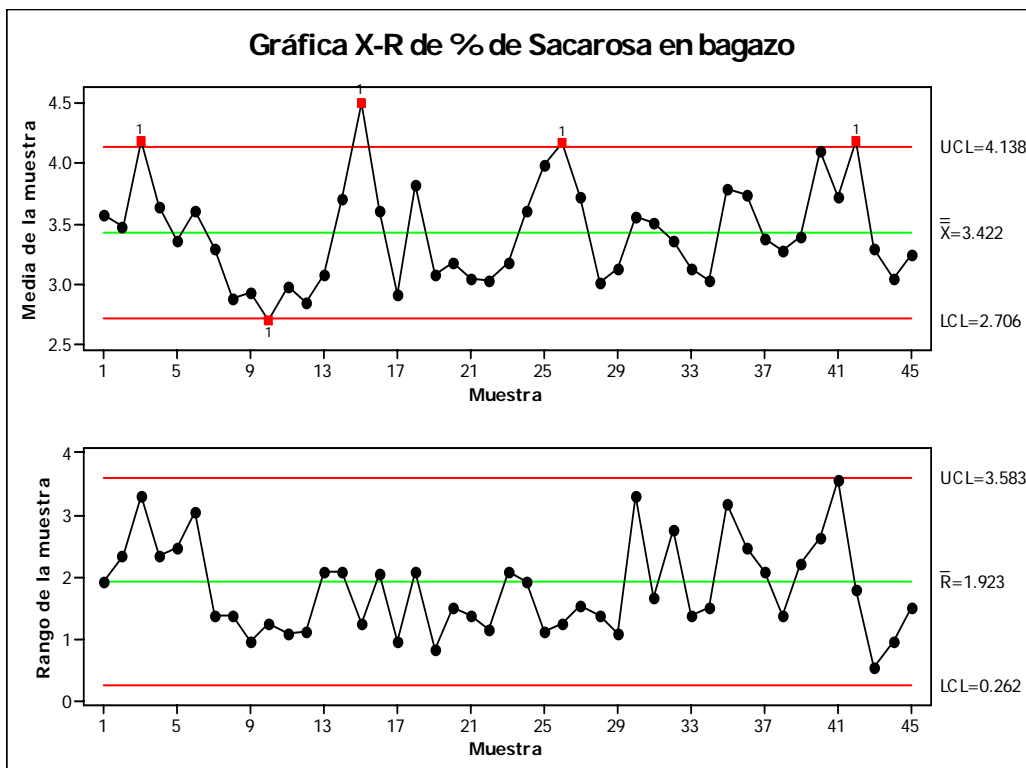


Figura 8. Gráficas X-R de la variable de porcentaje de sacarosa en bagazo.

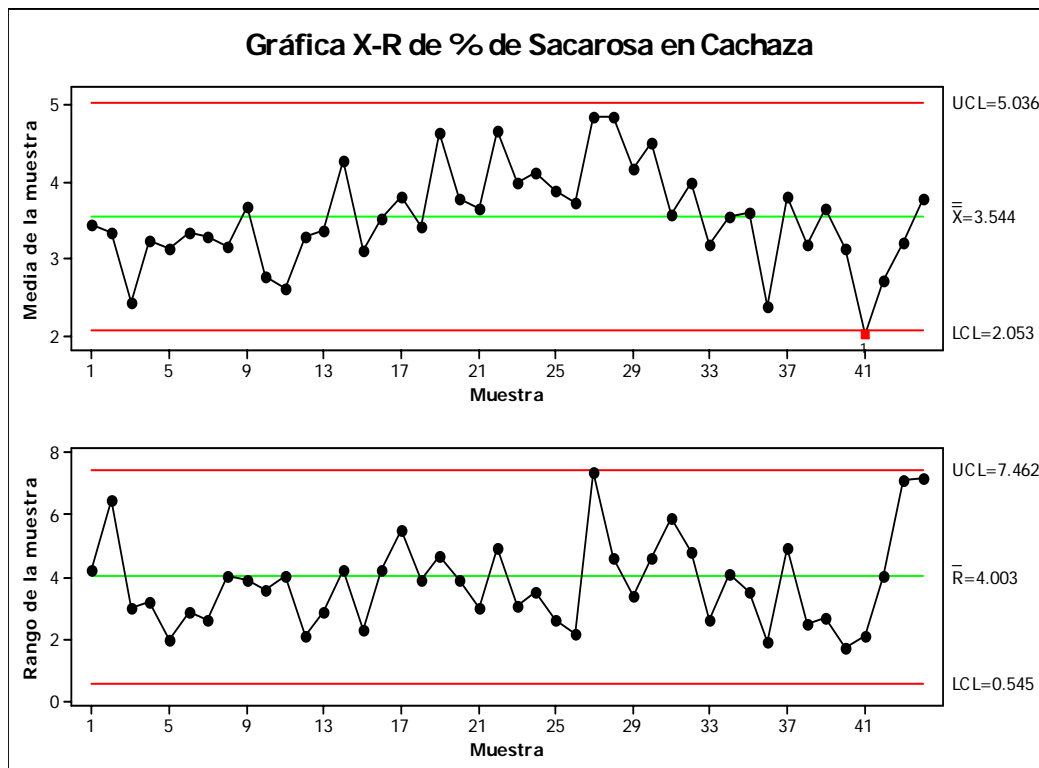


Figura 9. Gráficas X-R de la variable de porcentaje sacarosa en cachaza.

Tabla 7. Interpretación de las gráficas X-R.

Figura	Variable	Interpretación
8	Porcentaje de sacarosa en bagazo	<p>La gráfica de medias muestra cinco puntos fuera de límites de control, lo que inicialmente muestra un proceso inestable.</p> <p>La gráfica de rangos muestra todos los puntos dentro de los límites de control, situación que permite concluir que el proceso es relativamente estable. Sin embargo, para aplicar mejoras es muy importante conseguir el control estadístico del proceso. Una vez consiguiendo éste, será momento de pensar en mejorarlo.</p>
9	Porcentaje de sacarosa en cachaza	<p>La gráfica de medias muestra sólo un punto fuera de control, mientras que en la de rangos todos permanecen dentro, lo que indica que el proceso es relativamente estable. Cabe mencionar que se analizaron los datos del subgrupo que presentó el punto fuera de control y no se pudieron descartar del cálculo ya que son parte del desempeño normal del proceso.</p> <p>La gráfica de rangos muestra una ligera tendencia; lo anterior es motivo de concluir que el proceso se encuentra fuera de control estadístico.</p>

#### Cuarta fase: Identificación de las causas de pérdida en sacarosa

Una vez obtenidos los resultados de los histogramas y gráficos de control realizados, correspondientes, éstos fueron presentados a los responsables del control de los procesos y al administrador general. En esta reunión se comentó la importancia de llevar un control estadístico de las variables que generan las pérdidas de sacarosa y se determinó gestionar círculos de calidad con el personal de supervisión y operativo de las áreas afectadas con la finalidad de: a) detectar los principales problemas que originaban dichas pérdidas de sacarosa en el bagazo y la cachaza; b) identificar las causas de tales problemas y c) generar acciones necesarias para el control y disminución de las pérdidas.

Para lograr la detección de problemas se utilizó la herramienta conocida como diagrama de Pareto y para determinar las causas principales que generan los principales problemas el diagrama de causa-efecto.

Para la construcción del diagrama de Pareto se realizó lo siguiente:

- Se reunieron grupos de trabajo de las dos áreas que generan pérdidas de sacarosa: batey y molinos y elaboración. El personal involucrado fueron los superintendentes, supervisores y personal operativo de cada área.
- Se explicó al personal la importancia de su participación y posteriormente se procedió a elaborar un listado de todos los problemas que originan la pérdida de sacarosa para ambos casos.
- Se le asignó a cada problema detectado un valor ponderado de acuerdo al grado de afectación percibido por el personal.
- Se ingresaron los problemas con su respectivo valor ponderado al programa Minitab, para obtener las gráficas de las figuras 10 y 11.
- Se detectaron las causas principales a combatir (80 por ciento) en cada una de las áreas, a partir del diagrama de Pareto elaborado. Los resultados se muestran en la tabla 8.

