UEA Agroindustria
PrePrint UEA

Sección Agroindustria
Vol. AGI2324. ep10–180

| Recibido: 15/03/2024 |
| Aceptado: 29/04/2024 |
| Publicado: 16/11/2026 |

Influencia de los parámetros operacionales en los factores de respuesta del proceso de producción de panela.

Influence of the operational parameters on the response factors of the panela production process.

Viviana Betsabe Chimbo Shiguango[1], Wilo Fabricio Licuy Andy[1] Amaury Pérez Martínez[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2324ep10-180 Crossref

Resumen

La influencia de los parámetros operacionales en los factores de respuesta del proceso de producción de panela es un aspecto crucial que determina la calidad y eficiencia de este proceso. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo determinar la influencia de los parámetros operacionales en los factores de respuesta del proceso de producción de panela. La metodología empleada se divide en tres etapas: recolección de muestras, determinación de parámetros fisicoquímicos y análisis estadístico, utilizando el software *Statgraphics Centurion XVI* con regresión lineal múltiple. Los parámetros operacionales son temperatura y tiempo, mientras que los factores de respuesta son pH, Brix y color. Este modelo ha permitido predecir con alta precisión los factores (tiempo y temperatura) que influyen en el color de la panela, con coeficientes de determinación (R^2) del 99,81% y 98,73%, respectivamente. Se observa que el pH de la panela varía durante el proceso, con valores entre 5,07 y 5,76. Las variaciones observadas en los °Brix señalan posibles alteraciones en la eficacia y el contenido de azúcar en cada fase, lo que podría influir en la uniformidad y el rendimiento del producto terminado. Estos resultados proporcionan una comprensión más profunda de los factores que influyen en la calidad de la panela y pueden ser utilizados para mejorar y optimizar el proceso de producción en la industria panelera.

Palabras clave

pH, °Brix, color, Statgraphics Centurion, tiempo, temperatura.

Abstract

The influence of the operational parameters on the response factors of the panela production process is a crucial aspect that determines the quality and efficiency of this process. Therefore, the objective of this study is to determine the influence of the operational parameters on the response factors of the panela production process. The methodology used is divided into three stages, which are sample collection, determination of physicochemical parameters and statistical analysis, which were analyzed statistically by Statgraphics Centurion XVI software, the function used within the computer program was multiple linear regression. The use of this model has allowed to predict with high precision the factors that influence the color of panela, with coefficients of determination (R^2) of 99,81% and 98.73%, respectively. The pH of panela is observed to vary during the process, ranging from 5.07 and 5.76. The variations observed in the °Brix indicate possible alterations in the efficiency and sugar content at each stage, which could influence the uniformity and yield of the finished product. These results provide a deeper understanding of the factors that influence the quality of panela and can be used to improve and optimize the production process in the sugar industry.

Keywords

pH, °Brix, color, Statgraphics Centurion, time, temperature.

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: agi2015242@uea.edu.ec, agi2017148@uea.edu.ec, amperez@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Viviana Betsabe Chimbo Shiguango. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: agi2015242@uea.edu.ec

Cómo citar

CHIMBO SHIGUANGO, Viviana Betsabe , LICUY ANDY, Wilo Fabricio and PÉREZ MARTÍNEZ, Amaury 2026. Influencia de los parámetros operacionales en los factores de respuesta del proceso de producción de panela.. PrePrint UEA. Vol. AGI2324. p. ep10–180. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2324ep10-180

Editores Académicos Willan Orlando Caicedo Quinche

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

A nivel mundial la producción de panela abarca 25 países generando alrededor de 13 millones de toneladas anuales. La India lidera como principal productor con un 55%, seguida por Colombia con el 11%, según datos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

En América Latina y el Caribe, se estiman alrededor de 50 000 pequeñas unidades productoras de panela, involucrando a más de un millón de personas. En conjunto, la región produce aproximadamente 2 millones de toneladas, representando alrededor del 15,5% de la producción mundial (Castro et al. 2011).

La preferencia por el azúcar refinado principalmente es debido a su menor precio, este producto ha desplazado a la panela en el mercado local, sin embargo, la creciente tendencia global hacia el consumo de productos orgánicos, naturales, nutritivos y bajos en calorías ha estimulado la demanda de panela, alentando a pequeños y grandes productores a diversificar y aumentar la producción (Morales 2015). En este contexto, la panela granulada se presenta como una opción relevante para los productores que buscan diversificar sus productos y satisfacer la creciente demanda (Cerda-Mejía et

al. 2020).

La calidad de la panela ya sea en Ecuador o a nivel mundial, tiene impactos significativos en la salud pública, la competitividad en el mercado y el desarrollo sostenible afectando la seguridad alimentaria, la reputación del producto, la capacidad de competir en el comercio internacional y puede influir en la imagen de la marca (Campaña and Cabrera 2022). Además, la calidad está vinculada a prácticas agrícolas sostenibles, lo que puede tener efectos positivos tanto en el entorno como en la economía local, por ello, establecer y mantener altos estándares de calidad es esencial para asegurar el éxito a largo plazo de la producción de panela y su aceptación en los mercados.

El proceso de producción de panela es una actividad que ha sido fundamental en diversas regiones del mundo, desempeñando un papel crucial en la economía y la seguridad alimentaria (Bernal et al. 2007). La optimización de este proceso productivo es esencial para garantizar la calidad del producto final y la eficiencia en la producción (López et al. 2019). En este contexto, los parámetros operacionales como el tiempo y temperatura desempeñan un papel crítico, ya que afectan directamente los factores de respuesta del proceso de producción de panela. Estos factores, que comprenden aspectos como rendimiento, calidad, eficiencia energética y sostenibilidad, son determinantes para el éxito y la viabilidad económica de la industria panelera (Lara and Rodríguez 2019).

