



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Reducción de la variabilidad en la especificación del pH de jugo
encalado en un Ingenio Azucarero, mediante la implementación
del control estadístico con el fin de disminuir la pérdida química
por inversión”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN MEJORAMIENTO DE PROCESOS

Presentado por:

César Alfredo Zambrano Torres

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi director de proyecto, el Dr. Marcos Buestán., a las personas que colaboraron de una u otra forma para la realización de este trabajo, y especialmente a mi familia por darme su apoyo incondicional.

DEDICATORIA

Este trabajo realizado con esfuerzo por varios meses está dedicado a mis padres, mis hermanos, familiares y amigos que estuvieron apoyándome durante el programa de maestría
A mi esposa por ser mi soporte, mi compañía en mis largas noches de trabajo.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

**Marcos Buestán., Ph.D.
DIRECTOR DE PROYECTO**

**María Fernanda López., MSc.
VOCAL**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

César Alfredo Zambrano Torres

RESUMEN

El presente proyecto consistió en utilizar técnicas de control estadístico y herramientas de mejora continua para disminuir la variabilidad en la variable de pH de jugo encalado en el ingenio azucarero.

El objetivo del proyecto es la de reducir la variabilidad en la especificación del pH de jugo encalado entre 7.2 a 7.4 definido por el corporativo azucarero, empleando herramientas de control estadístico de procesos.

Lo primero que se realizó fue el análisis estadístico del estado actual del proceso, donde se determinó que el proceso presentaba causas especiales de variación y dispersión en las mediciones de pH durante la zafra 2020. También se demostró que el proceso no era capaz de cumplir con las especificaciones mostrando un problema de localización.

Luego, siguiendo la metodología DMAIC se realizó el análisis donde se determinaron las causas que provocaron la variabilidad en la variable de respuesta pH de jugo encalado. Una vez determinadas las causas, se procedieron a realizar e implementar las mejoras en el proceso utilizando herramientas de mejora continua y el diseño experimental que proporcionó los niveles adecuados de operación para mejorar la dosificación de la cal y no incurrir a gastos innecesarios del insumo químico.

Posteriormente se obtuvo como resultado la reducción de la variabilidad en la variable de respuesta pH de jugo encalado, además se estimó que la pérdida en la etapa de encalado es de 0.0035 kg sac/tn de caña traducido a un ahorro estimado de \$ 13,543.46 para la zafra 2021.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE TITULACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ABREVIATURAS	IX
SIMBOLOGÍA	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento de problema.....	1
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4. Metodología	7
1.4.1. Análisis	7
1.4.1.1 Análisis Causa-Raíz.....	7
1.4.1.2. Cinco Por qué's.....	8
1.4.2. Mejora (Improve)	8
1.4.2.1. Plan de acción o implementación	8
1.4.2.2. Evidencias de la implementación	8
1.4.2.3. Diseño de experimentos.....	8
1.4.3. Control.....	8
1.4.3.1. Gráfica de serie de tiempos.....	8
1.4.3.2. Análisis de capacidad.....	9
1.5. Resultados esperados.....	9
CAPITULO 2.....	10
2.1. Análisis.....	10

2.1.1. Diagrama Causa-Raíz	10
2.1.2. Técnica de los 5 porqués.....	12
CAPITULO 3.....	61
3.1. Evaluación de resultados	61
3.1.1. Gráfica de serie de tiempos	61
3.1.2. Análisis de capacidad	61
3.1.3. Evaluación financiera.....	64
CAPITULO 4.....	65
4.1. Conclusiones y Recomendaciones.....	65
4.1.1. Conclusiones	65
4.1.2. Recomendaciones	66
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS.....	69

ABREVIATURAS

DMAIC Define, measure, analyze, improve, contro

SIMBOLOGÍA

SO ₂	Dióxido de azufre
pH	Potencial Hidrógeno
°Be	Grados Baumé
RPM	Revoluciones por minuto
PSI	Poundal square inch
H ₀	Hipótesis nula
H ₁	Hipótesis alterna

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Gráfica de Serie de Tiempos Julio	2
Figura 1.2: Gráfica de Serie de Tiempos Agosto.....	2
Figura 1.3: Gráfica de Serie de Tiempos Septiembre.....	3
Figura 1.4: Gráfica de Serie de Tiempos Octubre.....	3
Figura 1.5: Gráfica de Serie de Tiempos Noviembre.....	4
Figura 1.6: Gráfica de Serie de Tiempos Diciembre.....	4
Figura 1.7: Gráfica de normalidad.....	5
Figura 1.8: Gráfica de corridas.....	6
Figura 1.9: Análisis de Capacidad del estado actual.....	6
Figura 2.1: Diagrama de Ishikawa.....	11
Figura 2.2: Operadores de la planta de cal con los equipos de protección personal	14
Figura 2.3: Supervisora de producción en la planta de cal.....	15
Figura 2.4: Analista de laboratorio limpiando el equipo	16
Figura 2.5: Piedras atoradas entre los conductores del tren de molinos	18
Figura 2.6: Certificado de calibración vigente del medidor de pH.....	20
Figura 2.7: Control de verificación diario del medidor de pH	21
Figura 2.8: RPM que indican que la bomba trabaja al 70%.....	23
Figura 2.9: Seteo de bomba y flujo de jugo encalado.....	23
Figura 2.10: Tanques de planta de cal de 11 875 litros de capacidad.....	24
Figura 2.11: Registro de presión de vapor de calderas	26
Figura 2.12: Checklist de limpieza de áreas y equipos de fábrica	27
Figura 2.13: Checklist de limpieza de áreas y equipos de fábrica	28
Figura 2.14: Registro de control de concentración de lechada de cal	29
Figura 2.15: Registro de control de sacarato	30
Figura 2.16: Procedimiento para determinar de pH en jugo encalado.....	33
Figura 2.17 Personal de control de calidad realizando el muestreo de jugo encalado.....	34
Figura 2.18: Reporte agrícola donde se muestran el porcentaje de sacarosa y materia extraña en caña	35
Figura 2.19: Reporte industrial donde se muestran los °Brix y purezas de jugo primario .	36
Figura 2.20: Reporte industrial donde se muestran los °Brix de la Miel B	37
Figura 2.21: Sistema de agitación de tanques de lechada de cal.....	39
Figura 2.22: Mezcla homogénea y sin grumos de lechada de cal	39
Figura 2.23: Registro de capacitación a operadores	44
Figura 2.24: Política de operación de la planta de cal	45
Figura 2.25: Supervisora de turno indicando al operador la manera correcta de medir la concentración de la muestra de lechada de cal	46
Figura 2.26: Zarandeo de caña para desalojar piedras entre la caña.....	46
Figura 2.27: Gráfica de flujo de jugo encalado Zafra 2020.....	47
Figura 2.28: Gráfica de flujo de jugo encalado julio 2021	47
Figura 2.29: Instructivo de preparación de lechada de cal	48
Figura 2.30: Punto de muestreo de jugo encalado zafra 2020	49
Figura 2.31: Sistema de automatización de pH de jugo encalado	50
Figura 2.32 Información de factores y niveles para el DOE	50
Figura 2.33: Análisis de varianza de factores de influencia	51
Figura 2.34: Pareto de factores que tienen efecto sobre la sobredosificación de cal	52
Figura 2.35: Porcentaje de captura de variabilidad	52

Figura 2.36: Gráfica de residuos del modelo.....	53
Figura 2.37: Gráfica de normalidad del error.....	53
Figura 2.38: Gráfica de residuos para determinar homogeneidad de varianza	54
Figura 2.39: Gráfica de corridas para determinar la independencia del error	54
Figura 2.40: Gráfica para determinar los niveles adecuados de operación	56
Figura 3.1: Gráfica de serie de tiempos antes y después.....	61
Figura 3.2: Gráfica de análisis de capacidad antes de la mejora	62
Figura 3.3: Gráfica de probabilidad de la variable de respuesta.....	62
Figura 3.4: Gráfica de análisis de capacidad después de la mejora.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Consumo semanal y gasto por consumo de cal en fábrica.....	32
Tabla 2.2: Resumen de causas raíz potenciales.....	40
Tabla 2.3: Plan de implementación de mejoras.....	42
Tabla 2.4: Resumen de resultados del DOE	55
Tabla 2.5: Resumen de niveles adecuados de operación	56
Tabla 2.6: Observaciones para la corrida de verificación	57
Tabla 2.7: Corrida de verificación escenario 1	58
Tabla 2.8: Corrida de verificación escenario 2	58
Tabla 2.9: Corrida de verificación escenario 3	59
Tabla 2.10: Corrida de verificación escenario 4	59
Tabla 2.11: Corrida de verificación escenario 5	59
Tabla 2.12: Corrida de verificación escenario 6	60
Tabla 2.13: Corrida de verificación escenario 7	60
Tabla 2.14: Corrida de verificación escenario 8	60
Tabla 3.1: Evaluación de los indicadores de mejora de procesos	63
Tabla 3.2: Pérdida en la etapa de Encalado zafra 2020	64
Tabla 3.3: Gastos de implementación	64
Tabla 3.4: Estimación de pérdida en la etapa de Encalado para la zafra 2021	64
Tabla 3.5: Ahorros estimados en la etapa de Encalado para la zafra 2021	64

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

1.1. Antecedentes

El proceso de elaboración de azúcar consiste en varias etapas, desde la extracción del jugo de la caña mediante el tren de mollienda compuesto de seis molinos de mazas, pasa a la etapa de sulfitación donde el jugo se pone en contacto con gases de SO₂ con el fin de remover impurezas del jugo, a continuación, va a la etapa de encalado en donde el jugo es mezclado con sacarato de cal con la finalidad de regular el pH.

Una vez encalado el jugo, pasa a la etapa de clarificación, aquí el jugo es tratado con floculante con el objetivo de eliminar las impurezas que contiene el material. Posterior a este tratamiento, el jugo pasa al proceso de evaporación que consta de un tren de evaporadores que se encargan de eliminar el agua y concentrar el jugo para convertirlo en miel.

La miel obtenida de la evaporación pasa al proceso de formación de cristales donde se somete a elevadas temperaturas para eliminar el poco contenido de agua que tiene la miel, para este punto se pueden observar los cristales de azúcar en formación. La miel rica en cristales de azúcar es llevada a los cristalizadores para terminar la formación de los granos.

Los granos formados de la cristalización son llevados a las centrífugas donde se separan de la miel residual. El proceso finaliza la etapa de secado donde los granos de azúcar obtenidos del proceso son llevados al túnel de secado a una temperatura determinada para su posterior envasado en las distintas presentaciones comerciales.

Durante las etapas de producción, existen pérdidas de material que son evaluadas para saber las posibles causas raíz por las ocurren y tomar acciones sobre ellas para su control. La pérdida química por inversión es un tipo de pérdida evaluada en el ingenio que consiste en que la molécula de la sacarosa se descompone en fructosa y glucosa a determinado pH y temperatura, por lo tanto, disminuye la sacarosa presente en el jugo de la caña.

En la etapa de encalado del Ingenio Azucarero, el seguimiento del pH es un paso determinante y crítico para el control de pérdida química en las etapas posteriores a esta. La variable mencionada no ha logrado ser controlada dentro de especificaciones dispuestas por el corporativo azucarero, esto implica que el ratio del consumo de cal en función al flujo de jugo encalado no esté definido y además se produzca mayor pérdida química por inversión de la sacarosa.

1.2. Planteamiento de problema

El corporativo dispuso que los parámetros a manejar para el pH de jugo encalado sean entre 7.2 y 7.4 para la zafra 2020 siendo un reto para los equipos de producción e instrumentación del Ingenio Azucarero.

Se lograron realizar mediciones de pH con una frecuencia diaria por las 24 horas del día durante los meses que duró la zafra 2020, es decir de junio a diciembre como se muestra en el Anexo 1

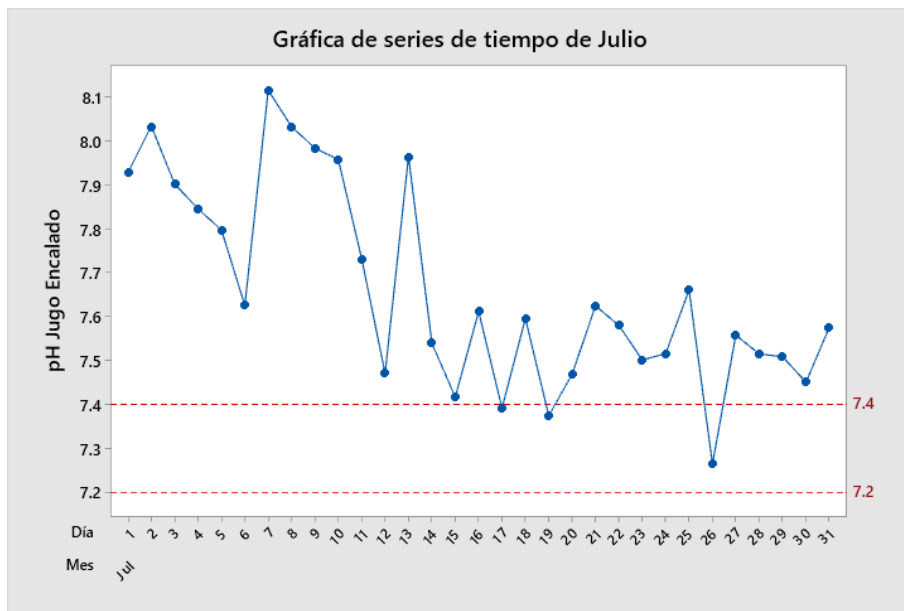


Figura 1.1: Gráfica de Serie de Tiempos Julio
Fuente: Autoría propia.

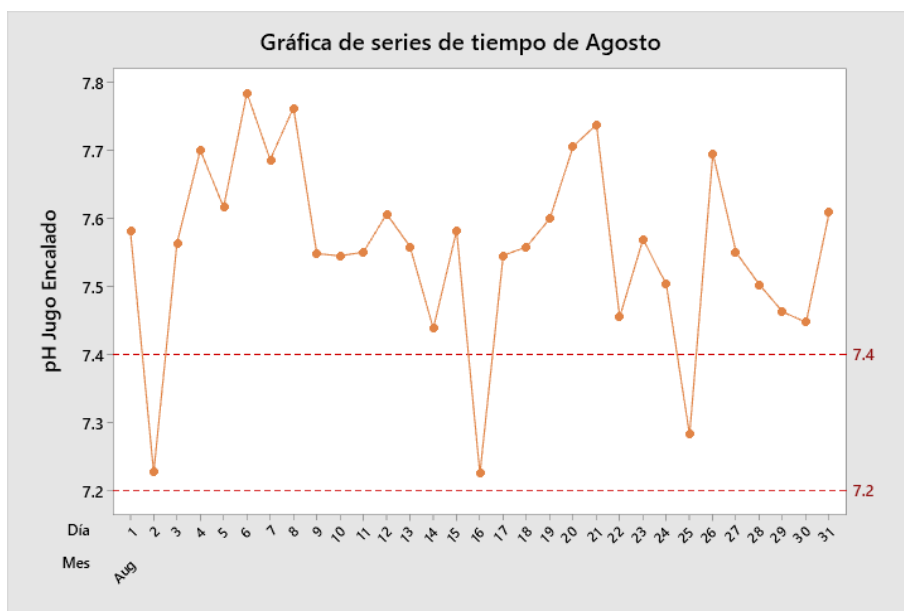


Figura 1.2: Gráfica de Serie de Tiempos Agosto
Fuente: Autoría propia.

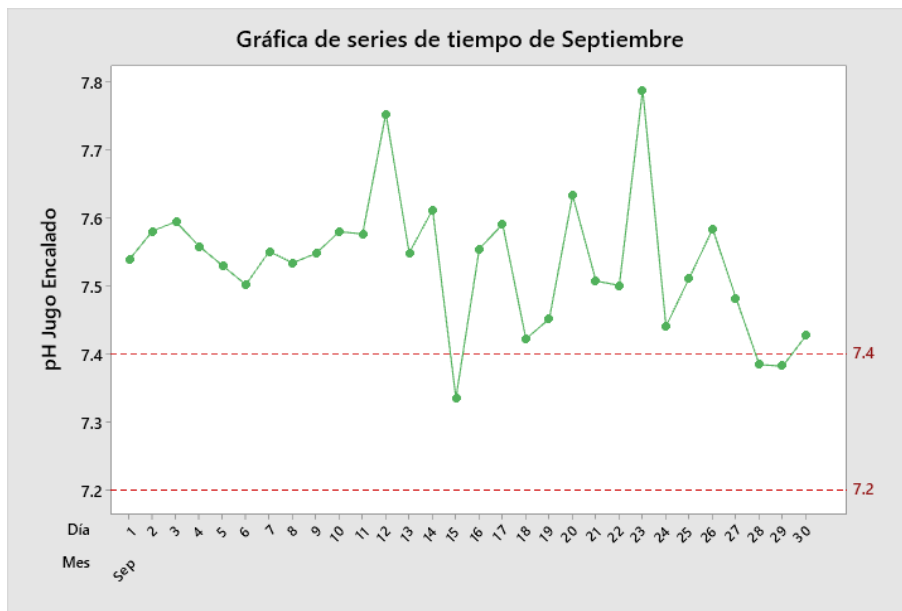


Figura 1.3: Gráfica de Serie de Tiempos Septiembre

Fuente: Autoría propia.