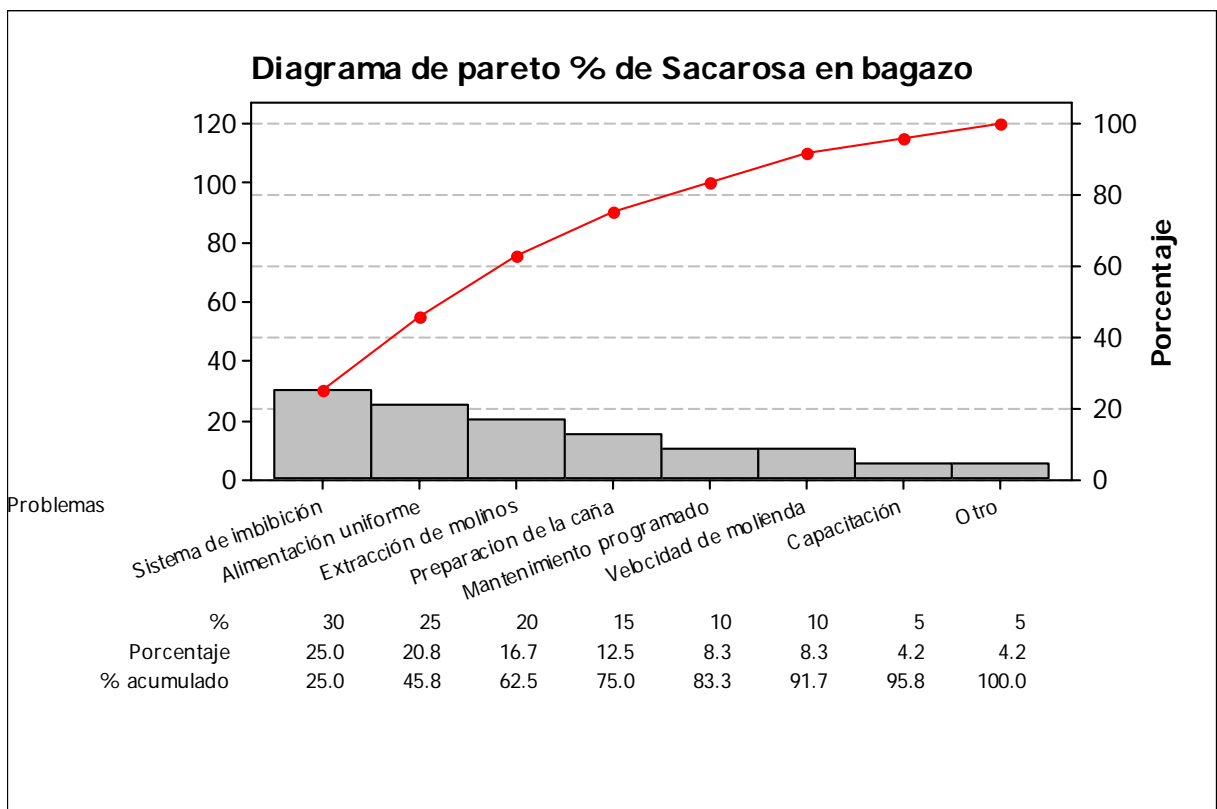


Figura 10. Diagrama de Pareto de porcentaje de sacarosa en bagazo.

Para la construcción del diagrama de causa-efecto se realizaron las actividades siguientes:

- Cada persona de los grupos de trabajo de cada área emitió aportaciones para la determinación de causas que podrían ocasionar cada problema principal que estaba originando pérdidas de sacarosa.
- Se intentó agrupar las causas obtenidas en algunos de los seis principales rubros que pueden causar la desviación de los procesos: mediciones, material, personal, entorno, métodos y máquinas.

- c. Se obtuvieron las gráficas causa-efecto para el porcentaje de sacarosa en bagazo, introduciendo datos al programa Minitab: nombre del problema principal y las causas dentro de los seis rubros de análisis, para obtener las gráficas de las figuras 12 a la 16.
- d. Se obtuvieron las gráficas causa-efecto para el porcentaje de sacarosa en cachaza, introduciendo datos al programa Minitab: nombre del problema principal y las causas dentro de los seis rubros de análisis, para obtener las gráficas de las figuras 17 a la 20.

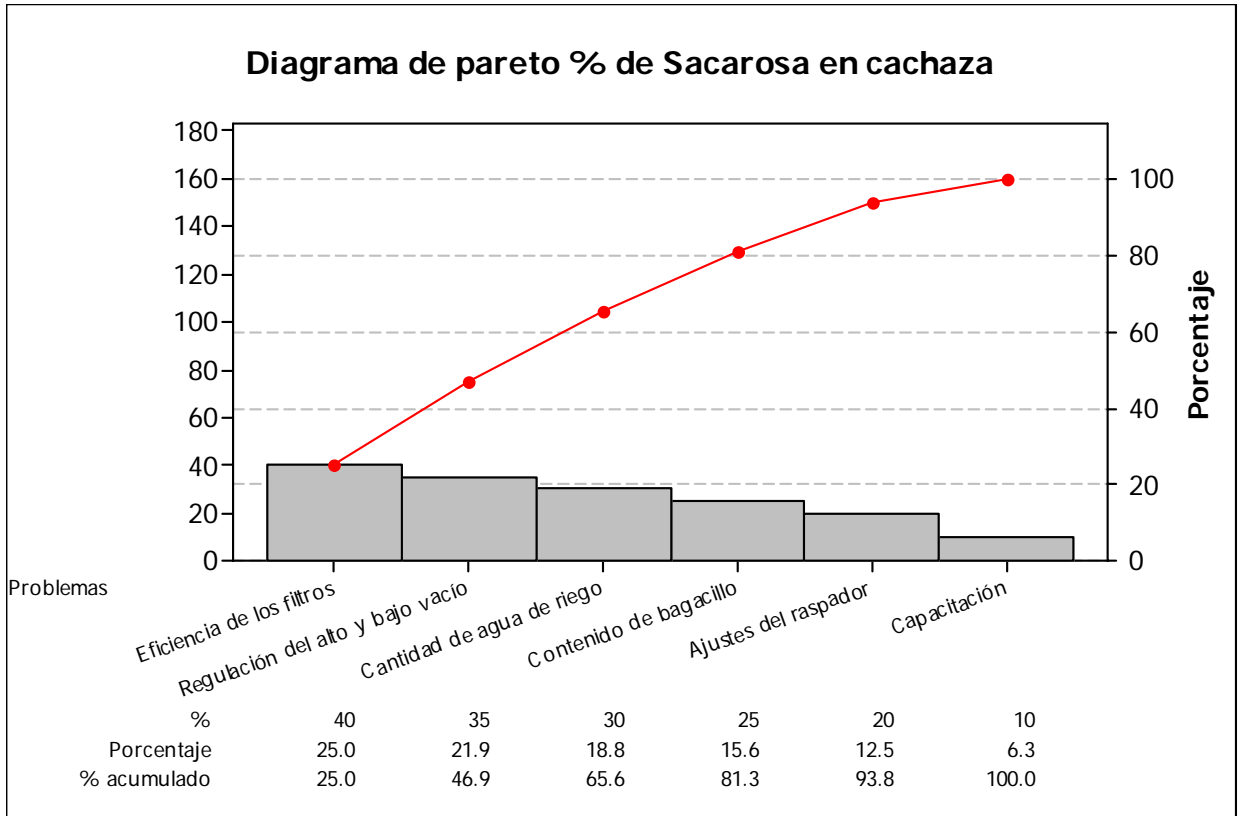


Figura 11. Diagrama de Pareto de porcentaje de sacarosa en cachaza.

Tabla 8. Principales problemas que afectan la pérdida de sacarosa.