La calidad y seguridad de la panela son esenciales para satisfacer las demandas de los consumidores y cumplir con las normativas establecidas en Ecuador (Corporación Financiera Nacional, 2020). Aunque se han implementado medidas para mejorar la calidad, la variabilidad en los atributos del producto persiste debido a diversos factores durante su producción (Gutiérrez-Mosquera et al., 2018). La gestión precisa de los parámetros operativos, como la temperatura y el tiempo, es crucial para garantizar la consistencia y calidad óptima de la panela (Ramos Figueroa, 2020).

Estudios han demostrado que estos parámetros influyen directamente en aspectos clave, como el color y contenido de azúcares, siendo fundamentales para predecir y controlar la calidad del producto final (Cerda et al., 2022). La aplicación de herramientas estadísticas, como el diseño de experimentos y análisis de regresión, ha sido fundamental para comprender esta relación y optimizar las condiciones de operación para obtener la calidad deseada en la panela (Hernández, 2014).

Cerda-Mejía et al. (2021) destacan la importancia de considerar la calidad en el proceso y producto, así como la interrelación de factores como aceptabilidad, viabilidad y consideraciones económicas, tecnológicas y ambientales. La metodología propuesta, que incorpora matemáticas, modelado, simulación de procesos, calidad e incertidumbre, destaca por el uso de la metodología *GUM* para reducir la variabilidad de los atributos de calidad. El estudio de caso demuestra la relación entre parámetros operativos (pH y °Brix) y respuestas del proceso, evidenciando ajustes que aseguran mayor nivel Sigma, cero defectos, cumplimiento de especificaciones de calidad y reducción de pérdidas económicas debido a productos defectuosos. Este enfoque se alinea con la temática de la influencia de los parámetros operacionales en los factores de respuesta del proceso de producción de panela.

Para relacionar estos parámetros operacionales con los atributos de calidad, se han llevado a cabo estudios experimentales y análisis estadísticos.

La producción de panela no solo representa una tradición arraigada en diversas comunidades, sino que también desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria y la economía de algunas provincias de Ecuador, la industria artesanal de la panela ofrece a los agricultores una forma de vida alternativa que promueve la filosofía del buen vivir consagrada en la constitución ecuatoriana. La estandarización de este proceso productivo se presenta como un desafío estratégico, considerando la creciente demanda de este producto y la necesidad de asegurar prácticas sostenibles. Por ende, el objetivo de esta investigación es determinar la influencia de los parámetros operacionales en los factores de respuesta del proceso de producción de panela.

2. Metodología

2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en los laboratorios de Bromatología y Química de la Universidad Estatal Amazónica ubicada en el km 2 ½ vía al Tena, Cantón Puyo, Provincia de Pastaza como se ve en la **Figura 1**.



Figura 1 | Localización de la Universidad Estatal Amazónica. Adaptado de Google Maps

Las muestras se extrajeron de la panelera “Los Morales” y la panelera “Andrade” ubicadas en la vía Tarqui, sector El Placer como se visualiza en la **Figura 2**. Se seleccionó esta localización debido a su representatividad en la industria de la panela y la disponibilidad de recursos necesarios para realizar la investigación de manera efectiva.

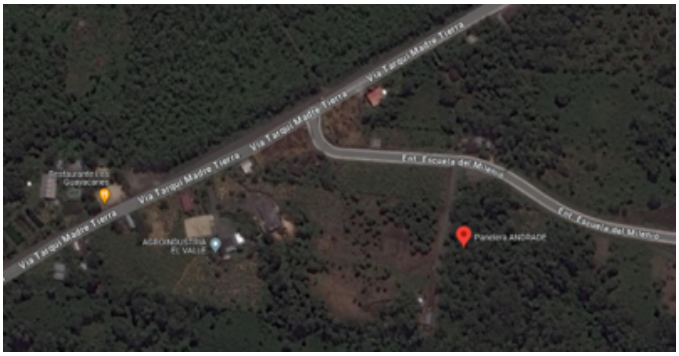


Figura 2 | Localización de las paneleras “Los Morales” y “Andrade”. Adaptado de Google Maps

2.2. Tipo de investigación

Esta investigación se caracteriza por ser un estudio mixto que incorpora tanto elementos experimentales como observacionales. La intervención experimental implica la manipulación de variables operacionales clave, para evaluar su impacto en las variables de respuesta en diversas etapas del proceso de producción de panela. Este enfoque experimental proporciona una comprensión profunda de las relaciones causa-efecto en el contexto específico de la elaboración de panela. Además, se incorpora un componente observacional, donde los datos se recopilan de manera no intrusiva, permitiendo una representación auténtica de las dinámicas y condiciones naturales del proceso. Vale la pena destacar que, además de estas metodologías, se realiza una revisión exhaustiva de estudios científicos ya existentes para contextualizar los hallazgos y enriquecer la comprensión del tema. Este enfoque integral fortalece la investigación, contribuyendo a una evaluación más completa de la influencia de los parámetros operacionales en las características finales de la panela.

2.3. Materiales

Las muestras de las etapas de producción de panela analizadas en este estudio fueron recolectadas de dos paneleras ubicadas en la ciudad del Puyo. Los lotes uno, dos, tres y cuatro fueron recolectados en la Panelera “Los Morales”, los lotes cinco, seis, siete, ocho, nueve y diez fueron recolectados en la panelera “Andrade”. Las muestras recolectadas fueron, jugo en la molienda, jugo filtrado, líquido concentrado del proceso concentración y evaporación, la cachaza en la segunda etapa proceso de evaporación, el líquido concentrado final terminado el proceso de concentración y, por último, la panela. Todas las muestras se almacenaron a 4 °C para inhibir el crecimiento de los microorganismos.