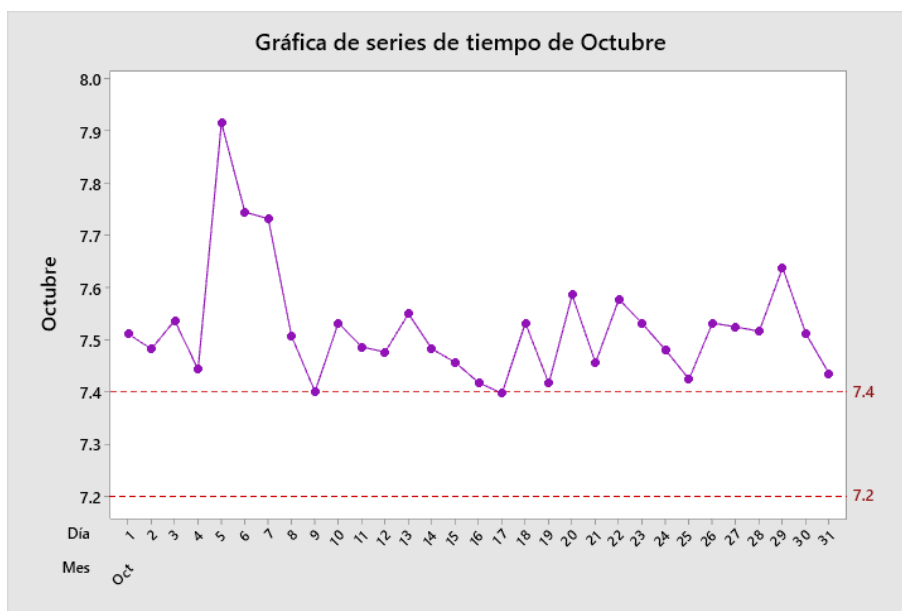


Figura 1.4: Gráfica de Serie de Tiempos Octubre

Fuente: Autoría propia

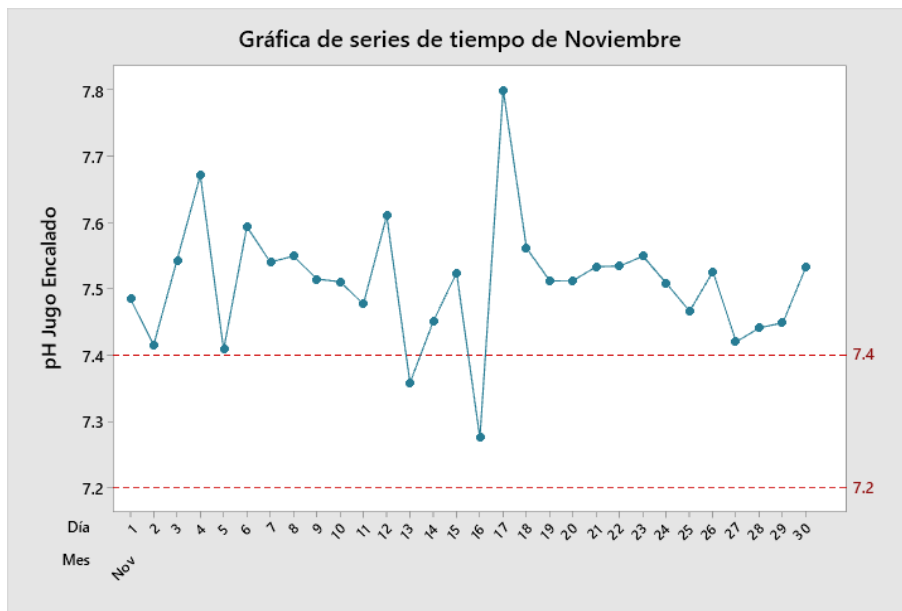


Figura 1.5: Gráfica de Serie de Tiempos Noviembre

Fuente: Autoría propia

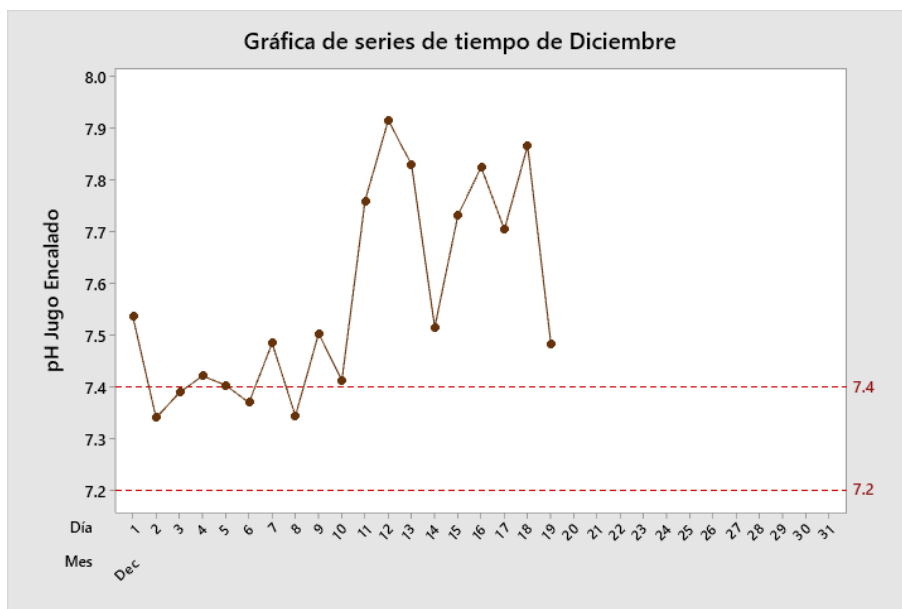


Figura 1.6: Gráfica de Serie de Tiempos Diciembre

Fuente: Autoría propia

Nota: Los datos de la tabla son los pH promedios del día.

En las gráficas de serie de tiempo (figuras 1.1 - 1.6) para cada mes no se observan tendencias definidas, son pocos los días donde el pH se encuentra dentro de especificación. El día 7 de julio el pH llegó a su promedio máximo de 8.12 (figura 1.1), caso contrario, para

los días 2 y 16 de agosto el pH de jugo encalado llegó al promedio mínimo de 7.23 (figura 1.2) durante la zafra 2020.

Para determinar si el proceso es o no capaz de cumplir con las especificaciones, se realizó el análisis de estadístico de la variable pH de jugo encalado, con los siguientes resultados:

Análisis de supuestos

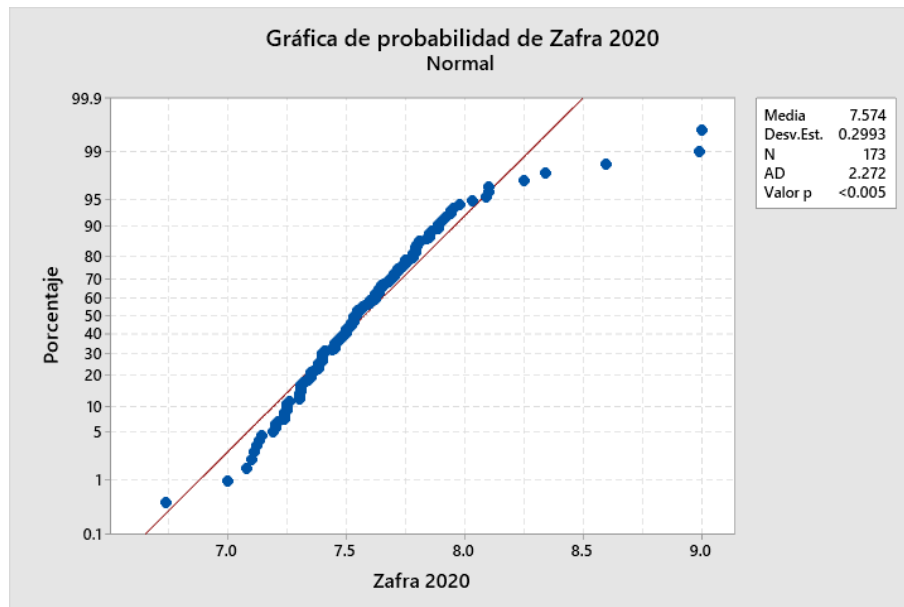


Figura 1.7: Gráfica de normalidad

Fuente: Autoría propia

Con valor $p < 0.05$ los datos no tienen distribución normal como se muestra en la figura 1.7, por lo tanto, se propone realizar una gráfica de corridas para determinar las posibles causas de variación en el proceso.

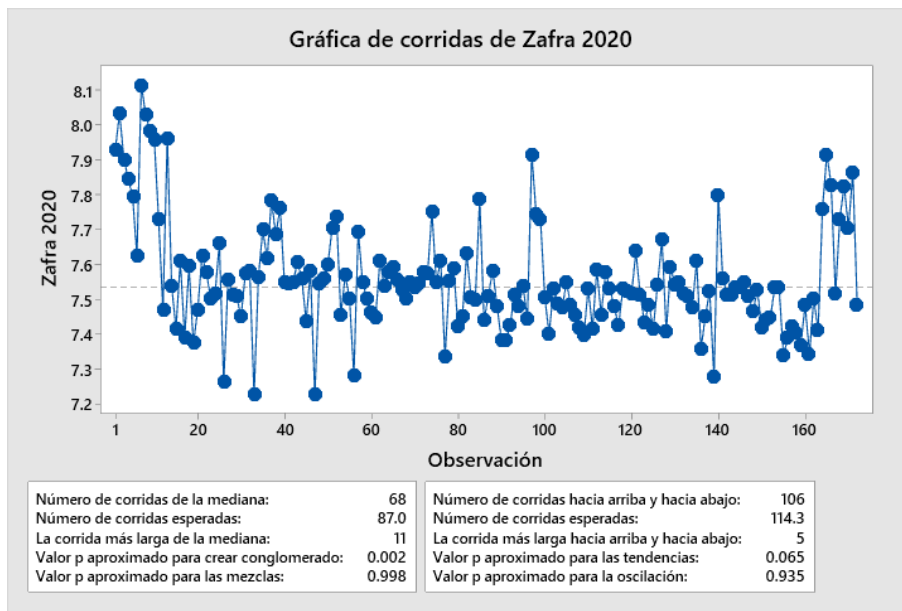


Figura 1.8: Gráfica de corridas

Fuente: Autoría propia

Con valor $p = 0.002$ se observa que puede haber conglomerado en los datos lo que indica que existen causas especiales de variación como se presenta en la figura 1.8. Posiblemente esta dispersión es provocada por lo variable del flujo de jugo encalado que entra al proceso o a su vez que el equipo no esté debidamente verificado. Las posibles causas serán evaluadas en el transcurso del proyecto.

Análisis de Capacidad

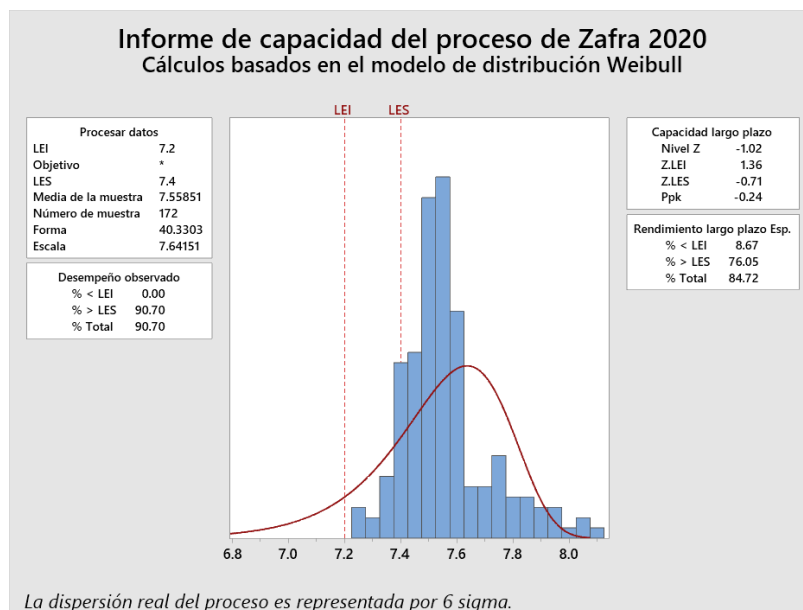


Figura 1.9: Análisis de Capacidad del estado actual

Fuente: Autoría propia

Dada la falta de estabilidad detectada en el proceso, se realizó el análisis de capacidad (figura 1.9) no definitivo donde nos presenta un Nivel Z igual a -1.02, Pp igual a 0.11 y Ppk igual a -0.24 lo que indica que el proceso necesita mejoras significativas. Los datos no se ajustan a las especificaciones teniendo una curva con sesgo hacia la derecha del límite superior, mostrando un serio problema de localización además de la excesiva dispersión.

El incumplimiento en la especificación de la variable pH de jugo encalado durante la Zafra 2020. El 75% de los datos medidos no cumplen con la especificación debido a su alta dispersión, teniendo una elevada variabilidad, siendo 5% como valor máximo de incumplimiento de mediciones requeridas por producción.

1.3. Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Reducir la variabilidad en la especificación del pH de jugo encalado entre 7.2 a 7.4 definido por el corporativo azucarero, empleando herramientas de control estadístico de procesos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar análisis de situación actual con respecto a la variable respuesta pH del jugo encalado.
- Identificar las causas críticas que originan variabilidad en la variable respuesta pH del jugo encalado.
- Establecer acciones de mejora orientadas a reducir la variabilidad en la variable respuesta pH del jugo encalado.
- Validar los resultados de acciones de mejora en variable respuesta pH del jugo encalado.

1.4. Metodología

Siguiendo la metodología DMAIC se determinaron las etapas de Definición y Medición en las cuales se presentó el estado actual del proceso, donde se observa que no es capaz de cumplir con las especificaciones, en las etapas de Análisis, Mejora (Improve) y Control se utilizan las siguientes herramientas para encontrar la posible mejora a la variabilidad y al problema de localización:

1.4.1. Análisis

1.4.1.1 Análisis Causa-Raíz

Se realiza el análisis de causa-raíz utilizando el diagrama de Ishikawa o espina de pescado donde se examinan y establecen las causas potenciales que originaron el problema.

El diagrama Causa-Raíz se utiliza como una herramienta sistemática para encontrar, seleccionar y documentar las causas de variación de calidad de producción y organizar la relación entre ellas. (Garza, 2003).

1.4.1.2. Cinco Por qué's

Con esta técnica se tiene más profundidad en el análisis realizado en el diagrama de Ishikawa. Consiste en hacer la pregunta ¿por qué? a cada causa identificada en el diagrama de causa efecto con el fin de identificar la o las causas principales más probable de un problema (Manuel Baro Tijerina, Mauricio Estrada Ruiz, Iván García Garrobo, 2016), por lo general se identifica la causa en el tercer por qué.

1.4.2. Mejora (Improve)

1.4.2.1. Plan de acción o implementación

En este punto ya tenemos clara la o las causas que originan la variabilidad en el pH de jugo encalado, se propone realizar un plan de acción o implementación. Este plan se lo realiza con la finalidad de ejecutar las mejoras en la etapa de encalado para reducir la variabilidad del pH, la implementación será de manera progresiva se deben responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué acciones deberán ser implementadas?
- ¿Cómo serán implementadas?
- ¿Dónde serán implementadas?
- ¿Cuál es la fecha de entrega de la implementación?
- ¿Por qué se deben implementar?
- ¿Quién es el responsable de la implementación?

Se ejecuta una matriz con las interrogantes indicadas.

1.4.2.2. Evidencias de la implementación

Aquí se muestran las evidencias fotográficas de las implementaciones realizadas en la etapa de encalado de jugo que lograron reducir la variabilidad de pH, de igual manera se evidenciarán gráficas de línea de tiempo con el antes y después para verificar que la mejora fue implementada con éxito.