Figura	Variable	Problemas principales
10	Porcentaje de sacarosa en bagazo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de imbibición</li> <li>2. Alimentación uniforme</li> <li>3. Extracción de molinos</li> <li>4. Preparación de la caña</li> <li>5. Mantenimiento programado</li> </ol>
11	Porcentaje de sacarosa en cachaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eficiencia de los filtros</li> <li>2. Regulación del alto y bajo vacío</li> <li>3. Cantidad de agua de riego</li> <li>4. Contenido de bagacillo</li> </ol>

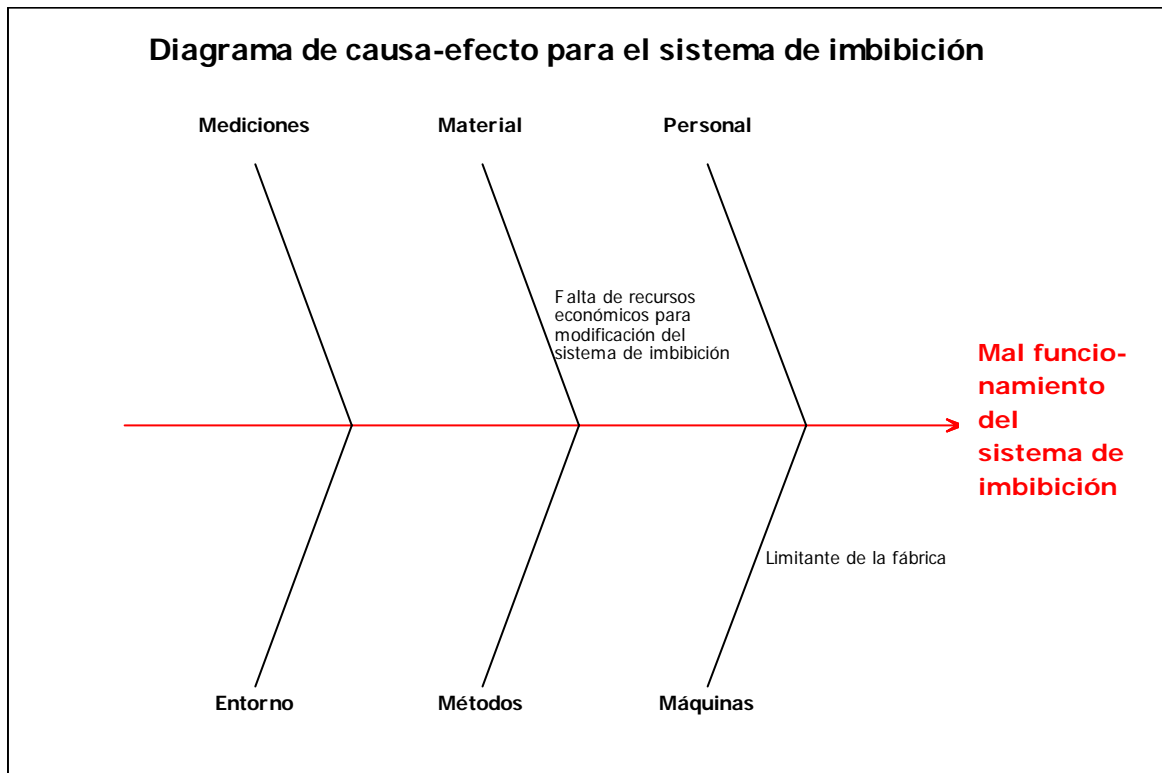


Figura 12. Diagrama de causa-efecto para el sistema de imbibición.

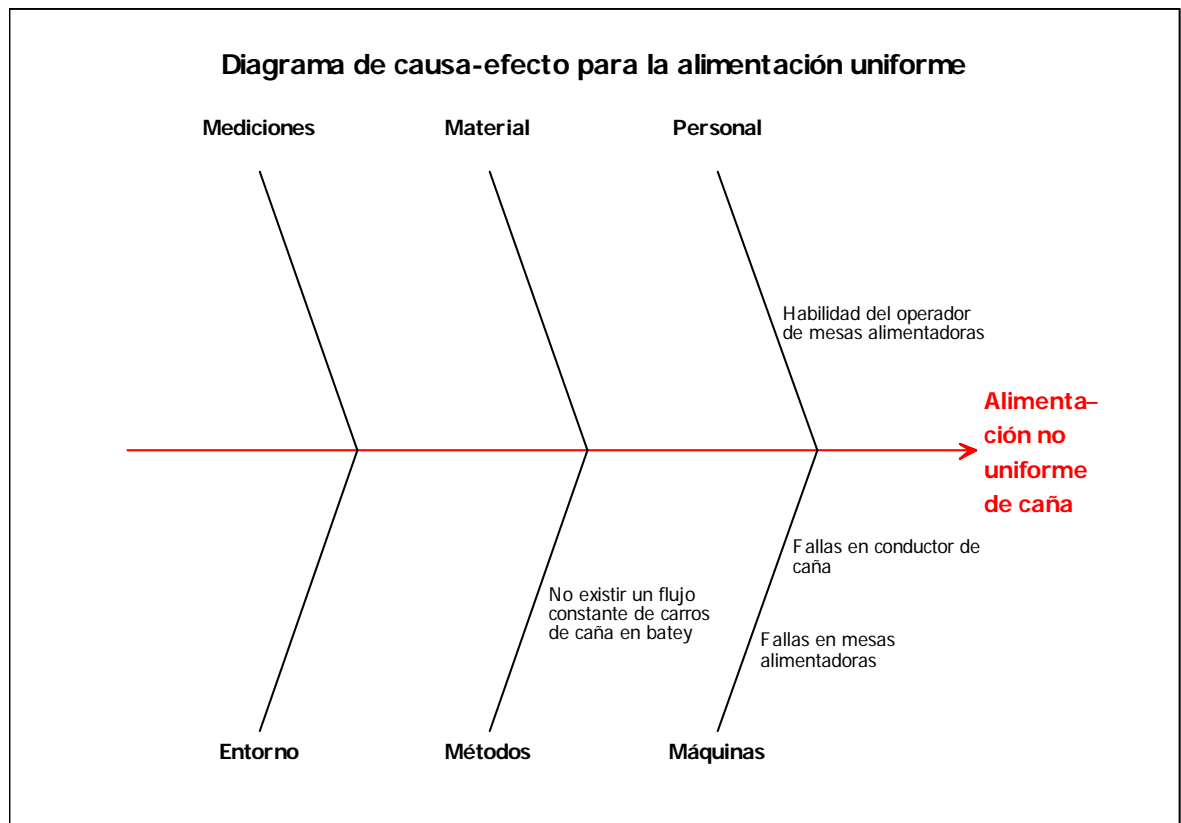


Figura 13. Diagrama de causa-efecto para la alimentación uniforme.

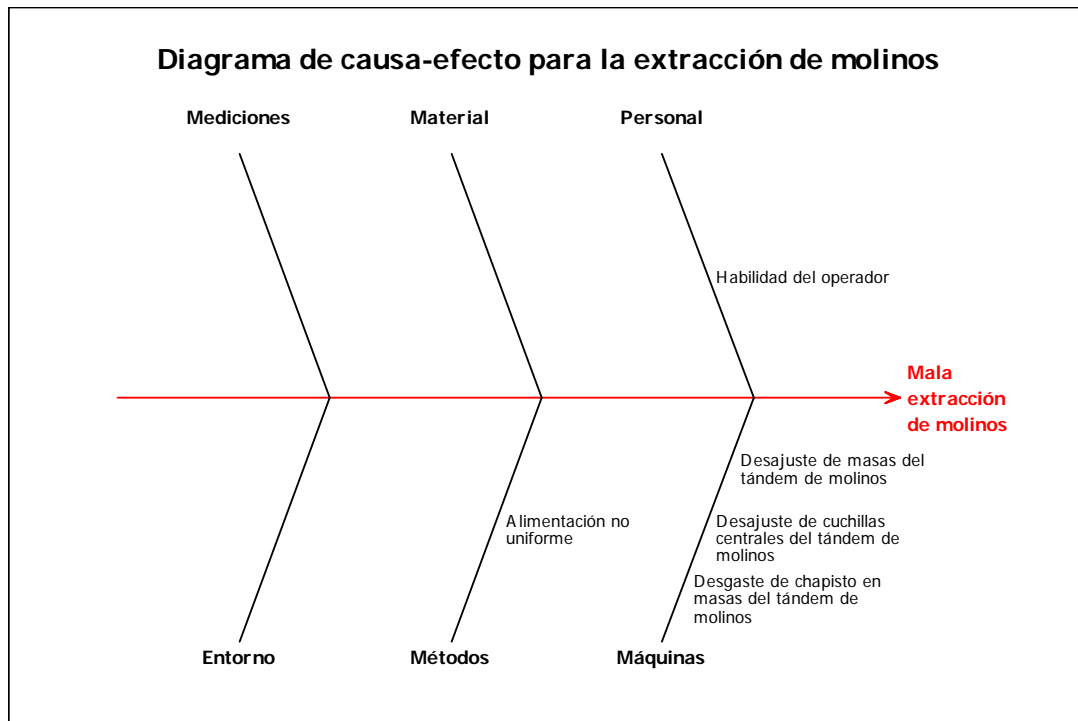


Figura 14. Diagrama de causa-efecto para la extracción de molinos.