2.4. Métodos

2.4.1. Recolección de las muestras

Siguiendo el procedimiento de Zúñiga et al. (2023), el cual enfatiza la importancia de obtener muestras representativas en cada etapa del proceso, se llevó a cabo la recolección de muestras en los puntos de salida clave del proceso de producción de panela. Para garantizar la integridad de las muestras, se utilizaron recipientes adecuados y se almacenaron bajo condiciones de refrigeración. Este enfoque permitió capturar adecuadamente las características del producto en diferentes momentos del proceso, asegurando así una evaluación precisa de su calidad y cumplimiento con los estándares establecidos. En total, se obtuvieron ocho muestras representativas de distintas etapas del proceso, cada una extraída de diez lotes diferentes. Las etapas de recolección de muestra incluyeron la molienda, la filtración, la salida del calentador, el tanque de evaporación 1, el tanque de evaporación 2, la concentración, la cachaza y, finalmente, la panela producida, según se indica en el diagrama de bloque (**Figura 3**)

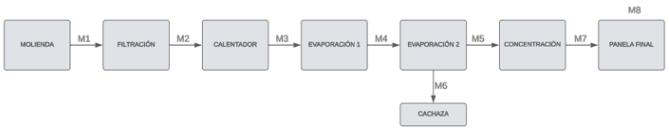


Figura 3 | Etapas de recolección de muestras

2.4.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos

De acuerdo con la norma mexicana ICUMSA (2012), se especificó los métodos de análisis para determinar factores de respuesta como el pH, los °Brix y el color de las muestras. Estos son fundamentales para evaluar la concentración de azúcares y apariencia visual de los productos, lo que a su vez asegura su calidad y cumplimiento con los estándares de la industria.

Para medir los parámetros operacionales, tiempo y temperatura, se emplearon instrumentos como el cronómetro celular *Redmi* 10, modelo 21061119AG y el termómetro con forma de pistola, de temperatura, infrarrojo, sin contacto digital, láser, (-50 °C a 450 °C) -58 °F a 842 °F con visualización LCD, asegurando así la exactitud en la recopilación de datos operativos.

2.4.3. Determinación de pH

Se llevaron a cabo varios pasos. Inicialmente, se utilizaron 50 mL de cada una de las muestras M1, M2, M3, M4, M5 y M6, colocadas en vasos de precipitación. Utilizando un pH-metro modelo Peak Instruments, se midió el pH de cada muestra. Sin embargo, para las muestras M7 y M8, se empleó un procedimiento ligeramente diferente. En este caso, se pesaron 10 g de cada muestra y se aforó a 100 mL con agua destilada en matraces aforados. Posteriormente, se utilizó el mismo equipo para medir el pH. Para garantizar la precisión de las mediciones, se tomaron medidas correctivas en caso de que el pH de las muestras excediera o no alcanzara el valor deseado de 7. La norma ICUMSA (2012) proporciona los procedimientos estándar para la determinación de diversos parámetros en productos relacionados con la caña de azúcar, incluyendo el método para medir el color. Según esta norma es importante que las muestras tengan un pH de 7 para medir el color de manera adecuada. Por lo tanto, se añadió hidróxido de sodio al 10% a las muestras que necesitaban elevar su pH y ácido clorhídrico al 2% en caso de que necesitaran reducirlo. Este proceso se repitió hasta que todas las muestras alcanzaran el pH deseado, asegurando así la consistencia y la precisión de los resultados.

2.4.4. Determinación de °Brix

Según la normativa AOAC (2005), se colocaron dos gotas de cada muestra en un refractómetro, permitiendo así la medición de los °Brix. Este paso proporciona información crucial sobre la concentración de azúcares presentes en las muestras, lo que puede ser fundamental para determinar su calidad y características.

Los sólidos solubles de la panela se determinaron disolviendo 10 g de panela en agua destilada resultando en una solución homogénea con una concentración del 100%, posteriormente se midió en el refractómetro.

2.4.5. Determinación de Color

Para su determinación se utilizó la Norma Mexicana (2012b), para lo cual se filtraron las muestras utilizando papel filtro y matraces apropiados hasta alcanzar un volumen de 25 mL. Luego, se tomó una porción de 15 mL de cada muestra y se

mezcló con 15 mL de agua destilada para las muestras M1 hasta M6. Para las muestras M7 y M8, se llevó a cabo una primera dilución combinando 60 g de cada muestra con 60 mL de agua destilada seguido de un proceso de filtración, a continuación, se diluyó 1 mL al 10% de agua destilada en matraces de 10 mL antes de realizar la medición del color. Este proceso garantiza la uniformidad de las muestras y facilita la medición del color.

Una vez preparadas las muestras, se ajustó el espectrofotómetro a cero utilizando una celda con agua destilada a una longitud de onda de 420 nm. Posteriormente, cada muestra se colocó en una celda individual para la medición del color

2.5. Análisis estadísticos

Para analizar la relación entre los parámetros operacionales (tiempo y temperatura) y los factores de respuesta (color, pH, °Brix) obtenido, los datos recolectados se clasificaron primero. Luego, se realizó un análisis de regresión múltiple lineal para cada muestra de las etapas. Este análisis se realizó utilizando el programa *Statgraphic* XVI, posteriormente, se examinaron los coeficientes de regresión obtenidos para cada variable independiente, así como otros estadísticos de ajuste del modelo como el coeficiente de determinación R^2, para evaluar la fuerza y la significancia de la relación entre las variables. Este análisis permitió identificar y cuantificar el impacto de las variables independientes (temperatura y tiempo) en las variables dependientes (Color, pH, °Brix), proporcionando una comprensión más profunda de los fenómenos, siguiendo la metodología propuesta por Nieto-Calvache y Suarez-Ramos (2020). Su enfoque consiste en establecer la relación entre una variable dependiente y un conjunto de variables independientes, con el fin de comprender cómo están interrelacionadas y cómo influyen en un fenómeno complejo.