1.4.2.3. Diseño de experimentos

Las condiciones del proceso favorecen al diseño de experimento que consiste en cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener hallar los niveles adecuados de operación que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras (Pulido & Salazar, 2012).

1.4.3. Control

1.4.3.1. Gráfica de serie de tiempos

Esta gráfica se utiliza cuando desea examinar las tendencias en los datos con el paso del tiempo. La evaluación de datos corresponderá a los valores de pH de jugo encalado en la zafra 2020 y después de la implementación de las mejoras en la zafra 2021.

1.4.3.2. Análisis de capacidad

La variable pH de jugo encalado es evaluada con el análisis donde se muestra la mejora de la localización de los datos entre las especificaciones dadas por el corporativo azucarero.

Para determinar que la variable pH de jugo encalado sea capaz de cumplir con las especificaciones, se utilizan los índices de capacidad entre ellos el de capacidad potencial del proceso (C_p) y el índice de capacidad real (C_{pk}); el primero mide la variabilidad o precisión (en relación con las especificaciones), y el segundo, el “centramiento” de la media del cliente (especificación) con respecto a la media del proceso μ (Velásquez Torres, 2019).

1.5. Resultados esperados

En la zafra 2020 la pérdida química en el jugo encalado fue 0.02 Kg sacarosa/Ton caña molida equivalente a \$16,416.32. Con la implementación del control estadístico en la medición del pH de jugo encalado se espera reducir la variabilidad a 50% de cumplimiento en la especificación, por ende, lograremos disminuir la pérdida química por inversión de la sacarosa en 0.013 Kg sacarosa/Ton caña molida equivalente a \$ 10,670.61; con un ahorro de \$ 5,745.71.

CAPITULO 2.

2.1. Análisis

2.1.1. Diagrama Causa-Raíz

Con el problema planteado, es necesario identificar las posibles causas que generan la variabilidad en el pH de Jugo Encalado

Para ello, se involucraron los departamentos responsables del producto: producción y calidad. Las sesiones de trabajo fueron coordinadas por el departamento producción y como resultado de una lluvia de ideas se determinó que era necesario realizar un mapeo de todo el proceso de producción de azúcar y se construyó un diagrama de causa-efecto (figura 2.1) donde se lograron determinar las potenciales causas y efectos de la variabilidad de la variable de respuesta pH de jugo encalado.

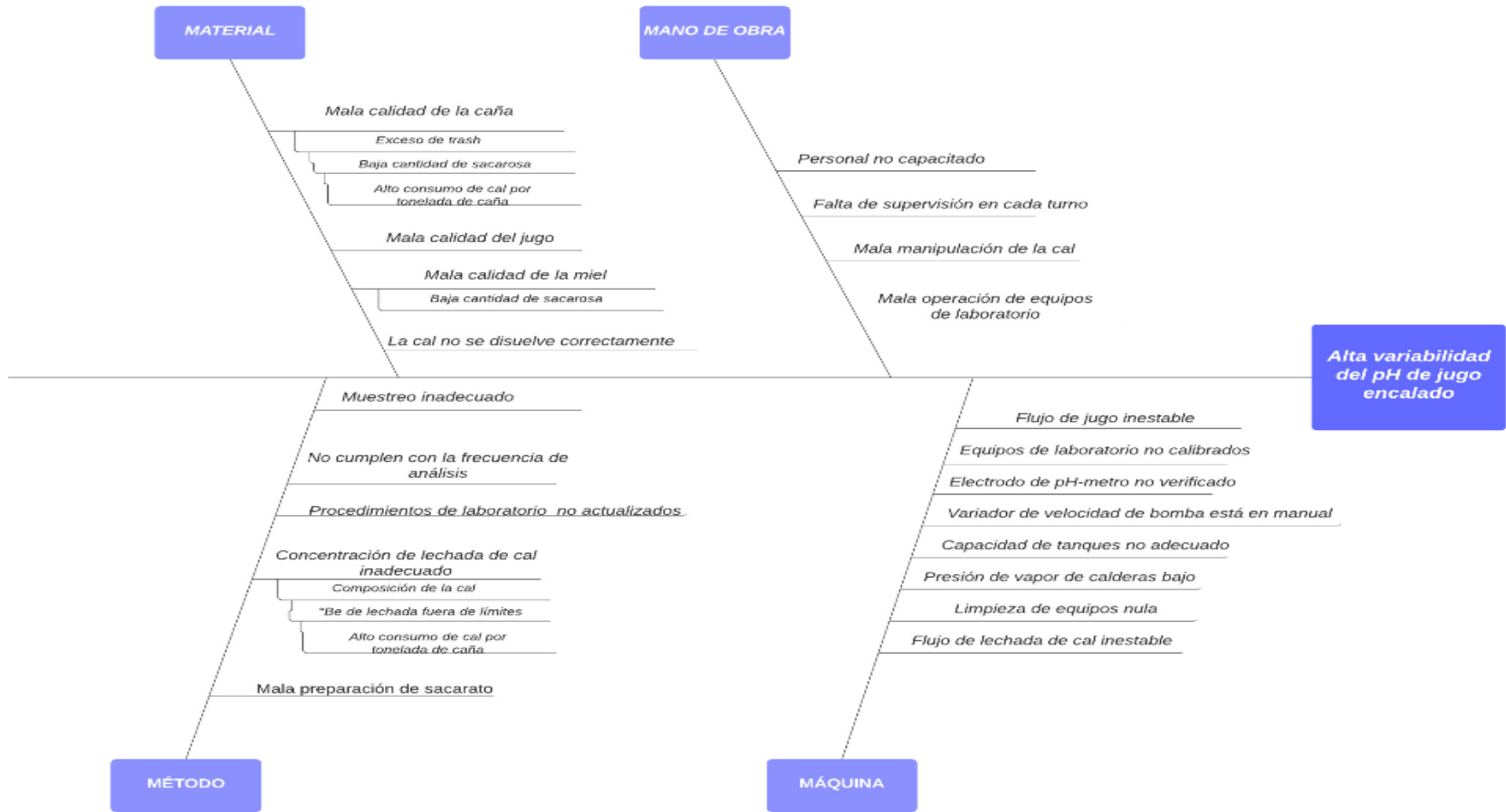


Figura 2.1: Diagrama de Ishikawa

Fuente: Autoría propia

2.1.2. Técnica de los 5 porqués

Luego de haber obtenido las posibles causas en la técnica aplicada en el punto anterior, se aplicó la herramienta de los 5 porqués con la finalidad de encontrar la principal causa que provoque la variabilidad en el pH del jugo encalado.

Una vez en el Gemba, se analizaron todas las posibles causas que resultaron del diagrama Causa Raíz y que podría afectar el pH de jugo encalado en el proceso.

Mano de obra

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 1	
Personal no capacitado	
1 ¿Por qué no se capacita al personal?	
Porque se basan en la experiencia del operador	
Hipótesis 1	
Cumple	Si
2 ¿Por qué se basan en la experiencia del operador?	
Porque es la metodología que se ha llevado durante mucho tiempo	
Hipótesis 2	
Cumple	Si
3 ¿Por qué se ha realizado la misma metodología por mucho tiempo?	
Porque no existe una metodología estandarizada	
Hipótesis 3	
Cumple	Si
Acción	
Estandarizar la metodología de trabajo del operador de la planta de cal	

Al consultarle al operador de turno de la planta sobre cómo realiza la preparación de insumos para la etapa de encalado, indicó lo siguiente:

2. Preparación de lechada de cal: Vacían en la tolva de alimentación 110 sacos de 25kg de cal, de esta tolva, pasa por un tornillo sinfín donde cae al tanque que contiene agua. El agua contenida en el tanque no tiene una medida exacta. La cantidad de agua usada para preparar la lechada está basada en la experiencia del operador.

3. Preparación de sacarato: La lechada obtenida del punto anterior pasa al tanque donde contiene miel B, la adición de lechada de cal llega al punto de tener una concentración de 8 °Be (según producción, el rango permitido es 8°Be a 10°Be). El operador cuenta con un



Figura 2.2: Operadores de la planta de cal con los equipos de protección personal

Fuente: Autoría propia

Mano de obra

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 3	
Falta de supervisión en cada turno	
1 ¿Por qué falta la supervisión al operador de cada turno de trabajo?	
Porque los jefes y supervisores no tienen tiempo de dar seguimiento a este proceso	
Hipótesis 1	
Cumple	No
Acción	
El jefe de sección o supervisor de turno son los encargados de realizar el monitoreo de la concentración de lechada de cal y que se registre debidamente en el formato entregado	

En la figura 2.3 se muestra a la supervisora de producción de turno que se encarga de realizar el debido seguimiento al operador de la planta de cal, controlando la operación y registros.

de agua en el electrodo. Esta práctica la realiza antes de medir el pH de la muestra traída de fábrica.

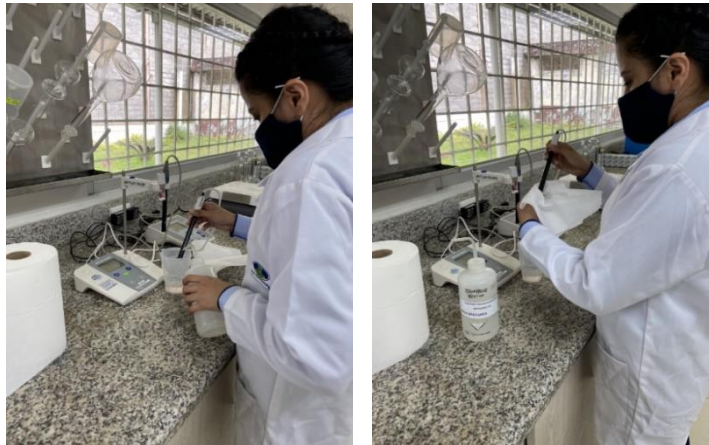


Figura 2.4: Analista de laboratorio limpiando el equipo
medidor de pH

Fuente: Autoría propia

Máquina

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 5	
Flujo de jugo inestable	
1 ¿Por qué hay un flujo de jugo inestable?	
Porque no hay una molienda continua	
Hipótesis 1	
Cumple	Si
2 ¿Por qué no hay una molienda continua?	
Porque hay paradas de molienda	
Hipótesis 2	
Cumple	Si
3 ¿Por qué hay paradas de molienda?	
Porque hay vacíos en los conductores intermedios	
Hipótesis 3	
Cumple	Si
4 ¿Por qué hay vacíos entre los conductores intermedios?	
Porque hay presencia de piedras	
Hipótesis 4	
Cumple	Si
Acción	
Al momento de llegar una camión con caña, descargar en el patio y zarandear la caña para desprender las pierdas que vienen con la materia prima	

La principal causa de la inestabilidad del flujo de jugo es debido a las paradas de molienda por motivo del atore de las piedras entre los conductores principal e intermedios del tren de molinos tal como se muestra en la figura 2.5.



Hay que coordinar en campo no es posible que con la llenadoras carguen este tamaño de piedras



Figura 2.5: Piedras atoradas entre los conductores del tren de molinos
Fuente: Autoría propia

IDENTIFICACIÓN DEL ÍTEM DE CALIBRACIÓN						
ITEM:	pHMETRO	CÓDIGO ⁽¹⁾ :	15003269			
MARCA:	METTLER TOLEDO	RESOLUCIÓN:	0,01			
MODELO:	9EVENGO	INTERVALO DE MEDIDA ⁽²⁾ :	0~14			
SERIE:	1230305230	UBICACIÓN ⁽³⁾ :	LAB-CONTROL DE CALIDAD			
MATERIALES DE REFERENCIA UTILIZADOS						
CÓDIGO	NOMBRE	MARCA	Nº CAT.	LOTE	FECHA CERT.	FECHA EXP.
EL.MRC.001	BUFFER SOLUTION pH 4.005	CONTROL COMPANY	4880	CC-664176	2020-02-26	2022-02-26
EL.MRC.002	BUFFER SOLUTION pH 7.000	CONTROL COMPANY	4881	CC671988	2020-04-28	2022-04-28
EL.MRC.003	BUFFER SOLUTION pH 10.012	CONTROL COMPANY	4882	CC662517	2020-02-18	2022-02-18
EQUIPAMIENTO UTILIZADO						
CÓDIGO	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	FECHA CAL.	VENCE CAL.
EL.PT.048	TERMOHIGROMETRO	TAYLOR	1523	NO ESPECIFICA	2020-01-17	2020-07-17
DECLARACIÓN DE TRAZABILIDAD METROLÓGICA						
Los resultados de calibración contenidos en este certificado son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones a través del NIST (National Institute of Standards and Technology - Estados Unidos) o de otros Institutos Nacionales de Metrología (INMs).						
AJUSTES						
Punto de Ajuste:	4,005	Punto de Ajuste:	7,000	Punto de Ajuste:	10,012	
Lectura Inicial:	3,94	Lectura Inicial:	6,95	Lectura Inicial:	9,96	
Temp. Inic. (°C):	25,1	Temp. Inic. (°C):	25,1	Temp. Inic. (°C):	25,1	
Lectura Final:	4,00	Lectura Final:	7,00	Lectura Final:	10,01	
Temp. Fin. (°C):	25,0	Temp. Fin. (°C):	25,0	Temp. Fin. (°C):	25,0	
CALIBRACIÓN						
MÉTODO:	COMPARACIÓN DIRECTA MEDIANTE MATERIALES DE REFERENCIA CERTIFICADOS					
DOCUMENTO DE REFERENCIA:	CEM QU-003:2008 (EDICIÓN DIGITAL 1)					
PROCEDIMIENTO:	PEC.EL.11					
LUGAR DE CALIBRACIÓN:	LABORATORIO					
TEMPERATURA AMBIENTAL:	24,3 °C	±0,2 °C		HUMEDAD RELATIVA:	56,3 %HR	±0,5 %HR
RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN						
Unidad	Nominal	Valor MRC (x)	Ítem (y)	Error de Medición	Incertidumbre (k= 2)	Temperatura (°C)
Unidades de pH	4,005	4,008	4,01	0,002	0,014	25,0
Unidades de pH	7,000	6,999	7,00	0,001	0,014	25,1
Unidades de pH	10,012	10,007	10,01	0,003	0,012	25,1

Figura 2. 6: Certificado de calibración vigente del medidor de pH

Fuente: Autoría propia

Máquina

Técnica de 5 porqués
Alta variabilidad en pH de jugo encalado

Causa 7
Electrodo de pH-metro no verificado

1 ¿Por qué no se verifica el electrodo del pH-metro?
Porque la supervisora de metrología no cumple con la frecuencia de verificación del electrodo

Hipótesis 1
Cumple No

Acción
Se observa el cumplimiento de la frecuencia de verificación del electrodo del pH-metro

En la figura 2.7 se adjuntan los registros diarios de verificación del equipo medidor de pH del laboratorio de Control de Calidad donde se puede notar que el equipo es apto para ser utilizado durante la jornada de trabajo en el laboratorio

Datos del equipo de medición

Nombre de equipo o instrumento: pHmetro digital (15003269) Modelo: Saven 60
 Marca: Mettler Toledo Serie: 1230305230 Error máximo: ± 0.04

Verificación del equipo de medición

Fecha	Lectura patrón	Lectura real	Diferencia Δ	Resultado	Firmas
1-12-20	4	3.99	-0.01	conforme	J. Chamadain
	7	7.02	0.02	conforme	J. Chamadain
2-12-20	4	4.01	0.01	conforme	J. Chamadain
	7	7.01	0.01	conforme	J. Chamadain
3-12-20	4	4	0	conforme	J. Chamadain
	7	6.99	-0.01	conforme	J. Chamadain
4-12-20	4	4	0	conforme	J. Chamadain
	7	6.98	-0.02	conforme	J. Chamadain
5-12-20	4	4.0	0	conforme	J. Chamadain
	7	7.02	0.02	conforme	J. Chamadain
6-12-20	4	4.01	0.01	conforme	J. Chamadain
	7	7.01	0.01	conforme	J. Chamadain
7-12-20	4	4.02	+0.02	conforme	J. Chamadain
	7	6.99	-0.01	conforme	J. Chamadain

Datos del equipo de medición

Nombre de equipo o instrumento: pHmetro digital (15003269) Modelo: Saven 60
 Marca: Mettler Toledo Serie: 1230305230 Error máximo: ± 0.04

Verificación del equipo de medición

Fecha	Lectura patrón	Lectura real	Diferencia Δ	Resultado	Firmas
12-12-20	4	4.0	0	conforme	J. Chamadain
	7	7.01	0.01	conforme	J. Chamadain
13-12-20	4-7	4.01 / 7.02	0.01 / 0.02	conforme	J. Chamadain
14-12-20	4	3.98	-0.02	conforme	J. Chamadain
	7	7	0	conforme	J. Chamadain
15-12-20	4	4	0	conforme	J. Chamadain
	7	7	0	conforme	J. Chamadain
16-12-20	4	3.99	-0.01	conforme	J. Chamadain
	7	6.99	-0.01	conforme	J. Chamadain
17-12-20	4	4	0	conforme	J. Chamadain
	7	7	0	conforme	J. Chamadain
18-12-20	4	3.99	-0.01	conforme	J. Chamadain
	7	7	0	conforme	J. Chamadain
19-12-20	4	4	0	conforme	J. Chamadain
	7	7.01	0.01	conforme	J. Chamadain

Figura 2.7: Control de verificación diario del medidor de pH

Fuente: Autoría propia

Máquina

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 8	
Variador de velocidad de bombas está en manual	
1 ¿Por qué el variador de bombas está en manual?	
Porque el componente de automatización no funciona	
Hipótesis 1	
Cumple	Si
2 ¿Por qué la automatización de las bombas no funciona?	
Porque se descopuso por su alta utilización	
Hipótesis 2	
Cumple	No
Acción	
Al trabajar la bomba en estado manual, se puede setear al 70% de su capacidad y tener un flujo constante de jugo	

Se está trabajando con el variador de velocidad de la bomba de jugo encalado en manual, es decir, la bomba esta seteada en un 70% de su capacidad, los tanques siempre deben estar llenos para mantener el flujo constante.