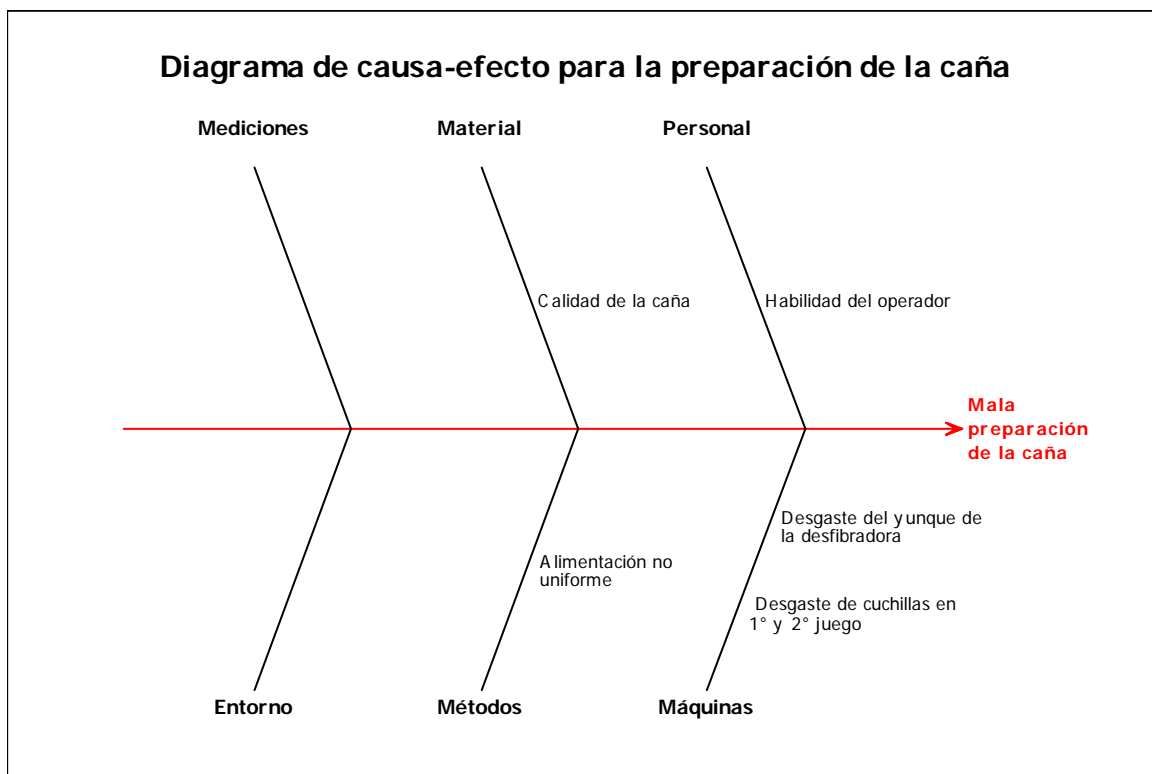


Figura 15. Diagrama de causa-efecto para la preparación de la caña.

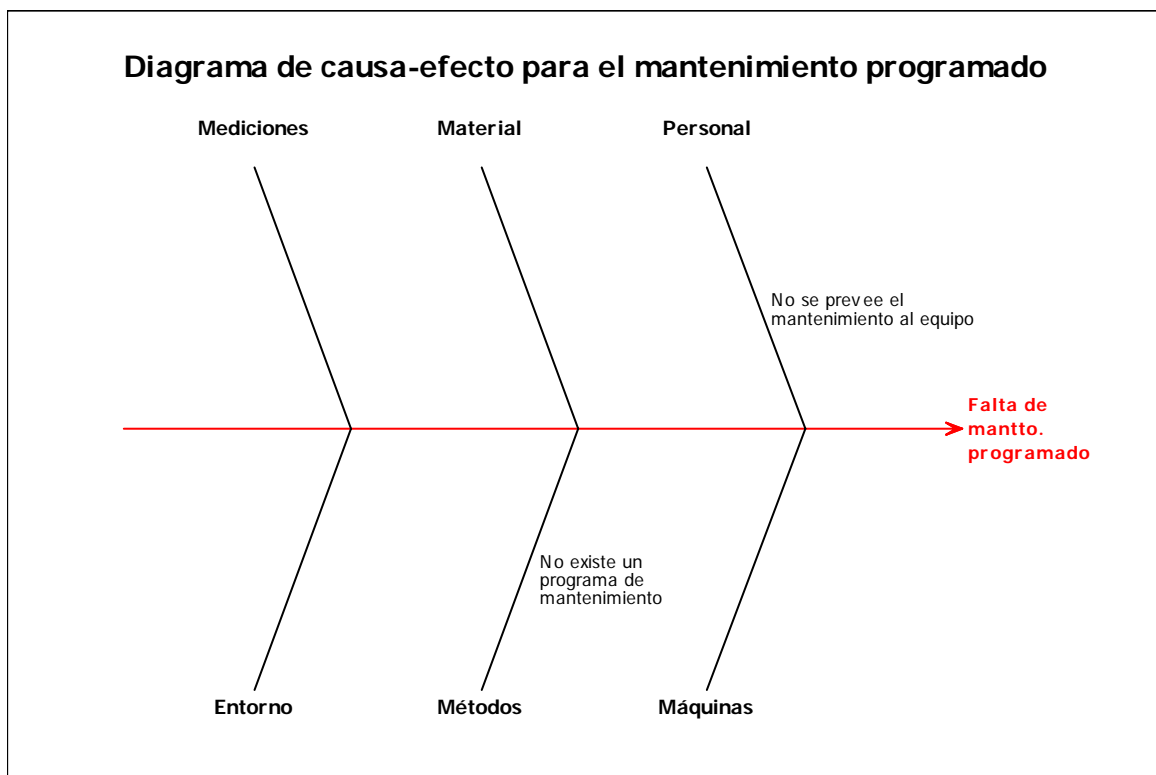


Figura 16. Diagrama de causa-efecto para el mantenimiento programado.