Se empleó el software Excel para evaluar la variabilidad en el proceso de producción de panela respecto a los factores de respuesta como pH y °Brix. Se recopilaron los datos obtenidos en el análisis de laboratorio y se analizaron utilizando funciones estadísticas, para visualizar la variabilidad del pH se creó un gráfico de líneas, mientras que para los °Brix se utilizó un cuadro comparativo. Este enfoque permitió identificar patrones de variabilidad en ambos parámetros y tomar medidas para mejorar la calidad y consistencia del producto final.

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados

3.1.1. Influencia de los parámetros operacionales en el color de la panela

En la **Tabla 1** observamos una variabilidad en las temperaturas y tiempos de calentamiento, evaporación y concentración a lo largo de los lotes. La temperatura del calentador varía desde 74°C en el LOTE 10 hasta 89,8°C en el LOTE 1, mientras que los tiempos de calentamiento oscilan entre 43 minutos en el LOTE 7 y 126 minutos en el LOTE 1. Además, encontramos diferencias notables en la temperatura y tiempo del evaporador, así como en la temperatura de concentración entre los lotes. Estas variaciones pueden influir en el color de la panela, que varía desde 5170 en el LOTE 8 hasta 7250 en el LOTE 5.

Tabla 1 | Comportamiento de los parámetros operacionales en el calentador, evaporador 1, evaporador 2 y concentración. (TCa: temperatura de calentamiento); (tca: tiempo de calentamiento); (TE1: temperatura del evaporador 1); (te: tiempo de evaporador 1); (TE2: temperatura de evaporador 2); (te: tiempo de evaporador 2); (TCo: temperatura de concentración); (tco: tiempo de concentración); y el color de la panela (C.I.P: color ICUMSA de la panela)

LOTE	TCa (ºC)	Tca	TE1 (ºC)	te 1	TE2 (ºC)	Te 2	TCo (ºC)	tco	C. I. I
1	89,8	123,0	95,2	126,0	81,6	124,0	92,0	123,0	682(
2	82,9	50,0	80,7	56,0	89,2	52,0	93,1	50,0	614(
3	78,3	75,0	90,9	76,0	80,3	67,0	74,1	75,0	665(
4	79,1	53,0	84,0	57,0	75,0	53,0	80,7	53,0	520(
5	77,9	62,0	80,3	61,0	70,3	64,0	95,1	62,0	725(
6	78,6	78,0	82,8	72,0	61,5	65,0	87,6	78,0	590(
7	79,2	43,0	83,0	48,0	81,2	47,0	86,6	43,0	539(
8	83,4	75,0	84,8	75,0	57,3	80,0	89,4	78,0	517(
9	84,3	114, 0	75,7	114,0	76,0	116	89,6	115,0	685(
10	74,0	67,0	83,8	67,0	86,3	70,0	121,0	78,0	580(

La **Tabla 2** muestra los coeficientes estimados para el modelo de regresión lineal múltiple, indicando la relación entre las variables independientes y la variable dependiente (C. color ICUMSA). Se incluyen estimaciones de coeficientes, errores estándar, estadísticos t y valores p para evaluar la significancia de cada coeficiente. Estos resultados permiten comprender cómo cada variable contribuye al modelo y su importancia en la predicción de la variable dependiente.

La constante del modelo, que representa el valor esperado de la variable de respuesta cuando todas las variables independientes son cero, es de 38242,5. Este valor es significativo con un estadístico t de 7,05887 y un valor-p de 0,0896, lo que sugiere que podría haber una relación significativa entre la constante y la variable de respuesta.

En cuanto a las variables independientes, se observa que la temperatura del calentador tiene un coeficiente estimado de -11,8779, indicando que un aumento en la temperatura del calentador está asociado con una disminución en la variable de respuesta. Este efecto es estadísticamente significativo con un valor-p de 0,0800. Similarmente, el tiempo del calentador muestra una relación significativa con la variable de respuesta, con un coeficiente estimado de 322,867 y un valor-p de 0,0884.

Las temperaturas del evaporador 1 y 2 también muestran una relación significativa con la variable de respuesta, con coeficientes estimados de -414,471 y 249,981 respectivamente. Además, los tiempos asociados con estos evaporadores también son significativos, con coeficientes estimados de -702,124 y 313,709 respectivamente.

Sin embargo, la temperatura y el tiempo del concentrado muestran coeficientes estimados de -224,126 y 155,861 respectivamente, pero con valores-p de 0,0735 y 0,1995 respectivamente, que no son estadísticamente significativos a un nivel de confianza convencional.

Los resultados sugieren que algunos parámetros operacionales, como el tiempo del evaporador 1, la temperatura del

evaporador 2 y el tiempo del evaporador 2, tienen una influencia estadísticamente significativa en los factores de respuesta del proceso de producción de panela. Esto se refleja en los valores significativos de los estadísticos T y los valores p asociados con estos parámetros en el análisis de regresión. Por otro lado, aunque algunos parámetros, como la temperatura del calentador y el tiempo del calentador, muestran efectos potenciales en los factores de respuesta, no alcanzan significancia estadística según el nivel de significancia convencional (0,05).