Para comprobar que la bomba está seteada al 70%, en la figura 2.8 se observan 1545 rpm, este valor lo confirmó el jefe de instrumentación en el Gemba. Se manejan rangos entre 1500 y 1800 rpm para que el variador de velocidad funcione al 70%



Figura 2.8: RPM que indican que la bomba trabaja al 70%

Fuente: Autoría propia

Como se muestra en la figura 2.9, el valor en letra celeste nos muestra el setting de la bomba 72% y el valor en amarillo nos muestra el flujo de jugo que entra a fábrica 563.9 m³/h considerado flujo estable.

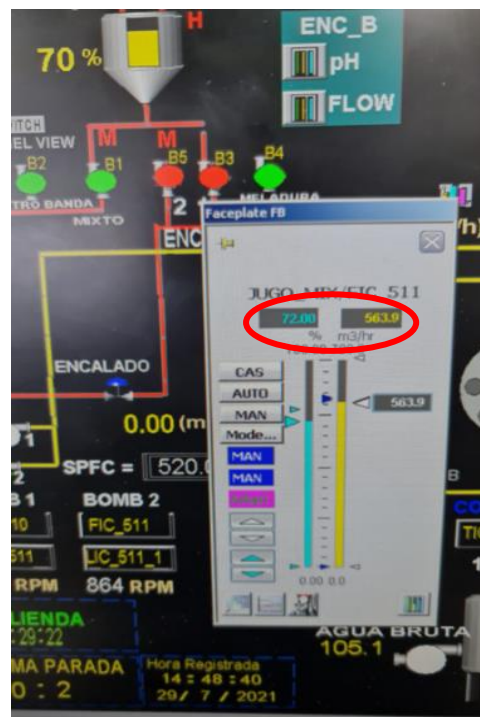


Figura 2.9: Seteo de bomba y flujo de jugo encalado

Fuente: Autoría propia

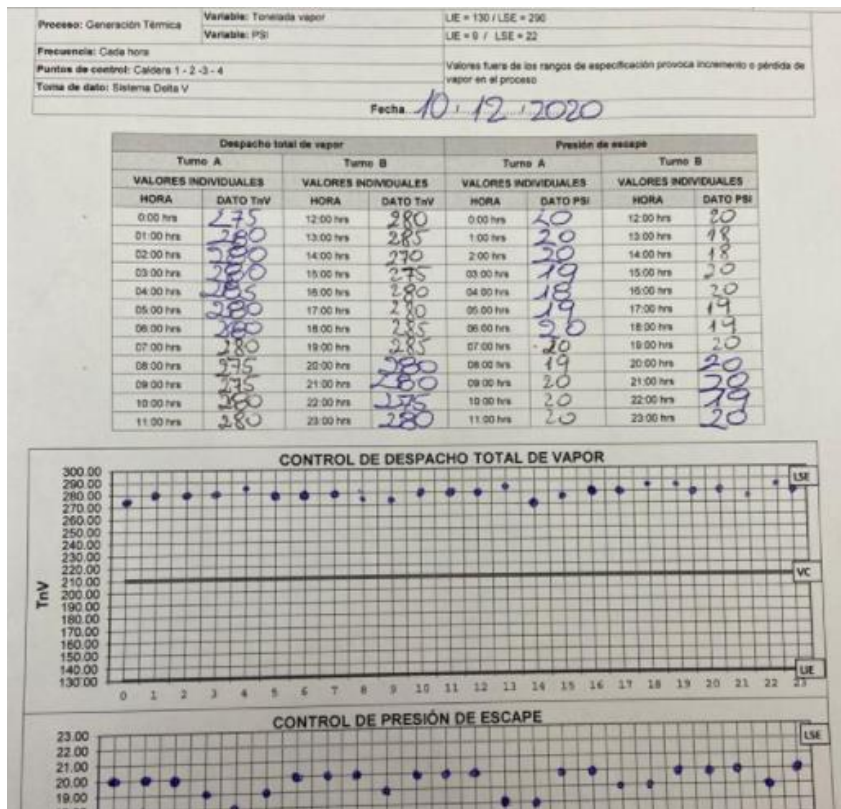


Figura 2.11: Registro de presión de vapor de calderas
Fuente: Autoría propia

Máquina

Técnica de 5 porqués
Alta variabilidad en pH de jugo encalado

Causa 11
Limpieza de equipos de fábrica es nula

1 ¿Por qué la limpieza de equipos de fábrica es nula?
Porque no cumplen con las frecuencias establecidas por el departamento de producción

Hipótesis 1
Cumple No

Acción
Producción lleva el control de la limpieza el mismo que el auditor de fábrica da el seguimiento durante sus inspecciones diarias

El departamento de producción se encarga de controlar el orden y limpieza en áreas y equipos de fábrica con el checklist de limpieza (figura 2.12).

Sección:	Semana: 7 - 13 Diciembre												Año: 2020	
Limpieza y/o Desinfección de Infraestructura	Lun: 7		Mar: 8		Miér: 9		Jue: 10		Vier: 11		Sáb: 12		Dom: 13	
	Ejec.	Verif.	Ejec.	Verif.	Ejec.	Verif.	Ejec.	Verif.	Ejec.	Verif.	Ejec.	Verif.	Ejec.	Verif.
Paredes y pisos en áreas internas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pisos en áreas externas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Baños y ventanas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tolvas y pisos del área	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bandas transportadoras y sus cubiertas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Filtros de acondicionadores de aire	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cortinas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Techos y canalones	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pasamanos y escaleras	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Oficina y casilleros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transportadores de tabillas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tableros y equipos de control	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zarandas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Evaporadores y preevaporadores	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Calentadores de jugo encalado	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tanques de sublimación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Minillas y niveles	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vacuómetro, raspador, rociador y malla	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Car...	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Figura 2.12: Checklist de limpieza de áreas y equipos de fábrica

Fuente: Autoría propia

El resultado de que se cumple con el control se muestra en la figura 2.13 donde se observan áreas limpias en distintos sectores de la planta durante el periodo de zafra 2020.

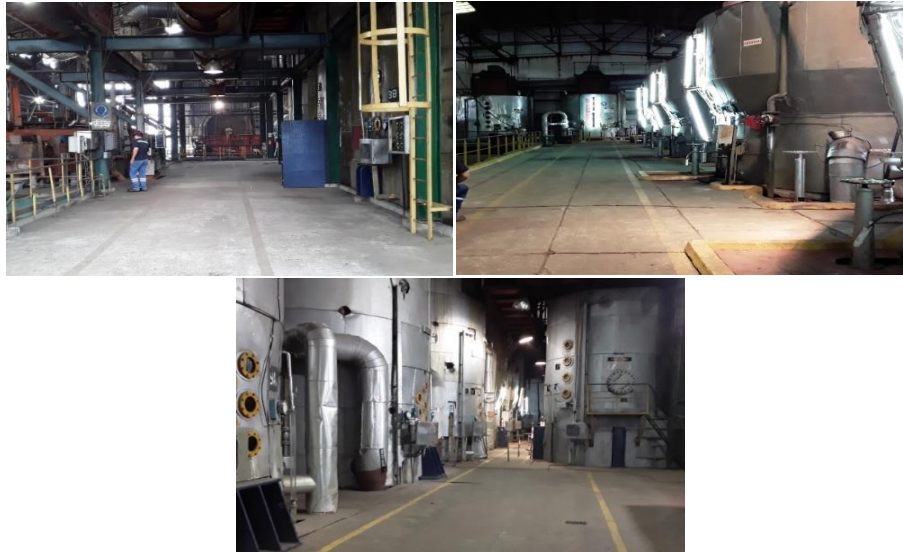


Figura 2.13: Checklist de limpieza de áreas y equipos de fábrica

Fuente: Autoría propia

Máquina

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 12	
Flujo de lechada de cal inestable	
1 ¿Por qué el flujo de sacarato es inestable?	
Porque hay frecuente taponamiento de las tuberías que conducen la lechada	
Hipótesis 1	
Cumple	No
Acción	
Con la concentración adecuada (18 °Be a 22° Be) se evita el taponamiento frecuente de tuberías	

Como se observa en la figura 2.14 perteneciente al registro de control de la concentración de lechada de cal a ser utilizada en el proceso de producción de azúcar, los valores medidos se encuentran en el rango de 20 a 22 °Be lo que nos dice que la concentración de la lechada de cal es la adecuada para el proceso.

Fecha:	Sueves 10 Dic. 2020	Lechada de Cal	LIE 18 °Be	LSE 22 °Be
Proceso:	Encalado de Jugo	Sacarato de Calcio	LIE 8 °Be	LSE 10 °Be
Variable:	°Be	Lechadas de cal preparadas con °Be abajo del LIE causan un insuficiente encalamiento del jugo, esto causa dificultades en la clarificación del jugo con inversión de la sacarosa.		
Frecuencia:	Cada Batch Preparado			
Punto de control:	Tanque de preparación de lechada de cal / tanque de dilución de lechada	Toma de dato:	Operador de Planta de Cal	

Turno A + B		Turno A + B	
Lechada de cal		Sacarato de calcio	
Hora carga	°Be	Hora carga	°Be
01:00 hrs	20	01:00 hrs	9
03:00 hrs	20	03:00 hrs	9
05:00 hrs	20	05:00 hrs	9
07:00 hrs	20	07:00 hrs	9
09:00 hrs	20	09:00 hrs	9
11:00 hrs	20	11:00 hrs	9
13:00 hrs	21	13:00 hrs	9
15:00 hrs	21	15:00 hrs	9
17:00 hrs	21	17:00 hrs	9
19:00 hrs	21	19:00 hrs	9
21:00 hrs	21	21:00 hrs	9
23:00 hrs	21	23:00 hrs	9
Promedio	21	Promedio	9

Duche
 Operador Turno A
 Rodriguez
 Operador Turno B
 Jefe de Turno

Figura 2.14: Registro de control de concentración de lechada de cal

Fuente: Autoría propia

Método

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 13	
Mala preparación de sacarato	
1 ¿Por qué la preparación de sacarato es mala?	
Porque no tiene la concentración adecuada para ser dosificada en el jugo	
Hipótesis 1	
Cumple	No
Acción	
El operador controla que la concentración de sacarato se encuentre entre los límites permitidos (8° Be a 10 °Be)	

En la figura 2.15, se observa el registro de control de la concentración de sacarato a ser utilizada en el proceso de producción de azúcar, el operador de turno se encarga de tomar una muestra de sacarato y medir los °Be para luego registrar en el formato de control. Como se puede notar como la concentración cumple con los límites de especificación de producción entre 8 y 10 °Be

Fecha:	Lunes 07 Dic. 2020	Lechada de Cal	LIE 18 °Be	LSE 22 °Be
Proceso:	Encalado de Jugo	Sacarato de Calcio	LIE 8 °Be	LSE 10 °Be
Variable:	°Be	Lechadas de cal preparadas con °Be abajo del LIE causan un insuficiente encalamiento del jugo, esto causa dificultades en la clarificación del jugo con inversión de la sacarosa		
Frecuencia:	Cada Bach Preparado			
Punto de control:	Tanque de preparación de lechada de cal / tanque de dilución de lechada.	Toma de dato:	Operador de Planta de Cal	

Turno A + B		Turno A + B	
Lechada de cal		Sacarato de calcio	
Hora carga	°Be	Hora carga	°Be
01:00 hrs	20	01:00 hrs	9
03:00 hrs	20	03:00 hrs	9
05:00 hrs	20	05:00 hrs	9
07:00 hrs	20	07:00 hrs	9
09:00 hrs	20	09:00 hrs	9
11:00 hrs	20	11:00 hrs	9
13:00 hrs	20	13:00 hrs	9
15:00 hrs	20	15:00 hrs	9
17:00 hrs	20	17:00 hrs	9
19:00 hrs	20	19:00 hrs	9
21:00 hrs	20	21:00 hrs	9
23:00 hrs	20	23:00 hrs	9
Promedio	20	Promedio	9

Duche
Operador Turno A

Rodriguez
Operador Turno B

Jefe de Turno

Figura 2.15: Registro de control de sacarato

Fuente: Autoría propia

Método

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 14	
Concentración de lechada de cal inadecuada	
1 ¿Por qué la concentración de la lechada de cal es inadecuada?	
Porque se está dosificando más de lo permitido	
Hipótesis 1	
Cumple	Si
Porque el consumo de cal por tonelada de caña es alto	
Hipótesis 2	
Cumple	Si
2 ¿Por qué se está dosificando más de lo permitido?	
Porque no hay un proceso estandarizado de preparación	
Hipótesis 3	
Cumple	Si
3 ¿Por qué el consumo de cal por tonelada de caña es alto?	
Porque no hay un control adecuado en la dosificación del insumo	
Hipótesis 4	
Cumple	Si
Acción	
Definir un proceso donde se indiquen las cantidades determinadas para la preparación de la lechada de cal.	
Automatizar el control de dosificación de la cal al tanque de jugo.	

El corporativo dispuso que la concentración deseada de cal al jugo es de 1 kg/tn de caña, es decir, durante el proceso de revisión en el Gemba se logró observar que la concentración de lechada de cal es de 1.27 kg/tn de caña durante el año 2020 (tabla 2.1), estando por encima del límite permitido por el corporativo. En consecuencia, la cal ha incurrido en gastos valorados en \$ 91,843 tal como se muestra en la tabla.

Tabla 2.1: Consumo semanal y gasto por consumo de cal en fábrica

2020		JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ACUMULADO	
MOIENDA	TN	287,943	321,269	316,124	315,748	289,892	166,171	1,707,842	
INSUMOS	UMB	RATIO	RATIO	RATIO	RATIO	RATIO	RATIO	RATIO	UM RATIO
ACIDO FOSFORICO	KG	↓ 0.08	↓ 0.07	↑ 0.08	↔ 0.08	↓ 0.06	↔ 0.06	0.07	0.04 Kg/Tn Caña
AZUFRE	KG	↑ 190.49	↓ 163.80	↑ 208.03	↓ 174.56	↓ 163.30	↑ 212.39	180.71	250.00 ppm
CAL HIDRATADA	KG	↑ 1.35	↓ 1.24	↑ 1.34	↓ 1.23	↑ 1.30	↓ 1.12	1.27	1.00 Kg/Tn Caña
FLOCULANTE PARA JARABE	KG	↓ 1.63	↑ 1.95	↓ 1.62	↑ 2.11	↓ 1.93	↓ 1.83	1.85	2.00 ppm
FLOCULANTE P/CLARIFICACION	KG	↓ 8.94	↓ 7.49	↑ 8.39	↑ 8.48	↑ 8.58	↓ 7.44	8.34	5.00 ppm
FLOCULANTE P/CACHAZA	KG	↑ 8.57	↓ 6.29	↑ 9.43	↓ 7.21	↑ 7.22	↑ 8.36	7.80	2.00 ppm

2020		JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	2020
INSUMOS	UMB							
ACIDO FOSFORICO	\$	14735	11885	15832	16515	7198	1644	60831
AZUFRE	\$	2731	7477	2016	3762	3861	374	19568
CAL HIDRATADA	\$	20345	15577	21145	15091	17022	3928	91843
FLOCULANTE PARA JARABE	\$	888	109	1026	191	113	157	1718
FLOCULANTE P/CLARIFICACION	\$	5732	3632	5040	4689	4882	2033	26651
FLOCULANTE P/CACHAZA	\$	9417	6709	11838	8917	7627	4971	49472

Fuente: Reporte de consumos de insumos químicos

Método

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 15	
Procedimientos de laboratorio no actualizados	
1 ¿Por qué los procedimientos de laboratorio no están actualizados?	
Porque el depto. de Gestión de Calidad no ha realizado el seguimiento a los procedimientos para su actualización	
Hipótesis 1	
Cumple	No
Acción	
Los procedimientos de Control de Calidad se encuentran actualizados en el sistema de gestión documental de la empresa	

La figura 2.16 nos muestra el procedimiento actual a seguir para medir el pH en una muestra de jugo encalado en el laboratorio

AGROAZÚCAR COMERCIO S.A.	AREA	Control de Calidad		CODIGO	EC-ILB-00-IN
				FECHA	Página 1 de 2
				10-FEB-21	
	SISTEMA	Determinación de pH en Jugo Encalado			
		ACTUALIZACIÓN No. 4			

1. PROPÓSITO Y ALCANCE

1.1 **Propósito:** Determinar el pH en Jugo Encalado.