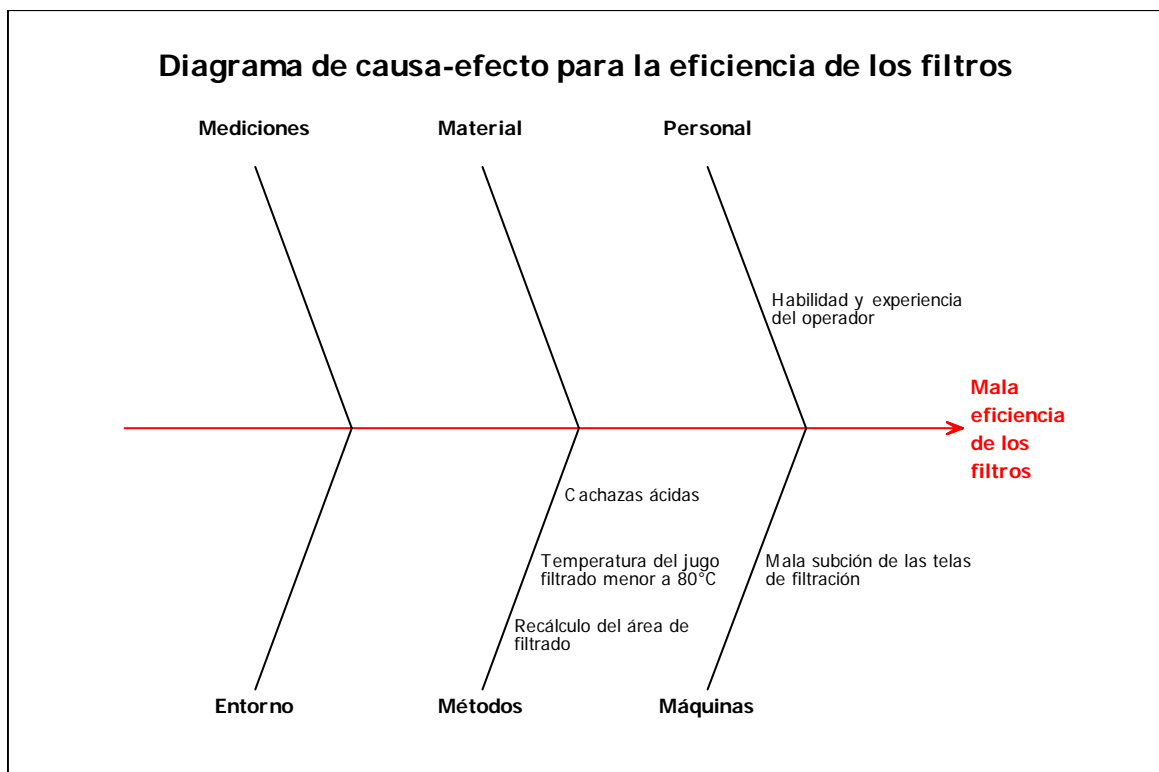


Figura 17. Diagrama de causa-efecto para la eficiencia de los filtros.

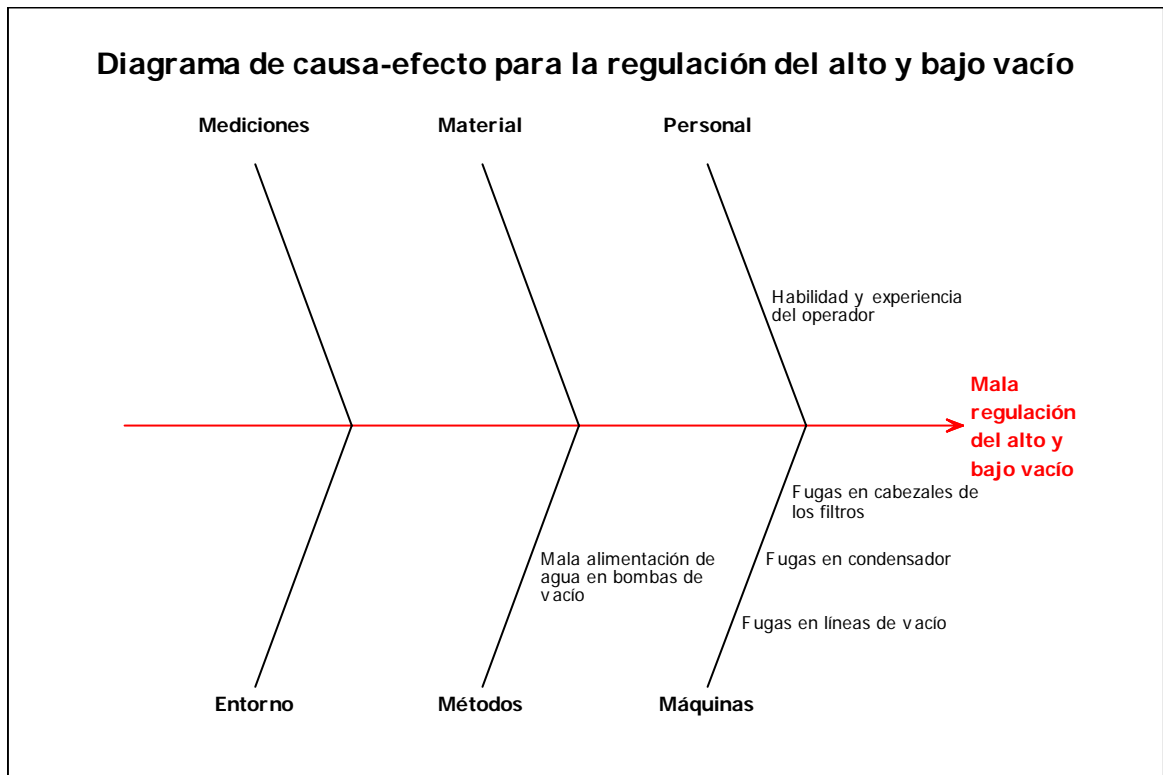


Figura 18. Diagrama de causa-efecto para la regulación del alto y bajo vacío.

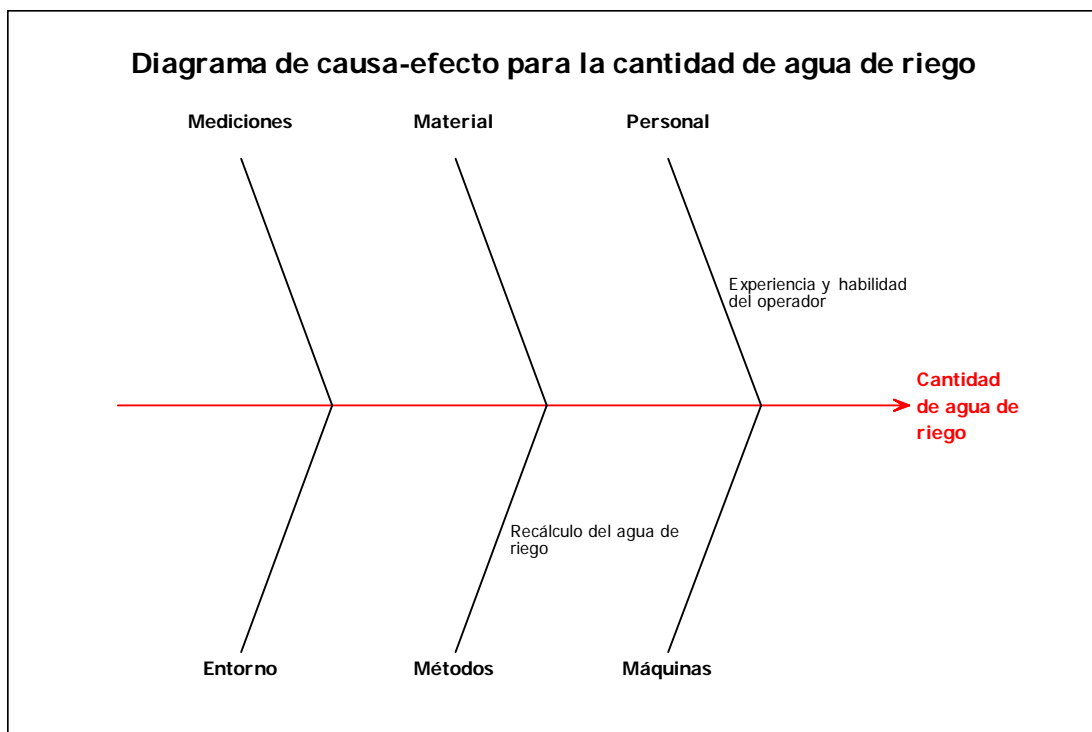


Figura 19. Diagrama de causa-efecto para la cantidad de agua de riego.