Tabla 2 | Influencia de las variables operacionales en el color de la panela.

Parámetros	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante	38242,5	5417,65	7,05887	0,0896
Temperatura del calentador	-11,8779	1,50022	-7,91746	0,0800
Temperatura del calentador	322,867	45,1451	7,15176	0,0884
Temperatura del evaporador 1	-414,471	58,6458	-7,06736	0,0895
Temperatura del evaporador 1	-702,124	45,5605	-15,4108	0,0413
Temperatura del evaporador 2	249,981	17,5303	14,2599	0,0446
Temperatura del evaporador 2	313,709	23,8428	13,1574	0,0483
Tiempo concentrado	-224,126	25,9833	-8,62576	0,0735
Tiempo concentrado	155,861	50,4969	3,08654	0,1995

El modelo de regresión lineal múltiple examina la relación entre C. color ICUMSA y nueve variables independientes. Según los resultados obtenidos, se observa que la temperatura del calentador tiene un efecto negativo en C. color ICUMSA, mientras que el tiempo de calentador muestra una influencia positiva. Por otro lado, tanto la temperatura como el tiempo de evaporador 1 muestran una relación negativa con el color ICUMSA, mientras que la temperatura y el tiempo de evaporador 2 tienen un efecto positivo. Respecto al concentrado, se nota que la temperatura ejerce una influencia negativa, mientras que el tiempo tiene un impacto positivo en C. color ICUMSA. Además, se destaca que el pH del concentrado tiene una influencia negativa en el color ICUMSA. En resumen, estos resultados ofrecen información valiosa sobre cómo cada una de estas variables independientes afecta la variabilidad en el color de la panela, lo que permite ajustar el proceso de producción para mejorar la calidad del producto final. La ecuación del modelo ajustado (*Statgraphic* XVI) es la siguiente:

C. color ICUMSA = 33526,8 - 11,1217*temperatura del calentador + 330,896*tiempo del calentador - 356,135*temperatura del evaporador 1 - 593,871*tiempo del evaporador 1 + 212,309*temperatura del evaporador 2 + 268,892*tiempo del evaporador 2 - 167,793*temperatura del concentrado + 73,939*tiempo del concentrado - 371,253*pH del concentrado.

En la **Tabla 3** se presenta el análisis de varianza (ANOVA) del modelo para el proceso de producción de panela, donde este comprende los efectos de los parámetros operacionales, se observa que el valor p es mayor o igual a 0,05. Esto indica que no hay una relación estadísticamente significativa entre las variables, con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 3 | Análisis de Varianza del modelo (GL: Grados de Libertad)

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	5,00436E6	8	625545	67,61	0,0925
Residuo	9251,76	1	9251,76		
Total (Corr.)	5,01361E6	9			

El estadístico R^2indica que el modelo así ajustado explica 99,8155% de la variabilidad en. color ICUMSA. El estadístico R^2 ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98,73392%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 96,1861. El error absoluto medio (MAE) de 23,1244 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos 1,55695 los que determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos.

En la **Figura 4** se representa la relación entre la temperatura del calentador en el eje X y el efecto de componente más residuo en el eje Y. Se observa que a medida que la temperatura del calentador aumenta, el efecto de componente más residuo tiende a disminuir, lo que indica una relación negativa entre estas dos variables. Sin embargo, esta relación no es lineal, ya que la disminución en el efecto de componente más residuo no es constante a lo largo de todo el rango de temperatura del calentador.

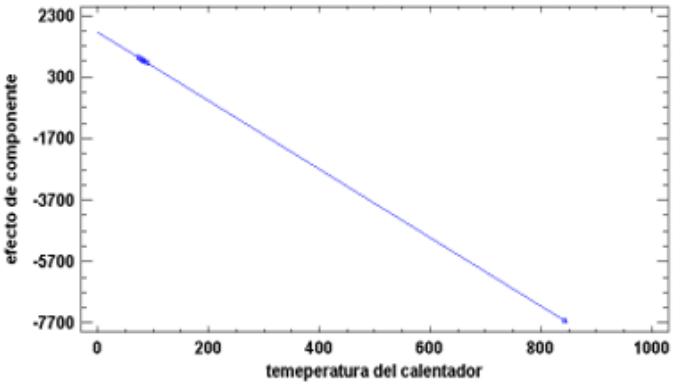


Figura 4 | Componente + residuo para C. color ICUMSA

3.1.2. Comportamiento del pH en el proceso de obtención de panela

La **Figura 5** muestra la variación del pH a lo largo de diez lotes en diferentes etapas del proceso. Observamos que el pH Molienda (3,48 -4,85) y el pH Panela (5,07-5.76) muestran una estabilidad relativa a lo largo de los lotes, sugiriendo una consistencia en las condiciones de entrada y salida del proceso. Sin embargo, el pH Calentador (4,69-5,43) y el pH Evaporador 1 (4,9-5,37) exhiben fluctuaciones más pronunciadas, lo que podría indicar variabilidad en las condiciones de calentamiento y evaporación. Estas fluctuaciones podrían estar relacionadas con cambios en la materia prima, la temperatura o el tiempo de procesamiento. Por otro lado, el pH Evaporador 2 (4,85-5,33), el pH Concentración (4,77-5,52) y el pH Panela muestran una variación moderada entre los lotes. Estos hallazgos resaltan la importancia de monito-

rear y controlar las variables del proceso para garantizar la calidad y consistencia del producto final.