1.2 **Alcance:** El presente documento se aplica a la Determinación de pH de Jugo Encalado del proceso.

2. DEFINICIONES

Para fines de este documento se aplican las siguientes definiciones:

2.1 **La empresa:** Agroazúcar Ecuador S.A.

2.2 Las medidas del PH se realizan por la medida de la diferencia de potencial entre un par de electrodos colocados dentro de una solución. Se utiliza un electrodo de vidrio en combinación con un electrodo de referencia, también hay un solo electrodo de combinación.

2.3 La temperatura tiene un efecto sobre el potencial del electrodo, algunos electrodos tienen sistema de compensación, o también se logra compensar en parte este efecto por ajuste manual del sistema del pH-metro a la temperatura de la muestra. Se utilizan soluciones buffer para calibración a la misma temperatura de las muestras, ya que el pH de las soluciones buffer varía muy poco con la temperatura.

3. POLÍTICAS

General

3.1 La Jefatura de Control de Calidad, es responsable de la revisión periódica de este procedimiento.

3.2 La Jefatura de Control de Calidad es responsable de la gestión para la toma de las muestras y sus análisis respectivos.

4. EQUIPOS Y MATERIALES

MATERIALES:

- pH-metro
- Vaso de precipitación 250 ml

5. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

- Verificar diariamente y ajustar el pH-metro con una solución buffer estándar.
- Enfriar la muestra a temperatura ambiente.
- Lavar los electrodos y el recipiente con una porción de la muestra a analizar.

AGROAZÚCAR COMERCIO S.A.	AREA	Control de Calidad		CODIGO	EC-ILB-00-IN
				FECHA	Página 2 de 2
				10-FEB-21	
	SISTEMA	Determinación de pH en Jugo Encalado			
		ACTUALIZACIÓN No. 4			

pH= lectura del pH-metro

NOTA. - Mantener el equipo en buen estado de limpieza, dejar siempre los electrodos inmersos en solución buffer

8. SEGURIDAD INDUSTRIAL E HIGIENE

El analista debe utilizar guantes quirúrgicos, mandil de tela y mascarilla para la preparación y manejo y análisis de las muestras.

Figura 2.16: Procedimiento para determinar de pH en jugo encalado

Fuente: Autoría propia

Método

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 16	
Muestreo inadecuado	
1 ¿Por qué hay un muestreo inadecuado?	
Porque los analistas desconocen los métodos de muestreo del laboratorio	
Hipótesis 1	
Cumple	No
Acción	
Cada analista tiene la competencia y las aptitudes para realizar los muestreos de los análisis que están a su cargo	

Como se observa en la figura 2.17, la persona encargada de tomar la muestra de jugo encalado realiza la acción correcta de cómo tomar la muestra de jugo para ser llevada al laboratorio y ser analizada.

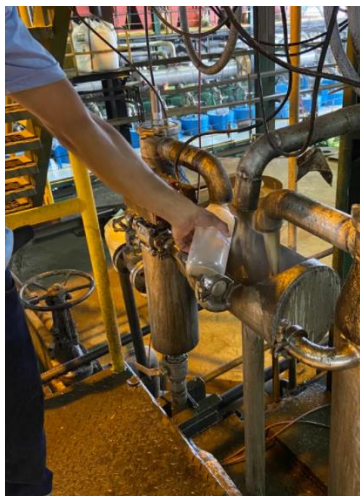


Figura 2.17 Personal de control de calidad realizando el muestreo de jugo encalado

Fuente: Autoría Propia

Material

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 17	
Mala calidad de la caña	
1 ¿Por qué la caña es de mala calidad?	
Porque la materia extraña que trae consigo es alta	
Hipótesis 1	
Cumple	No
Porque la cantidad de sacarosa que tiene al ser analizada es baja	
Hipótesis 2	
Cumple	No
Acción	
La caña que proviene de los canteros y es analizada en el laboratorio de materia prima muestran que es de muy buena calidad y no afecta al proceso productivo	

Como se observa en la figura 2.18, la Sacarosa Total en Caña% es el porcentaje de sacarosa proveniente de la fibra de la caña y la Materia Extraña Total% es el porcentaje de tierra, hojas provenientes de la caña. Estos análisis realizados en el laboratorio de materia prima arrojan valores de Sacarosa Total de 12.34 y 13.41 y de Materia Extraña de 5.86 y 4.86 en dos días escogidos aleatoriamente. Con relación a la sacarosa en materia prima, el ingenio considera rangos entre 11% y 15% para ser considerada conforme y para la materia extraña, el ingenio considera no más de 7% de materia extraña en la caña.

Indicador	Periodo			Indicador	Periodo		
	Día	Mes	Año		Día	Mes	Año
Caña Molida, TM	11,114.84	111,407.40	1,383,225.55	Caña Molida, TM	11,245.50	190,260.66	1,126,331.10
Caña Propia, TM	4,658.37	64,341.16	836,413.43	Caña Propia, TM	8,777.32	106,369.33	661,039.62
Caña Terceros, TM	6,456.27	47,066.24	526,812.12	Caña Terceros, TM	2,468.18	83,891.33	464,391.48
Caña Intercompany, TM	-	-	-	Caña Intercompany, TM	-	-	-
Caña Mecanizada, %	70.40	64.85	64.85	Caña Mecanizada, %	63.91	62.05	64.63
Caña Manual, %	29.60	35.15	35.15	Caña Manual, %	36.09	37.95	35.37
Caña Quema Accidental, %	-	9.27	1.95	Caña Quema Accidental, %	-	0.24	1.00
Tiempo Permanencia Propios, h	13.70	21.75	15.21	Tiempo Permanencia Propios, h	10.43	16.77	14.88
Tiempo Permanencia Terceros, h	17.48	27.67	31.87	Tiempo Permanencia Terceros, h	34.99	27.75	32.21
Tiempo Permanencia Caña Mecanizada, h	8.15	9.14	9.07	Tiempo Permanencia Caña Mecanizada, h	7.26	10.23	9.06
Tiempo Permanencia Caña Manual, h	34.33	52.14	44.85	Tiempo Permanencia Caña Manual, h	30.98	40.22	45.71
Sacarosa Total en Caña, %	12.34	12.83	12.23	Sacarosa Total en Caña, %	13.41	12.90	12.01
Sacarosa en Caña Manual, %	13.04	13.11	11.89	Sacarosa en Caña Manual, %	12.45	12.52	11.59
Sacarosa en Caña Mecanizada, %	12.05	12.68	12.42	Sacarosa en Caña Mecanizada, %	13.95	13.13	12.24
Sacarosa en Caña Propia, %	13.22	13.16	12.83	Sacarosa en Caña Propia, %	13.82	13.45	12.63
Sacarosa en Caña de Terceros, %	11.71	12.38	11.28	Sacarosa en Caña de Terceros, %	11.96	12.19	11.12
Az. Reductor Caña, %	0.83	0.86	0.91	Az. Reductor Caña, %	0.85	0.86	0.93
Fibra Total en Caña, %	13.13	13.26	13.37	Fibra Total en Caña, %	13.15	13.78	13.37
Materia Extraña Manual Verde, %		9.99	9.82	Materia Extraña Manual Verde, %	4.74	4.57	8.80
Materia Extraña Manual Quemada, %	5.28	5.05	4.79	Materia Extraña Manual Quemada, %	4.41	4.27	4.69
Materia Extraña Mecanizada Verde, %		8.68	7.79	Materia Extraña Mecanizada Verde, %	4.17	6.69	7.49
Materia Extraña Mecanizada Quemada, %	6.10	6.67	6.33	Materia Extraña Mecanizada Quemada, %	5.18	5.28	6.22
Materia Extraña Total, %	5.86	6.33	6.02	Materia Extraña Total, %	4.86	4.97	5.96
Rendimiento KgAz/Tm	101.03	105.33	100.18	Rendimiento KgAz/Tm	107.63	105.48	98.68
Rendimiento Comercial, %	10.10	10.53	10.02	Rendimiento Comercial, %	10.76	10.55	9.87

Figura 2.18: Reporte agrícola donde se muestran el porcentaje de sacarosa y materia extraña en caña

Fuente: Autoría propia

Material

Técnica de 5 porqués
Alta variabilidad en pH de jugo encalado

Causa 18
Mala calidad del jugo

1 ¿Por qué el jugo es de mala calidad?
Porque la cantidad de sacarosa es baja

Hipótesis 1
Cumple No

Porque la pureza del jugo de la caña proveniente de los canteros es baja

Hipótesis 2
Cumple No

Acción
Los análisis realizados por el laboratorio de materia prima al jugo de la caña presentan valores de sacarosa y pureza altos

En la figura 2.19 se observan los extractos de los reportes enviados por control de calidad de dos días escogidos aleatoriamente donde el Jugo Primario proveniente del primer molino de extracción tienen valores de Brix de 18.39 y 16.01 considerando un valor muy bueno puesto el ingenio maneja un valor mínimo de 15 °Brix.

Materiales en Proceso		pH	Brix	Pol	Pza	Red.%Brix
Jugo Primario	Día	5.07	18.39	16.36	88.94	4.08
	Mes	5.16	16.49	14.47	87.72	4.69
Materiales en Proceso		pH	Brix	Pol	Pza	Red.%Brix
Jugo Primario	Día	5.23	16.01	13.97	87.25	5.46
	Mes	5.20	16.66	14.64	87.87	5.01

Figura 2.19: Reporte industrial donde se muestran los °Brix y purezas de jugo primario

Fuente: Autoría propia

Material

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 19	
Mala calidad de la miel	
1 ¿Por qué la miel es de mala calidad?	
Porque la cantidad de sacarosa es baja	
Hipótesis 1	
Cumple	No
porque el pH de la miel usada en el sacarato no es el adecuado	
Hipótesis 2	
Cumple	No
Acción	
La miel obtenida del proceso y usada para el sacarato presnetan valores aceptables de sacarosa y pH	

La Miel B es el material que se mezcla con la lechada de cal para formar el sacarato y es dosificado al jugo. En la figura 2.20 se observan los extractos de los reportes enviados por Control de Calidad de dos días escogidos aleatoriamente donde la Miel B presentan valores de Brix de 78.83 y 77.03 °Brix. El ingenio maneja valores no más de 80 °Brix en miel B.

Materiales en Proceso		pH	Brix	Pol	Pza	Red.%Brix
Miel B	Día	-	78.83	43.89	55.67	
	Mes	-	79.29	43.38	54.71	
Materiales en Proceso		pH	Brix	Pol	Pza	Red.%Brix
Miel B	Día	-	77.03	43.26	56.16	
	Mes	-	78.27	43.26	55.27	

Figura 2.20: Reporte industrial donde se muestran los °Brix de la Miel B

Fuente: Autoría propia

Material

Técnica de 5 porqués	
Alta variabilidad en pH de jugo encalado	
Causa 20	
La cal no se disuelve correctamente	
1 ¿Por qué la cal no se disuelve correctamente?	
Porque los tanques de preparación no tienen agitadores que ayuden a la disolución	
Hipótesis 1	
Cumple	No
Porque se forman grumos de cal en los tanques de preparación	
Hipótesis 1	
Cumple	No
Acción	
Cada tanque tiene un sistema de agitación que favorece a que la mezcla sea homogénea y la cal logre disolverse con facilidad	

En la figura 2.21 Se muestra el sistema de agitación de lechada de cal que se encarga de que la mezcla esté homogénea sin presencia de grumos de cal, lo que indica que el insumo se disolvió correctamente tal como se observan en la figura 2.22.



Figura 2.21: Sistema de agitación de tanques de lechada de cal
Fuente: Autoría propia



Figura 2.22: Mezcla homogénea y sin grumos de lechada de cal
Fuente: Autoría propia

En la tabla 2.2 se presentan las causas potenciales verificadas, las mismas tendrán su acción de mejora para ser implementada y reducir la variabilidad en el pH de jugo encalado.

Tabla 2.2: Resumen de causas raíz potenciales

Causa raíz	Insights	Acción por realizar
Personal no capacitado	Se basan en la experiencia del operador	Estandarizar la metodología de trabajo del operador de la planta de cal
	Cantidad de agua en el tanque no tiene la medida exacta	
Flujo de jugo inestable	La molienda no es continua por paros no programados	Al momento de llegar un camión con caña, descargar en el patio y zarandear la caña para desprender las piedras que vienen con la materia prima
	Atore de piedras entre los conductores intermedios	
Concentración de lechada de cal inadecuada	Se dosifica más de lo permitido	Definir un proceso donde se indiquen las cantidades determinadas para la preparación de la lechada de cal.
	El consumo de cal por tonelada de caña es alto	
	No existe un control adecuado en la dosificación de insumo	Automatizar el control de dosificación de la cal al tanque de jugo. Realizar un diseño de experimento para la estandarización de la mejora

Fuente: Autoría propia

2.2 Mejora

Con la técnica de los 5 porqués realizada en el numeral anterior, se lograron identificar las principales causas que provocan la variabilidad del pH de jugo encalado.

Para iniciar este punto de la metodología DMAIC se construirá un plan de implementación de mejoras

2.2.1 Plan de implementación de mejoras

A continuación, en la tabla 2.3 se presenta el plan de implementación de mejoras en el que se trabajará sobre las causas raíz que influyen en la variabilidad del pH de jugo encalado

Tabla 2.3: Plan de implementación de mejoras

Causa Raíz: <i>Personal no capacitado</i>							
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	¿Cuándo?	Estado
Estandarizar la metodología de trabajo del operador de la planta de cal	Garantizar que el operador no trabaje en base a su experiencia	Inducción al personal de la planta de cal	Planta de cal de fábrica	Jefe de sección	Sin costo	18/05/2021	Implementado
Causa Raíz: <i>Flujo de jugo inestable</i>							
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	¿Cuándo?	Estado
Desalojar las piedras entre la materia prima de llegada	Porque permitirá que la molienda no pare a causas del atore de piedras y haya un flujo de jugo estable	Al momento de llegar un camión con caña, descargar en el patio y zarandear la caña para desprender las pierdas que vienen con la materia prima	Patio de caña del ingenio	Jefe de molinos	Sin costo	Cuando se presente	En proceso
Causa Raíz: <i>Concentración de lechada de cal inadecuada</i>							
¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	¿Cuándo?	Estado
Definir un proceso donde se indiquen las cantidades determinadas para la preparación de la lechada de cal.	Porque evitará que se sobre dosifique el insumo químico	Homologando procedimientos entre los ingenios del corporativo	Planta de cal	Spdte. De elaboración	Sin costo	16/05/2021	Implementado
Automatizar el control de dosificación de la cal al tanque de jugo.	Porque permitirá un control adecuado en la dosificación de insumo	Enlazando el flujo de lechada de cal con el pH de jugo encalado	Área de encladado de fábrica	Jefe de instrumentación	\$356 874.52	10/5/2021	Implementado
Realizar el diseño de experimento para la estandarización de la mejora	Porque evitará que se sobredosifique el insumo químico	Con un diseño de experimentos tomando las variables y niveles necesarios	Planta de cal	Líder del proyecto	Sin costo	28/7/2021	Implementado

Fuente: Autoría propia

2.2.2 Evidencias de implementación

A continuación, se mostrarán las evidencias a las mejoras realizadas en el orden que fueron presentadas en el numeral 2.2.1 Plan de implementación de mejoras.