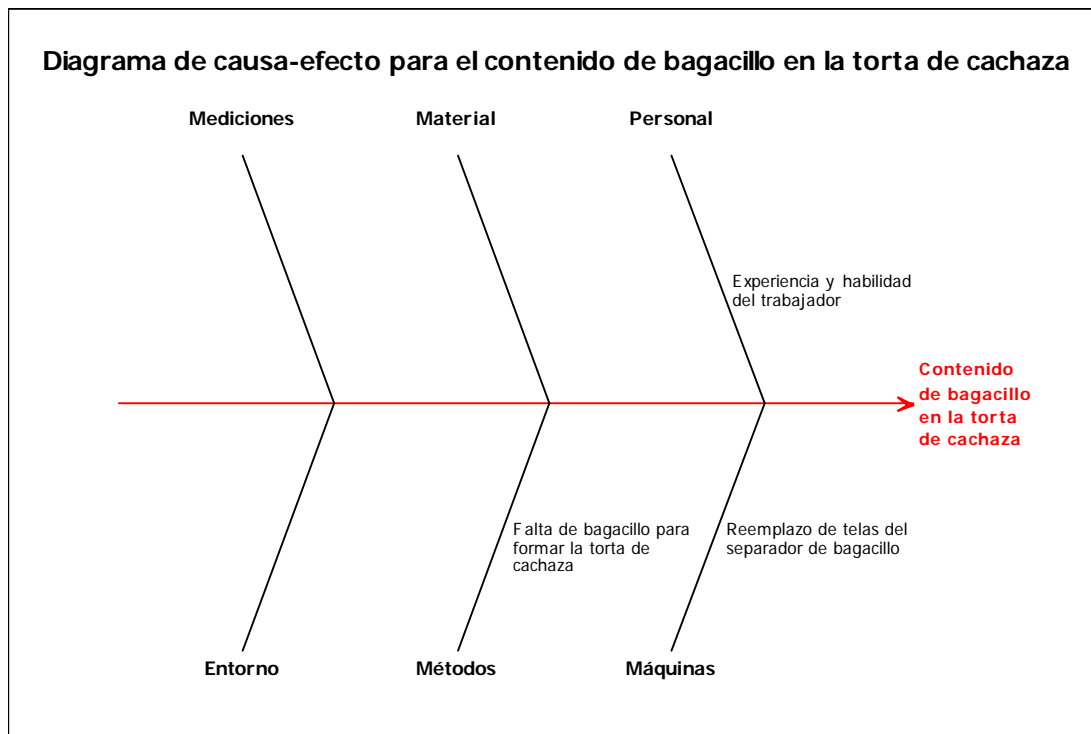


Figura 20. Diagrama de causa-efecto para el contenido de bagacillo en la torta de cachaza.

### Quinta fase: Elaboración del plan de acción

Una vez definidas las posibles causas que estaban generando las pérdidas de sacarosa, se procedió a elaborar un plan de acción para cada variable: porcentaje de sacarosa en bagazo y en caña; que contemplara los problemas principales (tabla 8), acción, cuándo, dónde, quién, cómo y, por qué o para qué.

Los planes desarrollados (tablas 9 y 10) consideraron, bajo solicitud de la dirección general, que las acciones optimizaran los recursos limitados: mano de obra, materiales y recursos disponibles, sin embargo, por la falta de solvencia económica, no fueron solucionados en forma inmediata, pero se programaron para darles solución a corto plazo.

### Sexta fase: Resultados parciales del plan de acción

La última fase de la metodología utilizada consistió en evaluar si las acciones efectuadas habían sido efectivas para conseguir la disminución de pérdidas de sacarosa en el proceso de elaboración de meladura. Esta fase se llevó a cabo mediante la aplicación de dos herramientas estadísticas: histograma y gráficas de control de medias y rangos, a cada variable que originaba pérdidas. Los datos utilizados para estas gráficas fueron obtenidos bajo el mismo criterio con el que se realizaron la primeras gráficas. Las gráficas obtenidas se muestran en las figuras 21 a 24, y la interpretación de éstas en la tabla 11.

Tabla 9. Plan de acción para la disminución de sacarosa en bagazo.

Causa	Acción	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué/Para qué?	Porcentaje de Avance de actividades			
							25	50	75	100
Sistema de imbibición	Adecuación del sistema de imbibición	Reparación 2008	En los molinos	Superintendente y supervisores del área	De acuerdo a las necesidades de la fábrica	Para mejorar la extracción de Pol en bagazo				
Alimentación uniforme y capacitación	Capacitación (operador de mesa alimentadora)	Reparación 2008	En sala de capacitación y área de trabajo	Coordinador administrativo	De acuerdo al perfil de puesto del operador de mesa	Para asegurar el adiestramiento y desempeño del personal operativo				
Alimentación uniforme	Programa de mantenimiento preventivo a mesas alimentadoras y conductor de caña.	Febrero de 2008	En área de batey	Superintendente y supervisores del área	De acuerdo a las necesidades del equipo	Para garantizar el buen funcionamiento del conductor y las mesas alimentadoras				
Extracción en molinos	Programa de ajuste de molinos para mejorar la extracción	Febrero de 2008	En área de molinos	Superintendente y supervisores del área	De acuerdo a las necesidades de cada molino	Mejorar la extracción de cada molino				
Otro	Monitoreo constante de la frescura de la caña (no más de 48 horas)	A partir de hoy	En campo	Superintendente de campo	Programando los cortes de tal forma que la caña que ingrese al batey tenga menos de 48 horas de corte	Para evitar que ingrese caña rezagada a molinos que generen hongos o desgasten el equipo.				
Mantenimiento programado	Elaboración e implementación de un programa de mantenimiento en el área de batey y molinos que incluya aplicación de soldadura y cambio de equipos	Febrero de 2008	En batey y molinos	Superintendente de maquinaria y supervisores del área	De acuerdo a las necesidades de los equipos, principalmente de cuchillas y masas	Asegurar la eficiente extracción de sacarosa.				
Otro	Cumplimiento al programa de sanitización en las áreas de batey y molinos	A partir de hoy	En batey y molinos	Superintendente de maquinaria, supervisores del área y promotor de seguridad e higiene	De acuerdo a las fechas establecidas y/o como sea requerido	Evitar pérdidas de sacarosa por generación de bacterias y hongos en los molinos.				

### Conclusiones y recomendaciones

La aplicación de herramientas estadísticas en la industria azucarera resultó ser de mucha importancia para el análisis de las variables que generaban pérdidas de sacarosa en el proceso de elaboración de meladura. Este estudio dio a conocer la variabilidad existente en la extracción de los molinos y la recuperación de sacarosa en la cachaza. También mostró un panorama general de las pérdidas generadas por la falta de control de los dos procesos.

Antes de realizar el presente estudio, todas las variables que interferían en la elaboración de meladura eran medidas frecuentemente durante la producción, pero sin ser analizadas estadísticamente. Sin embargo, no era posible detectar la magnitud de las pérdidas generadas porque no se buscaba resolver la causa raíz de los problemas que generan las desviaciones, por lo que éstas eran recurrentes y las acciones correctivas no eran suficientes para erradicar los problemas que se presentaban. En contraste, a partir de la aplicación de las herramientas estadísticas para la disminución de pérdidas de sacarosa—que se describen en este artículo—se han disminuido las pérdidas de sacarosa y se han enfocado los esfuerzos en acciones que conllevan a la eliminación de pérdidas, en un sentido utópico, en un futuro cercano. Las herramientas estadísticas fueron indispensables para poder detectar las causas principales que generaban los problemas y posteriormente poder formular un plan de acción para corregirlas.

Tabla 10. Plan de acción para la disminución de sacarosa en cachaza.