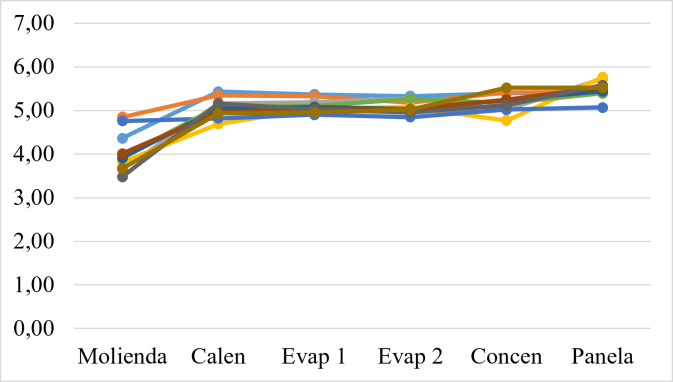


Figura 5 | Comportamiento del pH del proceso de producción de panela

La observación de la variación del pH a lo largo de las etapas del proceso proporciona una visión directa de cómo los parámetros operacionales, como la temperatura y el tiempo de procesamiento, afectan la calidad y la consistencia del producto final. La estabilidad relativa del pH en ciertas etapas, como la molienda y la producción de panela, sugiere consistencia en las condiciones de entrada y salida del proceso, mientras que las fluctuaciones más pronunciadas en el pH del calentador y del evaporador 1 indican variabilidad en las condiciones de calentamiento y evaporación.

El análisis de la influencia de las variables operacionales en el pH de la panela, como se muestra en la **Tabla 4**, revela resultados significativos y no significativos. Entre las variables consideradas, la molienda emerge como un factor de gran importancia, evidenciado por un coeficiente estimado de -0,527119 y un valor-t de -3,67629, con un valor-p de 0,0213, lo que sugiere una relación inversa entre el proceso de molienda y el pH de la panela. Este hallazgo resalta la relevancia de este paso en el proceso de producción, donde una mayor intensidad de molienda podría asociarse con una disminución en el pH del producto final. Por otro lado, las variables del calentador, evaporadores 1 y 2, así como el concentrador, no muestran una influencia significativa en el pH de la panela, como lo indican sus valores-t relativamente bajos y valores-p superiores a 0,05. Estos hallazgos destacan la importancia del control del pH durante la etapa de molienda para influir en el resultado deseado, mientras que señalan que otros aspectos del proceso podrían no ser tan críticos en términos de su impacto directo en la variable dependiente analizada.

Tabla 4 | Influencia de las variables operacionales en el pH de la panela.

		Error	Estadístico	
Parámetro	**Estimación**	**Estándar**	**T**	**Valor-P**
CONSTANTE	7,60939	1,41691	5,3704	0,0058
molienda pH	-0,527119	0,143383	-3,67629	0,0213
calentador pH	-0,20894	0,513138	-0,407181	0,7047
evaporador 1 pH	0,357852	0,444475	0,805112	0,4659
evaporador 2 pH	0,0827957	0,128281	0,645427	0,5538
concentrador pH	-0,23473	0,292711	-0,801919	0,4675

La **Tabla 5** presenta el Análisis de Varianza (ANOVA) detallado del modelo GL (Grados de Libertad), donde se examina la distribución de la variabilidad dentro del modelo y la varianza residual. El análisis revela que la suma de cuadrados del modelo es de 0,279664 con 5 grados de libertad, lo que resulta en un cuadrado medio de 0,0559328. Este valor indica la cantidad de variabilidad en los datos que es explicada por el modelo. La razón-F calculada para el modelo es de 3,81, lo que sugiere cierta relevancia del modelo en la explicación de la variabilidad observada. Sin embargo, el valor-p asociado al modelo es de 0,1097, lo que indica que no se alcanza el umbral de significancia convencional (0,05). Este resultado sugiere que, aunque el modelo podría explicar parte de la variabilidad en los datos, no hay suficiente evidencia estadística para afirmar que los coeficientes del modelo son diferentes de cero.

Por otro lado, la suma de cuadrados residual es de 0,0587462 con 4 grados de libertad, lo que resulta en un cuadrado medio de 0,0146866. Esta medida representa la cantidad de variabilidad en los datos que no es explicada por el modelo. La inclusión de la varianza residual es crucial para evaluar la bondad de ajuste del modelo. En este caso, la suma de cuadrados residual es relativamente pequeña en comparación con la suma de cuadrados del modelo, lo que indica que el modelo puede ajustarse adecuadamente a los datos, pero la falta de significancia estadística sugiere que aún hay incertidumbre sobre la contribución real del modelo a la variabilidad observada.

Tabla 5 | Análisis de Varianza del modelo (GL: Grados de Libertad)

Fuente	**Suma de Cuadrados**	**Gl**	**Cuadrado Medio**	**Razón-F**	**Valor-P**
Modelo	0,279664	5	0,05593 28	3,8 1	0,1097
Residuo	0,0587462	4	0,0146866		
Total (Corr.)	0,338 41	9			

Los resultados del modelo indican que el coeficiente de determinación R^2 es del 82.6405%, lo que sugiere que aproximadamente el 82.64% de la variabilidad en la variable dependiente puede ser explicada por las variables independientes incluidas en el modelo. El R^2 ajustado para los grados de libertad es del 60.9411%, lo que tiene en cuenta la cantidad de variables en el modelo y proporciona una medida más conservadora de la bondad de ajuste. El error estándar de la estimación es de 0.121188, lo que indica la precisión con la que el modelo puede predecir los valores observados. El error absoluto medio es de 0.0629149, lo que representa la magnitud promedio de los errores de predicción del modelo. El estadístico Durbin-Watson es de 2.15239, con un valor de p de 0.4195, lo que sugiere que no hay evidencia de autocorrelación de los residuos. Sin embargo, se observa una autocorrelación negativa en el primer rezago de -0.283989, lo que podría indicar un patrón sistemático en los residuos del modelo.La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre panela pH y 5 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

panela pH = 7,60939 - 0,527119*molienda pH - 0,20894*ca-

lentador pH + 0,357852*evaporador 1 pH + 0,0827957*evaporador 2 pH - 0,23473*concentrador pH