Causa raíz 1: Personal no capacitado


¿Qué hacer?: Estandarizar la metodología de trabajo del operador de la planta de cal

AGROAZUCAR PRODUCCIONES S.A. PRODUCCIÓN DE AZÚCAR		LISTA DE ASISTENCIA				EC-GRH-0002-FO
Lugar:	Planta de cal	Fecha:	18-05-2021	Hora Inicio:	16:00	20:00
Nombre del Facilitador:	Mathy Pereira	Nombre del Proveedor:	Pablo Bonchón	Hora Finalización:	17:00	21:00
Nombre del Proveedor:	T1	Nombre del Proveedor:	T2	Nombre del Proveedor:	T1	T2
Tema:	Metodología de trabajo en la planta de cal					
No.	Apellidos y nombres	Cargo	Departamento	Empresa / Institución	Firma o Huella	
1	Duche Srnanava José	Operador	Producción	Agroazucar	Duche	
2	Rodriguez Manuel	Operador	Producción	Agroazucar	Rodriguez	
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

Figura 2.23: Registro de capacitación a operadores

Fuente: Autoría propia

Como se observa en la figura 2.23 se muestra el registro de capacitación realizado a los operadores de la planta de cal de cada turno, con la finalidad estandarizar la metodología de trabajo (figura 2.24) y haya una sinergia entre los operadores de la planta de cal

	AREA	CÓDIGO	
	Gerencia de Producción	EC-GFA-19-IN	
		FECHA	Página
	14-MAY-21	1 de 2	
SISTEMA	ACTUALIZACIÓN No. 0		
	Política de operación en la planta de cal		

1. PROPÓSITO Y ALCANCE

1.1. Propósito: Establecer y nomar el proceso de operación de la planta de cal del ingenio.

1.2. Alcance: El presente documento aplica a la planta de cal. Su ámbito de aplicación corresponde al área de producción

2. DEFINICIONES

Para fines de este documento se aplican las siguientes definiciones:

2.1 Insumo Químico: Cal hidratada.

2.2 La empresa: Agroazucar Ecuador S.A.

3. POLÍTICAS

General

3.1. El área de Producción de Fábrica se encargará de realizar la supervisión durante la preparación de la lechada de cal y sacarato.

3.2. El operador deberá tener colocados los equipos de protección personal durante su jornada de labores.

3.3. Los operadores de la planta de cal deberán cumplir con las frecuencias de medición de la concentración de la lechada de cal y sacarato, y registrar en los formatos asignados por el supervisor de producción de turno.

3.4. El operador de la planta de cal deberá asegurarse el correcto funcionamiento de los equipos y tanques, en caso de haber algún daño, se comunicará con el área de mantenimiento para su reparación.

3.5. El operador encargado de preparar la lechada y el sacarato deberá informar la cantidad de insumo químico utilizado para su preparación.

3.6. En caso de existir variaciones en la concentración de lechada y sacarato, el operador deberá comunicar de inmediato al supervisor de turno para realizar el ajuste a la preparación.

3.7. La preparación de lechada de cal y sacarato deben cumplir con las cantidades establecidas por la Gerencia de Producción.

3.8. Debe existir comunicación entre el área de Instrumentación, Extracción y Elaboración para mantener un flujo estable de jugo a ser encalado.

3.8. El analista de Control de Calidad de turno deberá realizar los análisis de pH de jugo encalado cumpliendo la frecuencia de cada hora durante el día de molenda.

3.10. El Inspector SFI coordinará con el área de elaboración para colaborar con las inspecciones durante la operación en la planta de cal.

ELABORADO:	REVISADO:	REVISADO:	APROBADO:
Supervisor de Producción	Coordinador Gestión de Calidad	Jefe de Gestión de Calidad y Auditoría	Gerente de Producción

Figura 2.24: Política de operación de la planta de cal

Fuente: Autoría propia

La figura 2.25 nos muestra cómo la supervisora de turno realiza la inducción al operador e indica la manera correcta de medir la concentración de una muestra de lechada de cal.



Figura 2.25: Supervisora de turno indicando al operador la manera correcta de medir la concentración de la muestra de lechada de cal

Fuente: Autoría propia

Causa Raíz 2: Flujo de jugo inestable

¿Qué hacer?: Desalojar las piedras entre la materia prima de llegada

En la figura 2.26 se observa la acción de zarandeo realizado por la maquinaria del ingenio, con la finalidad de desalojar material extraño y piedras en la caña proveniente del campo



Figura 2.26: Zarandeo de caña para desalojar piedras entre la caña

Fuente: Autoría propia

En la figura 2.27 se observa la tendencia del flujo de jugo encalado durante la zafra 2020 donde se pueden observar la inestabilidad del flujo teniendo una desviación estándar de 69.49. Para la zafra 2021, con el plan de acción implementado, se observa la mejora en el flujo de jugo encalado en el mes de julio que es primer mes de zafra tendiendo una desviación de 21.78 (figura 2.28).



Figura 2.27: Gráfica de flujo de jugo encalado Zafra 2020

Fuente: Autoría propia



Figura 2.28: Gráfica de flujo de jugo encalado julio 2021

Fuente: Autoría propia

Causa Raíz 3: Concentración de lechada de cal inadecuada

¿Qué hacer? 1: Definir un proceso donde se indiquen las cantidades determinadas para la preparación de la lechada de cal.

AGROAZUCAR S.A.S.	SISTEMA Instructivo de preparación de lechada de cal	EQUIPO ADMINISTRATIVO	
		FECHA 16-MAY-21	Página 1 de 2
<p>1. PROPOSITO</p> <p>1.1. Propósito: Establecer la secuencia de actividades que deben realizarse para la preparación de la lechada de cal para optimizar el consumo del insumo químico.</p> <p>2. DEFINICIONES</p> <p>Para fines de este documento se aplican las siguientes definiciones:</p> <p>2.1. Lechada de cal: Es un fluido que está compuesto por una suspensión de hidróxido cálcico en agua.</p> <p>3. POLÍTICAS</p> <p>General</p> <p>3.1. La preparación de lechada de cal debe realizar al inicio de cada turno o a su vez cuando el tanque tenga un volumen de 10% de la totalidad de la capacidad del tanque</p> <p>3.2. Medir frecuentemente la concentración de la lechada de cal y llevar registro diario de las mediciones tomadas.</p> <p>4. RECURSOS</p> <p>4.1. Agua 4.2. Sacos de 25kg de cal hidratada 4.3. Tanques de preparación 4.4. Sistema de agitación 4.5. Toma muestra 4.6. Medidor de concentración %Be 4.7. Registro de concentración.</p> <p>5. DESCRIPCIÓN DE INSTRUCCION</p> <p>Operador planta de cal (cada turno)</p> <p>5.1. Llenado de tanque Llenar el tanque de preparación con agua hasta llegar al 70% de su capacidad.</p> <p>5.2. Transporte de cal Transportar los sacos de cal hacia el área de descarga del insumo químico con la ayuda de una carreta.</p> <p>5.3. Apertura de sacos Con la ayuda de una cuchilla, abrir 200 sacos de cal de 25kg.</p>		<p>AGROAZUCAR S.A.S.</p> <p>SISTEMA Instructivo de preparación de lechada de cal</p> <p>FECHA 16-MAY-21</p> <p>Página 2 de 2</p> <p>ACTUALIZACIÓN No. 0</p>	
		<p>5.5. Preparación de mezcla Con la ayuda del sistema de agitación, remover la mezcla agua-lechada de cal para homogenizarla y evitar la formación de grumos.</p> <p>5.6. Control de concentración Medir la concentración Be de la mezcla, la misma debe estar entre 18 y 22 %Be para su aprobación.</p>	

Figura 2.29: Instructivo de preparación de lechada de cal

Fuente: Autoría propia

Como parte de la mejora se implementó un instructivo donde se especifican las cantidades de cal y agua a utilizar para preparar la lechada de cal (figura 2.29).

¿Qué hacer? 2: Automatizar el control de dosificación de la cal al tanque de jugo.

Antes

En la imagen 2.30 se muestra el punto de muestreo de jugo encalado, no existía un medidor de pH en la línea y el único control existente era el muestreo y análisis por parte de control de calidad.



Figura 2.30: Punto de muestreo de jugo encalado zafra 2020

Fuente: Autoría propia

Después

Ejecutado el plan de acción, se muestra la automatización de la línea. Se trata de un medidor de pH, este equipo está enlazado con el flujo de lechada de cal y al flujo de jugo que entra al proceso (figura 2.31). Con esto se logra un mejor control de la variable de respuesta pH de jugo encalado.

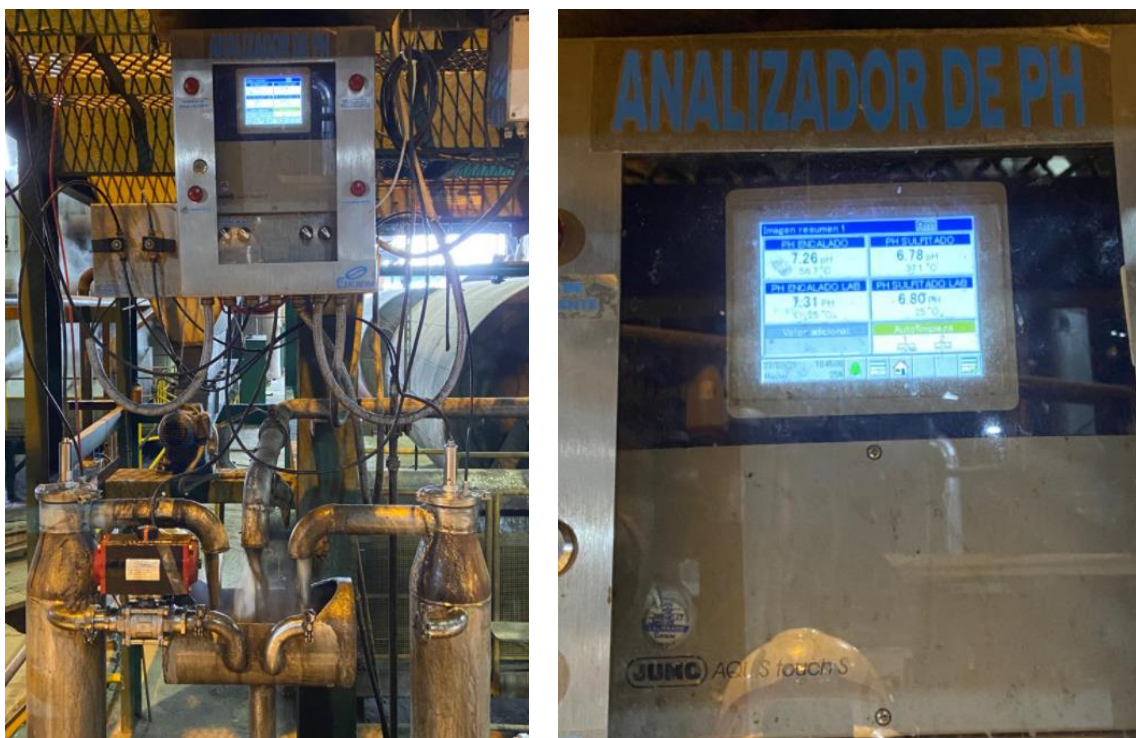


Figura 2.31: Sistema de automatización de pH de jugo encalado

Fuente: Autoría propia

¿Qué hacer? 3: Realizar el diseño de experimento para la estandarización de la mejora

Diseño de experimento

El diseño usado será una factorial general completo en dos bloques, con dos factores y cada uno presentan tres niveles tal como lo indica en la figura 2.32

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tn de caña	3	63000, 70000, 77000
Kg de cal	3	62300, 70500, 82000

Figura 2.32 Información de factores y niveles para el DOE

Fuente: Autoría propia

Los niveles escogidos son debido a que el ingenio muele en promedio entre 63 000, 70 000 y 77 000 toneladas y para la preparación de lechada de cal usa 62 300, 70 500 y 82 000 kilogramos, estos valores son semanales.

El objetivo de la realización del diseño experimental es encontrar los niveles adecuados de operación que disminuyan la sobredosificación de la cal.

Análisis de Varianza

Con el análisis de varianza se identificaron los factores de influencia sobre la sobredosificación de cal. En la figura 2.33 observamos los factores que influyen según su valor p.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0.31167	0.034630	4.88	0.018
Bloques	1	0.02067	0.020672	2.91	0.126
Lineal	4	0.24973	0.062433	8.80	0.005
Tn de caña	2	0.10293	0.051467	7.25	0.016
Kg de cal	2	0.14680	0.073400	10.34	0.006
Interacciones de 2 términos	4	0.04127	0.010317	1.45	0.302
Tn de caña*Kg de cal	4	0.04127	0.010317	1.45	0.302
Error	8	0.05678	0.007097		
Total	17	0.36845			

Figura 2.33: Análisis de varianza de factores de influencia

Fuente: Autoría propia

Análisis de hipótesis

Condición para validación de hipótesis: con valor $p < 0.05$ se rechaza H_0

H_0 : Factor Toneladas de caña molidas no tiene efecto sobre la sobredosificación de cal

vs

H_1 : Factor Toneladas de caña molidas si tiene efecto sobre la sobredosificación de cal

Con valor $p = 0.016$ se rechaza H_0 . Las toneladas de caña molidas tienen efecto sobre la sobredosificación de cal

H_0 : Factor Kilogramos de cal no tiene efecto sobre la sobredosificación de cal

vs

H_1 : Factor Kilogramos de cal si tiene efecto sobre la sobredosificación de cal

Con valor $p = 0.006$ se rechaza H_0 . Los Kilogramos de cal tienen efecto sobre la sobredosificación de cal.

Ho: La interacción entre las Toneladas de caña molidas y los Kilogramos de cal no tiene efecto sobre la sobredosificación de cal
Vs
H1: La interacción entre las Toneladas de caña molidas y los Kilogramos de cal si tiene efecto sobre la sobredosificación de cal

Con valor $p = 0.302$ no se rechaza H_0 . La interacción entre las Toneladas de caña molida y los Kilogramos de cal no tienen efecto sobre la sobredosificación de cal.

La figura 2.34 se valida lo antes mencionado, que los factores tienen efecto sobre la sobredosificación de cal no así la interacción de ambos factores.

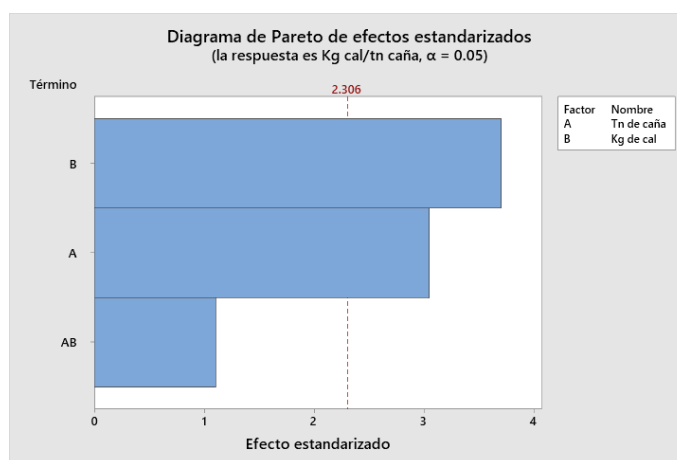


Figura 2.34: Pareto de factores que tienen efecto sobre la sobredosificación de cal

Fuente: Autoría propia

Una vez determinados los factores que afectan la sobredosificación de cal, el modelo es apropiado debido a que captura el 84.59% de la variabilidad de la sobredosificación de cal, tal como se muestra en la figura 2.35.

Resumen del modelo

	S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0.0842450	84.59%	67.25% 21.99%

Figura 2.35: Porcentaje de captura de variabilidad

Fuente: Autoría propia

Con el modelo apropiado, se procedieron a validar los supuestos del error

Supuestos del error

En la figura 2.36 se establecen los supuestos del error para posterior poder determinar los niveles adecuados de operación.