Causa	Acción	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué/Para qué?	Porcentaje de avance de actividades			
							25	50	75	100
Eficiencia de los filtros	Cálculo del área de filtración de los tambores rotativos y ajustes correspondientes	Febrero de 2008	Elaboración	Superintendente y supervisor de elaboración	De acuerdo a la succión de las telas de los filtros	Para que el vacío alcance a extraer el jugo en la cachaza y mejore la eficiencia de los filtros				
Regulación del alto y bajo vacío	Elaboración e implementación de un programa de mantenimiento a bombas de vacío	Febrero de 2008	Bombas de vacío a filtros	Superintendente y supervisor de elaboración y supervisor mecánico	De acuerdo a las necesidades de la maquinaria y equipo del área	Para eliminar las fugas en líneas y bombas de vacío, condensador y cabezales de los filtros				
Cantidad de agua de riego	Cálculo del agua de riego a filtros y ajustes correspondientes	Febrero 2008	En línea de riego de los filtros	Superintendente y supervisor de elaboración	De acuerdo a la capacidad de los filtros	Para tener el método correcto de riego y disminuir las pérdidas de sacarosa en cachaza				
Contenido de bagacillo	Cálculo de la cantidad de fibra aplicada y ajustes correspondientes	Febrero 2008	En área de filtros de cachaza	Superintendente y supervisor de elaboración	De acuerdo a las necesidades de los filtros	Para aplicar la cantidad adecuada de cachaza y disminuir las pérdidas de sacarosa en los filtros				
Ajustes del raspador	Elaboración e implementación del programa de mantenimiento a raspadores de filtros	Febrero 2008	En área de filtros de cachaza	Superintendente y supervisor de elaboración	De acuerdo al desgaste de los raspadores	Para mejorar el raspado de cachaza del tambor rotativo.				
Capacitación	Capacitación (operador de filtros de cachaza)	Reparación 2008	En sala de capacitación y área de trabajo	Coordinador administrativo	De acuerdo al perfil de puesto del operador de filtros de cachaza	Para asegurar el adiestramiento y desempeño del personal operativo				

Es muy importante que las actividades programadas en el plan de acción sean concluidas. Por esta razón, estando conscientes de la crisis de la industria azucarera, se recomendó continuar con la implementación de programas de mantenimiento. De ésta manera se seguirán eliminando pérdidas y probablemente los beneficios obtenidos puedan emplearse para financiar las actividades programadas que requieren de más recursos. Esta recomendación sigue los lineamientos de la filosofía de mejoramiento continuo empleados por empresas de clase mundial.

Una vez terminado el estudio, se analizaron los beneficios adicionales obtenidos además de la disminución de pérdidas de sacarosa. Los principales fueron:

- Disminución de tiempos muertos.
- Reducción de costos de materiales y de mano de obra generados por el mantenimiento correctivo.
- Mayor eficiencia de recuperación de sacarosa en los tambores rotativos.

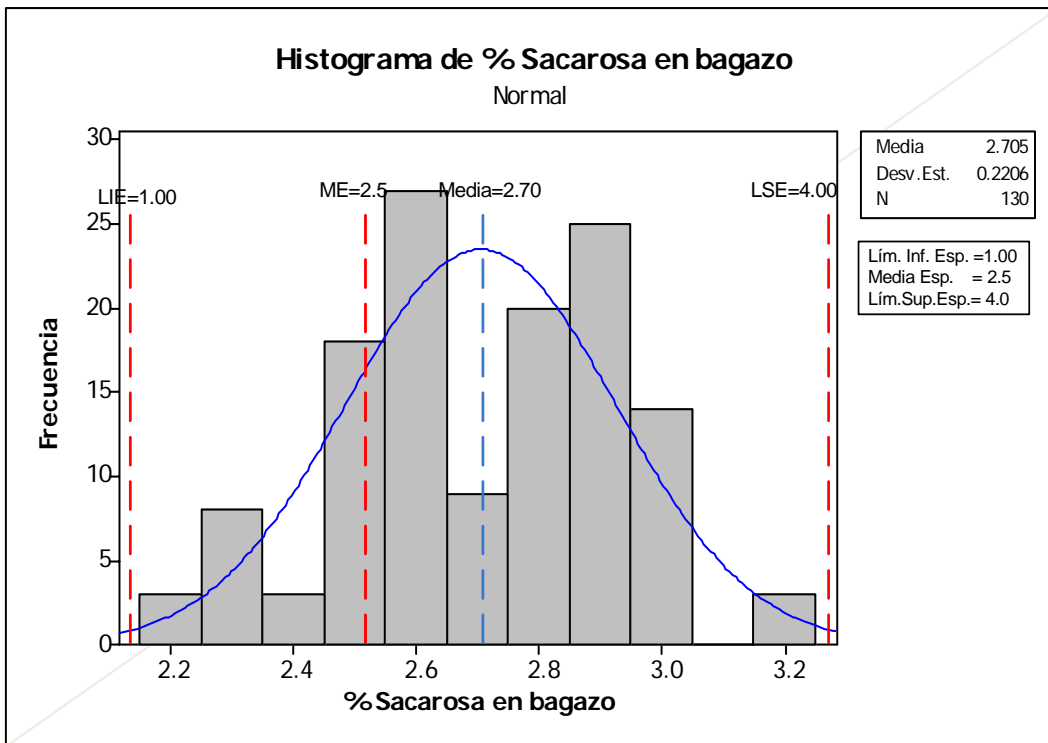


Figura 21. Histograma de frecuencias de porcentaje de sacarosa en bagazo después de la aplicación de las acciones de mejora.

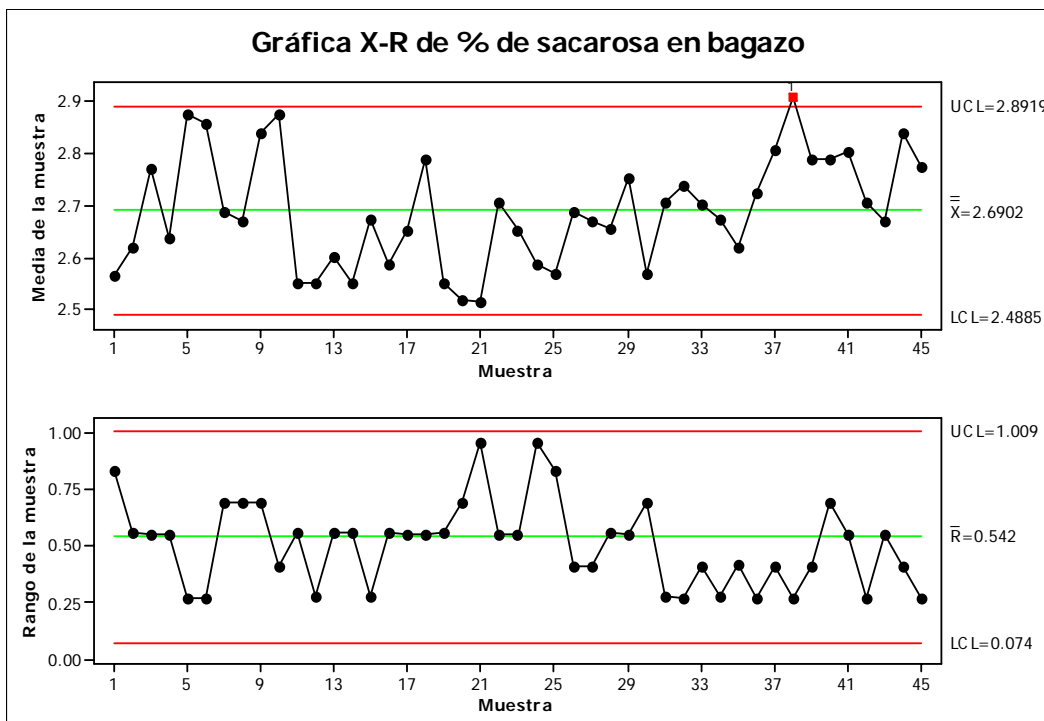


Figura 22. Gráfica de control X-R de porcentaje de sacarosa en bagazo después de la aplicación de las acciones de mejora.