Puesto que el valor-P en la Tabla 5 es mayor o igual que 0,05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%. El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica 82,6405% de la variabilidad en panela pH. El estadístico R^2 ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 60,9411%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,121188. Este valor puede usarse para construir límites para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Reportes del menú de texto. El error absoluto medio (MAE) de 0,0629149 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

La **Figura 6** revela una tendencia positiva general entre la variable y los parámetros operacionales del proceso de producción de panela, como se sugiere por la línea trazada en el gráfico. Sin embargo, la dispersión de varios puntos cercanos a esta línea indica la presencia de variabilidad no explicada por el modelo. Esto sugiere que existen otros factores no considerados en el estudio que también influyen en el pH de la panela. Por lo tanto, se requiere una exploración adicional para comprender completamente la influencia de los parámetros operacionales en la variable de interés y mejorar la precisión del modelo.

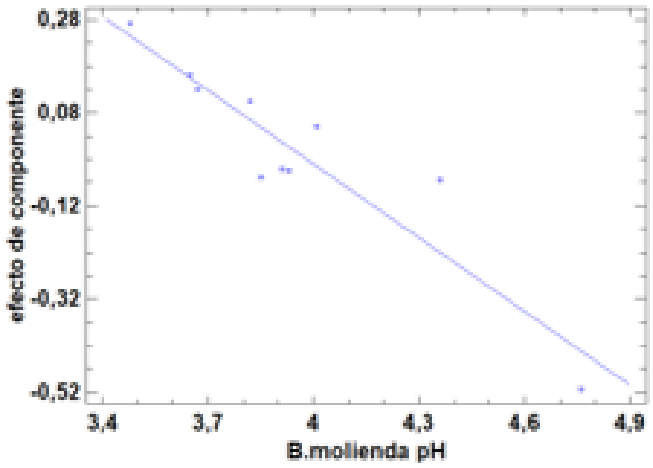


Figura 6 | Gráfico Componente+Residuo para B.panela pH

3.1.3. Influencia de los parámetros operacionales en los °Brix de la panela

En la **Tabla 6** se observa el comportamiento de los °Brix en cada etapa del proceso revela variaciones significativas a lo largo de los lotes. En la etapa de Molienda (M1), los °Brix fluctúan entre 13,8 y 16,2, indicando una consistencia relativa en el contenido de azúcar del jugo de caña. Sin embargo, en la etapa de Filtración (M2), observamos una mayor variabilidad, con valores de °Brix que van desde 15 hasta 17,2. Esto podría sugerir una variabilidad en la eficiencia de filtración o en la concentración de azúcar en el jugo. En la etapa de Calentador (M3), los °Brix varían desde 14,5 hasta 23,8 lo que indica una amplia variabilidad en la concentración de azúcar después del calentamiento. Similarmente, en la etapa de Evaporación 1 (M4), los °Brix oscilan entre 18,3 y 32,7, existiendo diferencias significativas en la concentración de azúcar antes de la primera etapa de evaporación. En la etapa de Evaporación 2 (M5), los °Brix varían desde 19,5 hasta 41,8 mostrando una amplia gama de concentraciones de azúcar después de la segunda etapa de evaporación. No obstante, la cachaza (M6) obtenida de la etapa anterior, lo valores de °Brix varían desde 16,2 y 24,3. En la etapa de Concentración (M7), los °Brix fluctúan entre 62,2 y 83,9, Por último, en el producto final (M8), los valores subieron a rangos 102 y 108.

Tabla 6 | Comportamiento de los °Brix en el proceso de obtención de panela (M1: Molienda); (M2: Filtración); (M3: Calentador); (M4: Evaporador 1); (M5: Evaporador 2); (M6: Cachaza); (M7: Concentración); (M8: Producto Final Panela).

	Muestras							
Lotes	**M1**	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**	**M7**	**M8**
	°Brix							
1	17	16,2	19,1	22,4	41,8	21,0	74,4	89,0
2	16,2	17,2	20,8	24,5	35,1	21,4	66,4	89,0
3	14,5	15,1	20,2	23,4	40,7	23,3	62,2	89,0
4	14,9	15,6	23,8	31,7	23,5	16,2	68,6	91,0
5	16,1	15,4	14,5	18,6	26,2	19,3	83,9	108
6	14,8	15,2	15,6	18,3	19,5	19,5	66,1	92
7	15,0	15,3	15,9	18,9	30,9	17,8	65,8	96
8	16,1	15.0	16,0	19,1	25,0	24,3	72,4	102
9	13,8	15,8	19,5	32,7	33,3	19,5	72,9	96,0
10	14,0	15,0	15,3	19,3	25,2	19,5	72,9	89,0

La **Tabla 7** revela los patrones significativos de las variables del proceso de producción de panela. Se observa una amplia variabilidad en las temperaturas y tiempos registrados para el calentamiento, evaporación y concentración, lo que indica una diversidad en las condiciones de operación entre los diferentes lotes. Por ejemplo, la temperatura de calentamiento (TCa) muestra un rango de 74°C a 89.8°C, con tiempos de calentamiento (tca) que varían de 43 a 123 minutos.