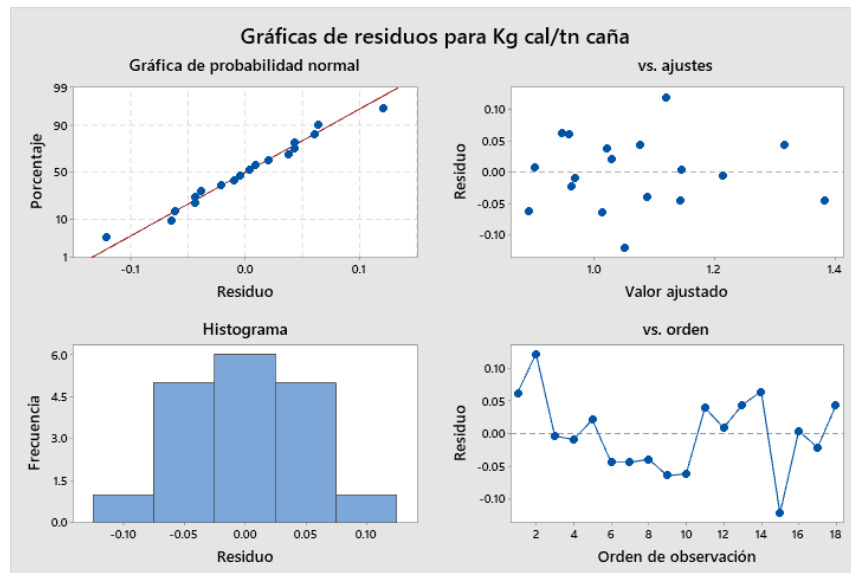


Figura 2.36: Gráfica de residuos del modelo
Fuente: Autoría propia

Normalidad del Error

En la figura 2.37 se observa la prueba de normalidad realizados a los residuos del modelo. Con el respectivo análisis de hipótesis donde se mantiene la premisa con valor $p < 0.05$ se rechaza H_0 . La condición para la validación de las hipótesis se presenta a continuación:

H_0 : La distribución del error es normal
vs
 H_1 : La distribución no es normal

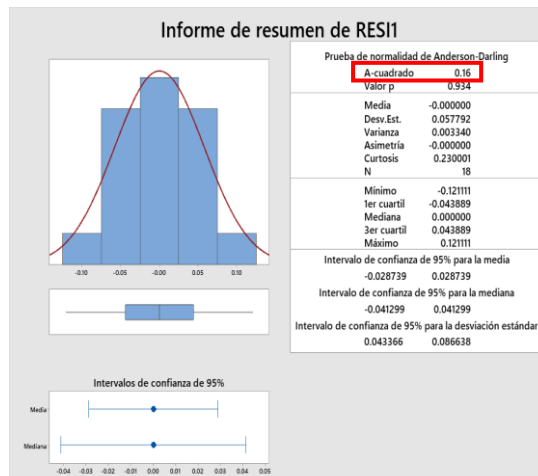


Figura 2.37: Gráfica de normalidad del error
Fuente: Autoría propia

Con valor p de 0.934 no se rechaza H_0 , por lo tanto, la distribución es normal y se cumple el supuesto.

Homogeneidad de la varianza

En la figura 2.38 se observa que no existen comportamientos tipo cono o sinusoidales. Tampoco muestran tendencias marcadas, por lo tanto, se cumple el supuesto.



Figura 2.38: Gráfica de residuos para determinar homogeneidad de varianza

Fuente: Autoría propia

Independencia del error

Para comprobar si este supuesto se cumple, se realizó una gráfica de corridas (figura 2.39) de los residuos, donde se consideran los valores p mediante el análisis de hipótesis con la finalidad de determinar que los residuos no tengan comportamientos marcados.

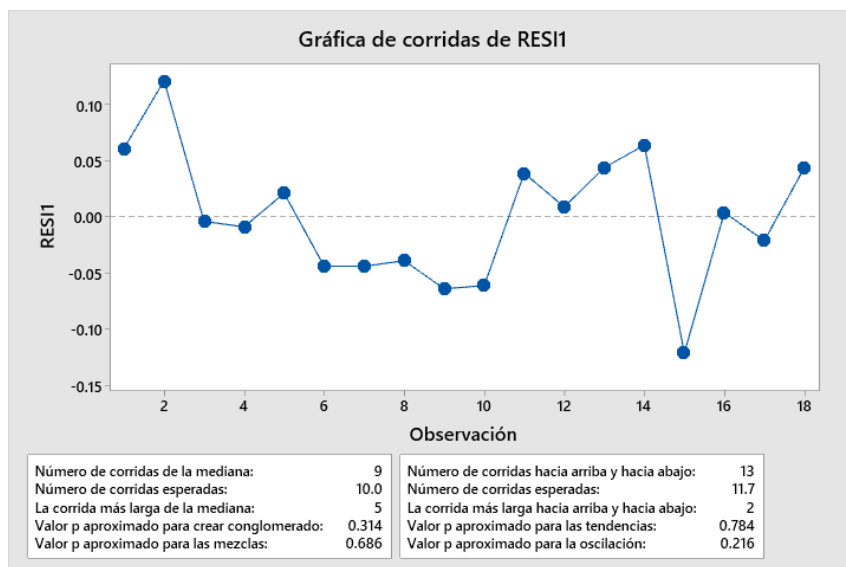


Figura 2.39: Gráfica de corridas para determinar la independencia del error

Fuente: Autoría propia

Ho: El residuo tiene comportamiento aleatorio
vs
H1: El residuo muestra existencia de conglomerados

Con valor $p = 0.314$ no se rechaza H_0 . El residuo tiene comportamiento aleatorio

Ho: El residuo tiene comportamiento aleatorio
vs
H1: El residuo muestra existencia de mezclas

Con valor $p = 0.686$ no se rechaza H_0 . El residuo tiene comportamiento aleatorio

Ho: El residuo tiene comportamiento aleatorio
vs
H1: El residuo muestra existencia de tendencias

Con valor $p = 0.784$ no se rechaza H_0 . El residuo tiene comportamiento aleatorio

Ho: El residuo tiene comportamiento aleatorio
vs
H1: El residuo muestra existencia de oscilaciones

Con valor $p = 0.216$ no se rechaza H_0 . El residuo tiene comportamiento aleatorio

Antes de determinar los niveles adecuados de operación, en la tabla 2.4 se resumen los resultados obtenidos de los análisis realizados en el DOE.

Tabla 2.4: Resumen de resultados del DOE

Análisis de varianza	Valor p	Resultado
Tn. de caña molida	0.016	Tiene efecto sobre la sobredosificación
Kg. de cal	0.006	Tiene efecto sobre la sobredosificación
Interacción ambos factores	0.302	No tiene efecto sobre la sobredosificación
Supuestos del error	Valor p	Resultado
Normalidad	0.934	Distribución normal
Homogeneidad de Varianza	N/A	Comportamiento aleatorio
Independencia del error	0.314	No existen conglomerados
	0.686	No existen mezclas
	0.784	No existen tendencias
	0.216	No existen oscilaciones

Fuente: Autoría propia

Determinación de niveles adecuados de operación

Se concluye que las combinaciones que determinan los niveles adecuados de operación y cada uno con los valores estimados de Kg caña/Tn caña se las puede notar en la figura 2.40 y se detallan en la tabla 2.5

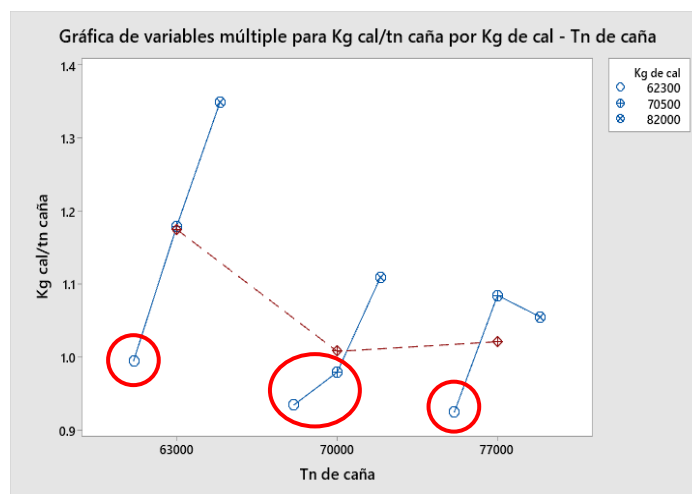


Figura 2.40: Gráfica para determinar los niveles adecuados de operación

Fuente: Autoría propia

Tabla 2.5: Resumen de niveles adecuados de operación

Niveles adecuados de operación		
Tn de caña molida	Kg de cal	Valores estimados de Kg cal/Tn caña
63000	62300	0.995
70000	62300	0.935
70000	70500	0.98
77000	62300	0.925

Fuente: Autoría propia

Corrida de verificación

Para la corrida de verificación se determinó el número de observaciones tomando en cuenta los escenarios con la información obtenida del experimento como se presentan en la tabla 2.6

Tabla 2. 6: Observaciones para la corrida de verificación

Escenario considerando la información del experimento		
Tn de caña molida	Kg de cal	Kg cal/tn caña
77000	62300	1.02
70000	62300	0.96
63000	62300	1.05
70000	70500	0.95
77000	62300	0.83
70000	62300	0.91
70000	70500	1.01
63000	62300	0.94

Fuente: Autoría propia

Para la estimación del tamaño de las observaciones, se obtuvieron el promedio y la desviación estándar de la muestra de Kg cal/tn caña, se consideró 5% de error, se calculó el error absoluto en base al promedio obtenido y se utilizó el valor de nivel de confianza $Z_{\alpha/2}$ como se presenta en la fórmula a continuación:

$$n = \left(\frac{Z * \sigma}{\varepsilon} \right)^2$$

Donde:

n= Tamaño de observaciones

Z= Nivel de confianza 1.96

σ = Desviación estándar de la muestra

ε = Error absoluto

Cálculo del Error absoluto ε

Promedio de muestra $\mu = 0.96$

Error = 5%

$$\varepsilon = 0.96 * 5\%$$

$$\varepsilon = 0.048$$

Ahora, utilizando la fórmula del número de observaciones:

$$n = \left(\frac{1.96 * 0.070}{0.048} \right)^2$$

$$n = 8$$

Es decir que por cada escenario escogido de la información del experimento se deben realizar ocho observaciones o corridas de verificación para comprobar que los valores son adecuados para reducir la variabilidad en la variable de respuesta pH de jugo encalado.

A continuación, en la tabla 2.7 hasta la tabla 2.14, las corridas de verificación se las realizó en dos turnos de trabajo, las mediciones de pH en el jugo encalado en cada escenario se las verificó en el pH-metro en línea instalado en fábrica como parte de la automatización del proceso y en el laboratorio de control de calidad.

Turno 1

Tabla 2.7: Corrida de verificación escenario 1

Escenario 1		
Tn de caña molida= 77000		Kg de cal 62300
Corrida	Kg cal/Tn de caña	pH JE
1	0.99	7.31
2	1.03	7.31
3	1.01	7.32
4	0.99	7.32
5	1.03	7.35
6	1.02	7.31
7	1.02	7.35
8	1.01	7.30

Fuente: Autoría propia

Tabla 2.8: Corrida de verificación escenario 2

Escenario 2		
Tn de caña molida= 70000		Kg de cal= 62300
Corrida	Kg cal/Tn de caña	pH JE
1	0.96	7.29
2	0.98	7.28
3	0.97	7.28
4	0.98	7.29
5	0.98	7.29
6	0.99	7.29
7	0.97	7.31
8	0.98	7.30

Fuente: Autoría propia

Tabla 2.9: Corrida de verificación escenario 3

Escenario 3		
Tn de caña molida= 63000		Kg de cal= 62300
Corrida	Kg cal/Tn de caña	pH JE
1	1.03	7.31
2	1.01	7.31
3	1.00	7.31
4	1.05	7.32
5	1.03	7.32
6	1.02	7.31
7	1.02	7.33
8	1.02	7.32

Fuente: Autoría propia

Tabla 2.10: Corrida de verificación escenario 4

Escenario 4		
Tn de caña molida= 70000		Kg de cal= 70500
Corrida	Kg cal/Tn de caña	pH JE
1	0.99	7.31
2	0.98	7.28
3	0.96	7.30
4	0.96	7.28
5	0.95	7.29
6	0.96	7.29
7	0.97	7.31
8	0.95	7.28

Fuente: Autoría propia

Turno 2

Tabla 2.11: Corrida de verificación escenario 5

Escenario 5		
Tn de caña molida= 77000		Kg de cal 62300
Corrida	Kg cal/Tn de caña	pH JE
1	1.03	7.32
2	1.00	7.32
3	1.02	7.31
4	0.98	7.30
5	0.99	7.28
6	1.00	7.30
7	0.98	7.29
8	0.99	7.29

Fuente: Autoría propia

Tabla 2.12: Corrida de verificación escenario 6

Escenario 6		
Tn de caña molida= 70000		Kg de cal= 62300
Corrida	Kg cal/Tn de caña	pH JE
1	0.98	7.28
2	0.98	7.28
3	0.95	7.27
4	0.96	7.29
5	0.98	7.31
6	0.97	7.28
7	0.96	7.30
8	0.99	7.27

Fuente: Autoría propia

Tabla 2.13: Corrida de verificación escenario 7

Escenario 7		
Tn de caña molida= 70000		Kg de cal= 70500
Corrida	Kg cal/Tn de caña	pH JE
1	1.00	7.28
2	0.97	7.29
3	0.99	7.27
4	0.99	7.30
5	0.99	7.29
6	0.98	7.28
7	0.99	7.28
8	0.97	7.29

Fuente: Autoría propia

Tabla 2.14: Corrida de verificación escenario 8

Escenario 8		
Tn de caña molida= 63000		Kg de cal= 62300
Corrida	Kg cal/Tn de caña	pH JE
1	1.01	7.28
2	0.99	7.28
3	1.01	7.31
4	1.02	7.33
5	0.99	7.28
6	0.99	7.30
7	1.01	7.31
8	1.00	7.29

Fuente: Autoría propia

CAPITULO 3.

3.1. Evaluación de resultados

3.1.1. Gráfica de serie de tiempos

La gráfica de serie de tiempos (figura 3.1) nos muestra el antes y después de la mejora, donde se observa que para el mes de julio de la zafra 2021, los valores de pH se encuentran dentro de especificaciones.

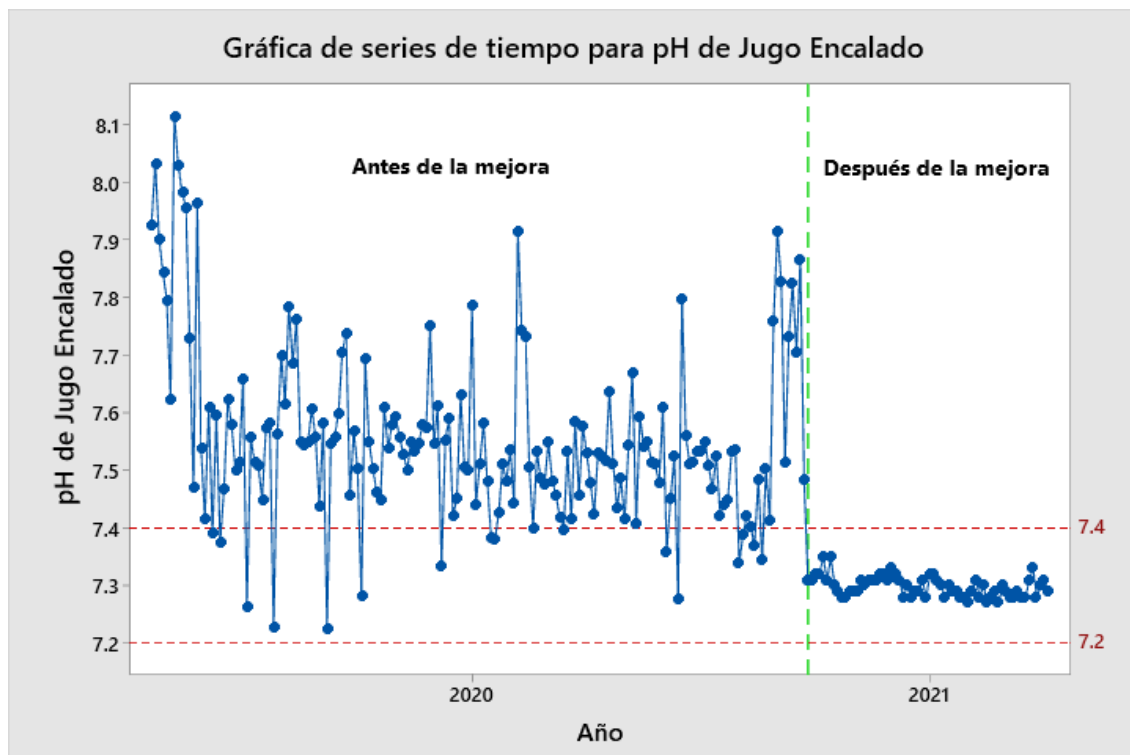


Figura 3.1: Gráfica de serie de tiempos antes y después

Fuente: Autoría propia

3.1.2. Análisis de capacidad

Antes

Como se presenta en la figura 3.2 el proceso necesitaba mejoras.