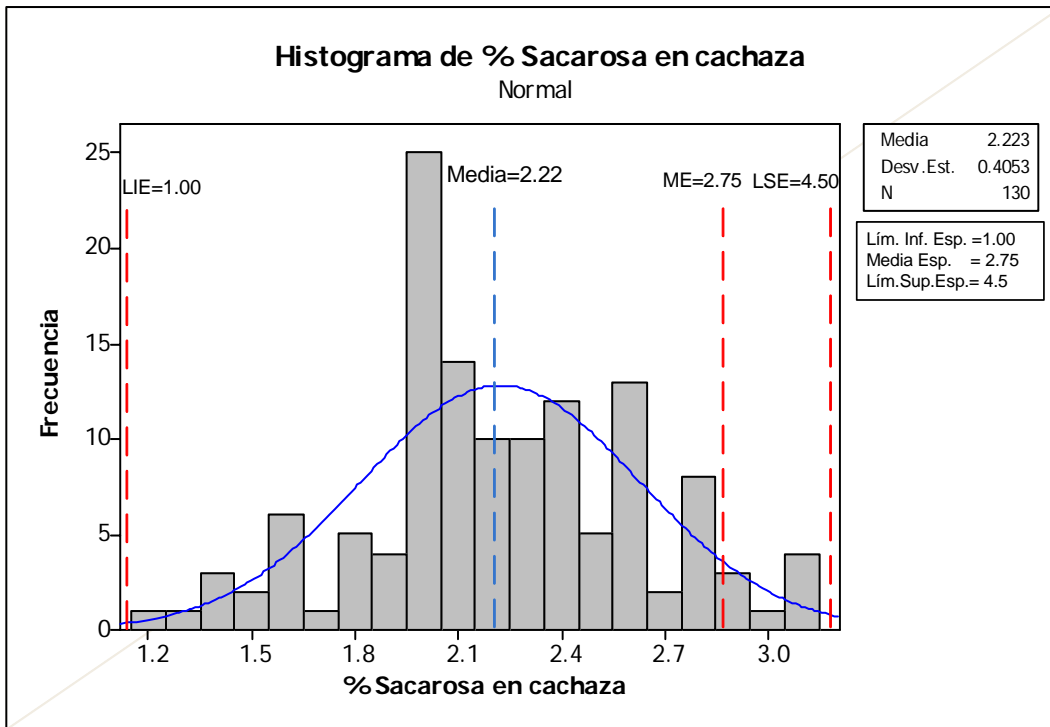


Figura 23. Histograma de frecuencias de porcentaje de sacarosa en cachaza después de la aplicación de las acciones de mejora.

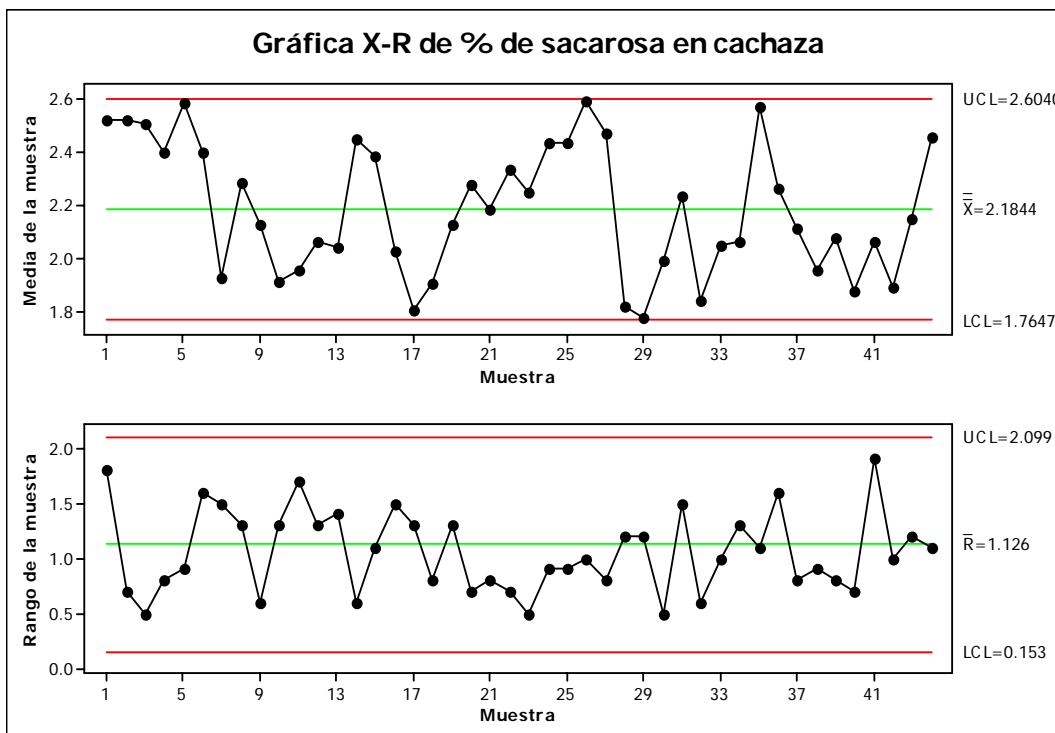


Figura 24. Gráfica de control X-R de porcentaje de sacarosa en cachaza después de la aplicación de las acciones de mejora.

Tabla 11. Plan de acción para la disminución de pérdidas de sacarosa en cachaza.

Figura	Variable	Interpretación
21-22	Porcentaje de sacarosa en bagazo	<p>Se observa que la desviación estándar disminuyó considerablemente cuando se le compara con la que se había determinado en el análisis previo a la aplicación del plan de acción, lo que refleja que el proceso es menos variable.</p> <p>Se percibe que el proceso está cumpliendo con los parámetros de operación establecidos, es decir, se logró disminuir las pérdidas de sacarosa no estimadas en el bagazo.</p> <p>La gráfica de control, a pesar de que mantiene un punto fuera de límites, muestra que el proceso ha logrado mantenerse bajo un mejor control estadístico. La investigación acerca de la causas de este punto fuera de control indicó que éste fue ocasionado porque los productores de caña, entregaron caña con una frescura superior a la permitida: &lt;48hrs. Por lo tanto, se concluye que este punto se debió a una causa completamente ajena al proceso de extracción.</p>
23-24	Porcentaje de sacarosa en cachaza	<p>Se observa un proceso menos variable comparándolo con el análisis previo al desarrollo del plan de acción. Lo anterior se concluye después de observar una considerable disminución en la desviación estándar.</p> <p>Es evidente también que el proceso está cumpliendo con los parámetros de operación establecidos, lo que indica que las pérdidas de sacarosa en cachaza en ésta ocasión sí son las estimadas.</p> <p>Las gráficas de control reflejan un gran avance en el comportamiento del proceso, por lo que se recomienda continuar con la programación de las acciones de mejora en el proceso.</p>

Cabe destacar que al momento de publicar este artículo, los directivos se encontraban en proceso de elaboración de la gráfica de costo-beneficio con el fin de conocer en cantidades exactas la disminución de pérdidas y el decremento en los costos de operación.

Finalmente, es importante comentar que el Ingenio Azucarero no descarta la idea de la implementación de éste tipo de herramientas para la optimización de los procesos en áreas que se requiera disminución en el consumo de agua, energía eléctrica y principalmente para mejorar la calidad del producto.

## Referencias

- Boggan, E., Ver, S., "Módulo de Enfoque de Negocio de los Equipos", *Competitive Solutions, Inc.*, 1995.
- Enríquez P., M., "Cierre de auditoría de seguimiento al sistema de gestión de calidad". comunicación directa, Junio de 2008.
- Gutiérrez M., "Administrar para la calidad. Conceptos administrativos del control total de calidad", *Editorial Limusa Noriega*, 2da. Edición, 1989.
- Hernández L., I., "Cálculos y planos para el montaje del molino no. 5 de Ingenio El Refugio, S.A. de C.V.", *Tesis de licenciatura*, Instituto Tecnológico de Orizaba, 2008.
- Hugot, E., "Manual para Ingenieros Azucareros", *Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V.*, México 1984.
- Orea, D., "Taller de herramientas estadísticas", *Ingenio Constancia*, S.A. de C.V., Noviembre 2005.
- Wikimedia (a) "Diagrama de Pareto.", consultada por Internet el 18 de julio del 2008. Dirección de internet: [http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_de\\_Pareto](http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Pareto).
- Wikimedia (b) "Principio de Pareto.", consultada por Internet el 18 de julio del 2008. Dirección de internet: [http://es.wikipedia.org/wiki/Principio\\_de\\_Pareto](http://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Pareto).