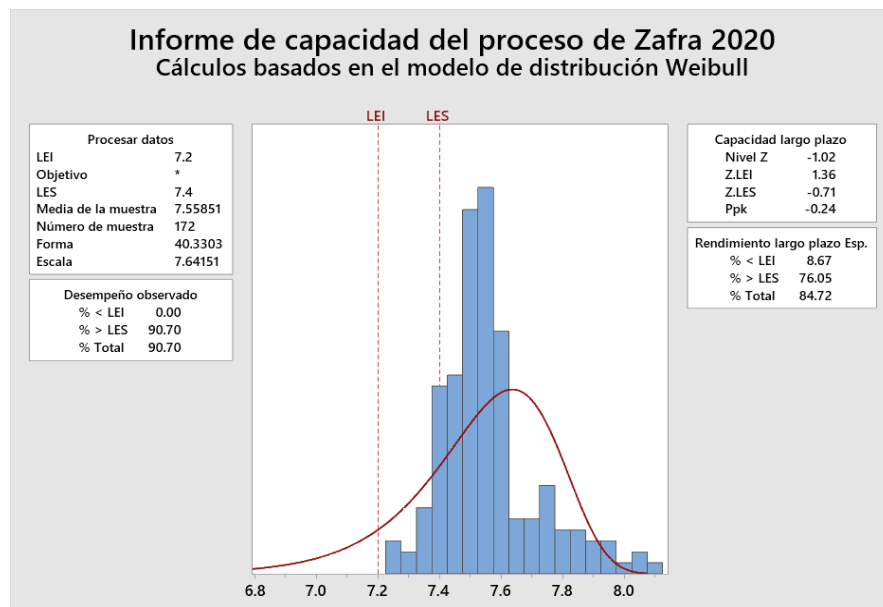


Figura 3.2: Gráfica de análisis de capacidad antes de la mejora

Fuente: Autoría propia

Después

Para determinar si el proceso es o no capaz de cumplir con las especificaciones, se realizó el análisis de supuesto de normalidad de la variable pH de jugo encalado (figura 3.3), con los siguientes resultados:

Supuesto de normalidad

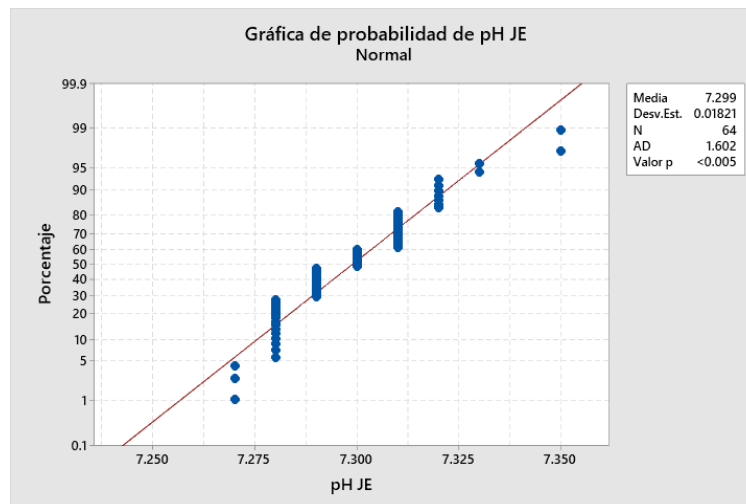


Figura 3.3: Gráfica de probabilidad de la variable de respuesta

Fuente: Autoría propia

Con valor $p < 0.05$ los datos no tienen distribución normal, por lo tanto, se realizó el análisis de capacidad para datos no normales, obteniendo los siguientes resultados:

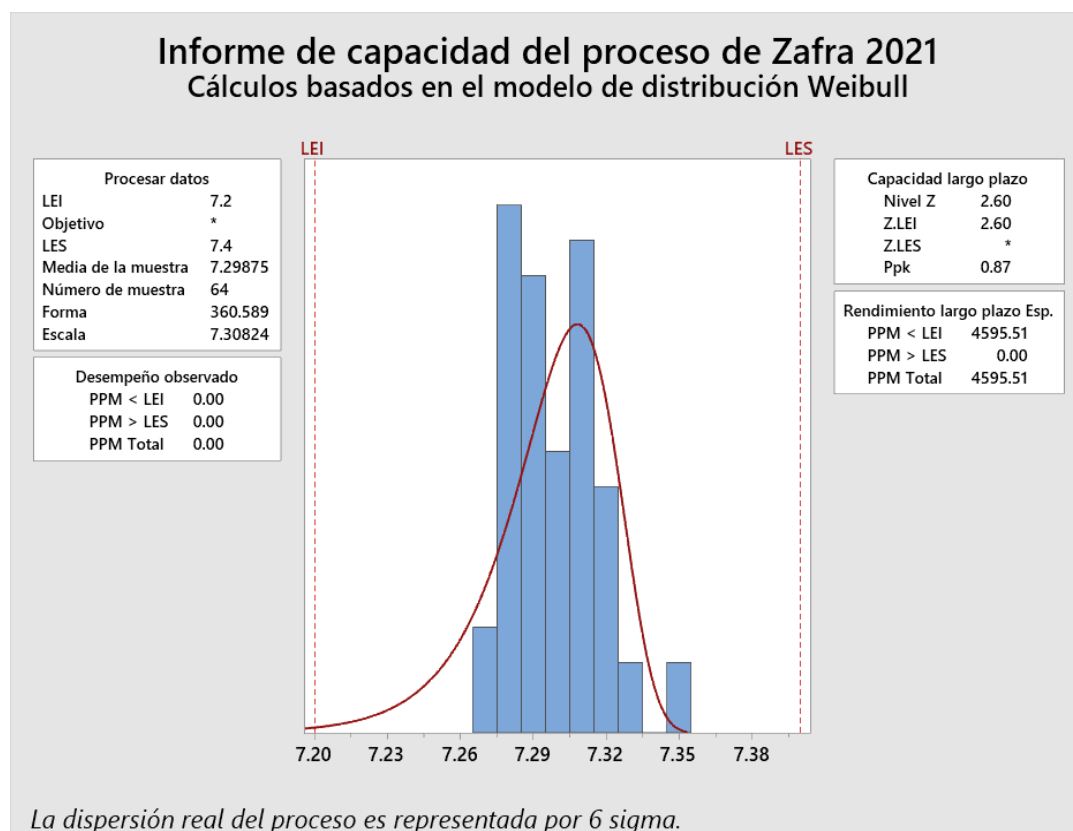


Figura 3.4: Gráfica de análisis de capacidad después de la mejora

Fuente: Autoría propia

En la figura 3.4 se observa que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones. En la tabla 3.1 se muestran los indicadores de mejora de procesos donde se observa el efecto de las mejoras implementadas sobre la variable de respuesta pH de jugo encalado

Tabla 3.1: Evaluación de los indicadores de mejora de procesos

Indicador de mejora	Antes	Después
Nivel Z	-1.02	2.60
Ppk	-0.24	0.87
Ppm	847,159.58	4,595.51

Fuente: Autoría propia

3.1.3. Evaluación financiera

En la zafra 2020, en la etapa de encalado, el material perdido fue de 0.02 Kg sac/Tn caña caña molida incurriendo en \$ 16,416.32 de pérdidas tal como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Pérdida en la etapa de Encalado zafra 2020

Molienda zafra 2020 (Tn)	1,710,033
Pérdida de sacarosa zafra 2020	Valor monetario
0.02 kg sac/Tn caña molida	\$ 16,416.32

Fuente: Autoría propia

La automatización en la dosificación de cal fue la única mejora que incurrió a gastos para el ingenio llegando a un valor de \$356,874.52 como se observa en la tabla 3.3

Tabla 3.3: Gastos de implementación

Mejora	Gastos de implementación
Automatización de la dosificación de cal	\$356,874.52

Fuente: Autoría propia

En lo que va de la zafra 2021, para el mes de julio, la pérdida de material en la etapa de encalado fue de 0.000583 Kg sac/Tn caña molida. Se estima que para el resto de los meses que dure la zafra, es decir de agosto a diciembre, la pérdida de material será de 0.0035 Kg sac/Tn caña molida. Realizando la conversión monetaria, la pérdida incurre en \$ 2,872.86. La información se muestra en la tabla 3.4

Tabla 3.4: Estimación de pérdida en la etapa de Encalado para la zafra 2021

Molienda estimada para zafra 2021 (Tn)	1730000
Pérdida estimada de sacarosa zafra 2021	Valor monetario
0.0035 kg sac/Tn caña molida	\$ 2,872.86

Fuente: Autoría propia

Con la implementación de la mejora se estima un ahorro para la zafra 2021 de \$ 13,543.46. Este valor se obtuvo restando lo perdido en la zafra 2020 menos lo perdido estimado para el 2021 como se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Ahorros estimados en la etapa de Encalado para la zafra 2021

Pérdida zafra 2020	\$ 16,416.32
Pérdida estimada zafra 2021	\$ 2,872.86
Ahorro estimado incurrido al 2021	\$ 13,543.46

Fuente: Autoría propia

CAPITULO 4.

4.1. Conclusiones y Recomendaciones

4.1.1. Conclusiones

- Con el desarrollo de la situación actual se logró determinar que los datos del proceso no se ajustaban a las especificaciones teniendo una curva con sesgo hacia la derecha del límite superior, mostrando un serio problema de localización además de la excesiva dispersión lo que significaba que el proceso requería de mejoras. Además, las mediciones de pH no cumplían con las especificaciones dadas por el corporativo entre 7.2 y 7.4 e incurrió en \$16,416.32 en pérdidas de sacarosa.
- Con el análisis realizado con las herramientas de mejora continua tales como Diagrama de Ishikawa, Técnica de los 5 porqué's y el Gemba Walk se identificaron las causas críticas que originaron la variabilidad en el pH del jugo encalado. Las causas fueron las siguientes:
 - Personal no capacitado.
 - Flujo de jugo inestable.
 - Concentración de lechada de cal inadecuada
- Las mejoras implementadas en el proceso se pusieron en marcha con éxito dando resultados positivos para la operación. La automatización del control de dosificación de cal tuvo un gasto de \$356,874.52 y ayudó a el control del pH en la fábrica. Con el diseño experimental, se lograron determinar los niveles adecuados de operación y se reguló el consumo de cal en la preparación de lechada. El zarandeo de la materia prima permitió que las piedras y material extraño proveniente del campo no se atoren en los conductores y el flujo de jugo se mantenga constante y la creación de un instructivo estándar permitió que los operadores trabajen con las cantidades exactas de cal para una correcta preparación de lechada.
- El análisis de capacidad determinó que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones del proceso, es decir, se determinó el valor Z igual a 2.60, Ppk igual a 0.87 y Ppm igual a 4,595.51 por ende se verificó la reducción de la variabilidad en la variable de respuesta pH de jugo encalado y la reducción de partes no conformes en el proceso.
- Con los resultados obtenidos, se estimó que la pérdida química por inversión de la sacarosa en la etapa de Encalado será de 0.0035 kg sac/tn caña, lo que significa una pérdida de \$ 2,872.86 incurriendo a \$ 13,543.46 de ahorros para la zafra 2021.
- Al término del proyecto, se emplearon herramientas estadísticas de control, se establecieron acciones de mejora, se determinaron los niveles adecuados de operación, se presentaron las evidencias fotográficas y con las mejoras implementadas se validaron los resultados obtenidos por lo cual se logró reducir la variabilidad en la variable de respuesta pH de jugo encalado llegando a obtener valores dentro de las especificaciones dispuestas por el Corporativo Azucarero, entre 7.2 y 7.4.

4.1.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar el seguimiento al proceso de preparación de la lechada de cal por parte de los supervisores de turno, con la finalidad de asegurarse que se cumpla con el estándar implementado.
- Ejecutar los mantenimientos durante las paradas de planta programadas a los equipos que conforman el sistema de preparación de lechada de cal para evitar que existen desperfectos durante la operación normal de la planta.
- Asegurarse que se cumpla con las frecuencias de verificación del equipo medidor de pH.
- Realizar ensayos de conformidad de parámetro de calidad de la cal con el objetivo de tener un insumo óptimo para el uso durante el proceso de producción de azúcar.
- Llevar el control documentado del uso de la cal para evitar incurrir a gastos innecesarios del insumo químico.
- Mantener capacitado el personal de la planta de cal en términos de uso de equipos de protección, preparación de lechada de cal y operación de de equipos de operación de la planta de cal.
- Se recomienda seguir realizando el zarandeo de la caña al momento de llegar materia prima de canteros de terceros (campos que no pertenecen al ingenio).

BIBLIOGRAFÍA

Garza, E. G. (2003). Administración de la Calidad Total . En E. G. Garza. México D.F: Pax México.

Manuel Baro Tijerina, Mauricio Estrada Ruiz, Iván García Garrobo. (2016). Una aplicación de la metodología seis sigma para la optimización de la línea de producción de arneses. En *Ingenierías* (pág. 57). Chihuahua.

Pulido, H. G., & Salazar, R. d. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos*. México: Mc Graw Hill.

Velásquez Torres, J. (2019). Una aplicación de la carta de control para medias y rangos (X-R) y análisis de capacidad del proceso (ACP), en la producción de sobres de azúcar personalizados bajo el supuesto de normalidad. *AVANCES: Investigación en ingeniería*, 7.

ANEXOS

ANEXO 1

PH DE JUGO ENCALADO PROMEDIO DIARIO DURANTE LA ZAFRA
2020

Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
Fecha	pH JE	Fecha	pH JE	Fecha	pH JE	Fecha	pH JE	Fecha	pH JE	Fecha	pH JE
1	7.89	1	7.21	1	7.64	1	7.62	1	7.58	1	7.26
2	9.00	2	7.67	2	7.38	2	7.45	2	7.49	2	7.35
3	7.95	3	7.14	3	7.52	3	7.45	3	7.38	3	7.31
4	8.25	4	7.85	4	7.79	4	7.40	4	8.34	4	7.59
5	7.86	5	7.52	5	7.70	5	7.78	5	7.47	5	7.45
6	7.54	6	7.44	6	7.80	6	7.90	6	7.40	6	7.30
7	7.94	7	8.10	7	7.39	7	7.98	7	7.40	7	7.20
8	8.09	8	7.64	8	7.75	8	7.81	8	7.47	8	7.35
9	8.99	9	7.73	9	7.74	9	7.30	9	7.60	9	7.10
10	7.94	10	7.78	10	7.61	10	7.55	10	7.24	10	7.66
11	7.92	11	7.60	11	7.79	11	7.33	11	7.34	11	7.32
12	7.00	12	7.72	12	7.72	12	7.55	12	7.20	12	8.10
13	7.89	13	7.48	13	7.74	13	7.57	13	7.25	13	7.79
14	8.03	14	7.81	14	7.46	14	7.30	14	7.12	14	7.57
15	7.77	15	7.41	15	7.75	15	7.35	15	6.74	15	7.65
16	7.45	16	7.25	16	7.53	16	7.24	16	7.40	16	7.60
17	7.11	17	7.52	17	7.36	17	7.08	17	8.60	17	7.65
18	7.49	18	7.69	18	7.35	18	7.58	18	7.85	18	7.84
19	7.24	19	7.50	19	7.47	19	7.38	19	7.51		
20	7.34	20	7.56	20	7.40	20	7.50	20	7.53		
21	7.71	21	7.91	21	7.72	21	7.78	21	7.48		
22	7.62	22	7.80	22	7.50	22	7.45	22	7.50		
23	7.70	23	7.31	23	7.75	23	7.50	23	7.62		
24	7.54	24	7.69	24	7.53	24	7.63	24	7.53		
25	7.64	25	7.25	25	7.53	25	7.25	25	7.64		
26	7.30	26	7.56	26	7.85	26	7.41	26	7.31		
27	7.89	27	7.62	27	7.31	27	7.70	27	7.68		
28	7.75	28	7.62	28	7.55	28	7.44	28	7.40		
29	7.66	29	7.51	29	7.37	29	7.68	29	7.65		
30	7.13	30	7.40	30	7.31	30	7.54	30	7.38		
31	7.79	31	7.38			31	7.19				