Tabla 7 | Comportamiento de los parámetros operacionales en el calentador, evaporador 1, evaporador 2 y concentración. (TCa: temperatura de calentamiento); (tca: tiempo de calentamiento); (TE1: temperatura del evaporador 1); (te: tiempo de evaporador 1); (TE2: temperatura de evaporador 2); (te: tiempo de evaporador 2); (TCo: temperatura de concentración); (tco: tiempo de concentración); (°Brix: °Brix de la panela)

LOTE	**TCa (°C)**	**Tca**	**TE1 (°C)**	**te 1**	**TE2 (°C)**	**Te 2**	**TCo (°C)**	**Tco**	**°Brix**
1	89,8	123	95,2	126	81,6	124	92	123	89
2	82,9	50	80,7	56	89,2	52	93,1	50	89
3	78,3	75	90,9	76	80,3	67	74,1	75	89
4	79,1	53	84	57	75	53	80,7	53	91
5	77,9	62	80,3	61	70,3	64	95,1	62	108
6	78,6	78	82,8	72	61,5	65	87,6	78	92
7	79,2	43	83	48	81,2	47	86,6	43	99
8	83,4	75	84,8	75	57,3	80	89,4	78	102
9	84,3	114	75,7	114	76	116	89,6	115	96
10	74	67	83,8	67	86,3	70	121	78	89

Esta variabilidad también se refleja en las temperaturas de los evaporadores 1 (TE1) y evaporador 2 (TE2), con diferencias entre los lotes. Además, la concentración de la panela medida en °Brix exhibe una dispersión significativa, oscilando entre 89 y 108, lo que sugiere diferencias en la composición final del producto. Este análisis pone de relieve la importancia de controlar y optimizar las condiciones de operación para garantizar la consistencia y calidad del producto final.

En la **Tabla 8** se muestra los resultados del análisis de regresión múltiple, dentro de los parámetros estudiados para la producción de panela, el tiempo de calentamiento (coeficiente = 3.45531, p-valor = 0.0398), el tiempo de evaporación en los dos evaporadores (coeficiente = -4.70199 para evaporador 1, coeficiente = 2.39297 para evaporador 2, ambos con p-valores significativos) y el tiempo de concentración (coeficiente = -1.35066, p-valor = 0.0754) tienen una influencia estadísticamente significativa en el contenido de sacarosa, medido en grados Brix. Estos hallazgos sugieren que ajustar estos tiempos podría ser crucial para controlar y mejorar la calidad del producto final. Sin embargo, las temperaturas asociadas con estos procesos no parecen tener un efecto significativo en el contenido de sacarosa en el rango estudiado.

Tabla 8 | Influencia de las variables operacionales en °Brix de la panela.

		Error	Estadístico	
Parámetro	**Estimación**	**Estándar**	**T**	**Valor-P**
CONSTANTE	68,3185	15,103	4,52351	0,1385
temperatura calentador	0,178165	0,190336	0,936058	0,5210
tiempo calentador	3,45531	0,21607	15,9916	0,0398
temperatura evaporador 1	0,361478	0,0439603	8,22282	0,0770
tiempo evaporador 1	-4,70199	0,416396	-11,2921	0,0562
temperatura evaporador 2	0,511182	0,0876153	5,83439	0,1081
tiempo evaparador 2	2,39297	0,116282	20,579	0,0309
temperatura concentración	-0,376441	0,0666768	-5,64575	0,1116
tiempo concentración	-1,35066	0,160639	-8,40805	0,0754

El análisis de varianza (ANOVA) del modelo GL (Grados de Libertad), presentado en la **Tabla 9**, revela resultados significativos con implicaciones importantes para el estudio sobre la influencia de los parámetros operacionales en el proceso de producción de panela. La suma de cuadrados del modelo es de 400,15, con 8 grados de libertad, lo que resulta en un cuadrado medio de 50,0187. Esta alta suma de cuadrados del modelo sugiere que el modelo explica una gran parte de la variabilidad observada en los datos. Además, la razón-F calculada para el modelo es de 199,93, con un valor-p asociado de 0,0539. Aunque el valor-p se acerca al umbral de significancia convencional de 0,05, la razón-F indica una relación altamente significativa entre las variables del modelo.

Por otro lado, la suma de cuadrados residual es de 0,250186, con 1 grado de libertad y un cuadrado medio de 0,250186. Esta baja suma de cuadrados residual indica que hay poca variabilidad en los datos que no es explicada por el modelo.

Tabla 9 | Análisis de Varianza del modelo (GL: Grados de Libertad)

Fuente	**Suma de Cuadrados**	**Gl**	**Cuadrado Medio**	**Razón-F**	**Valor-P**
Modelo	400,15	8	50,0187	199,93	0,0539
Residuo	0,250186	1	0,250186		
Total (Corr.)	400,4	9			

Los resultados del análisis muestran un ajuste excepcionalmente alto del modelo, con un coeficiente de determinación R^2 de 99.9375% y un R^2 ajustado ligeramente menor pero igualmente impresionante de 99.4376%, lo que sugiere que la gran mayoría de la variabilidad en la variable dependiente puede ser explicada por el modelo. El error estándar del estimador es bajo, con un valor de 0.500186, indicando una buena precisión en las estimaciones de los coeficientes del modelo. El error absoluto medio, un indicador de la precisión general del modelo, es también relativamente bajo, con un valor de 0.120044. Sin embargo, se observa una autocorrelación de residuos en el retraso 1, con un coeficiente de 0.168154, lo que sugiere que podría haber cierta dependencia serial entre los errores del modelo en períodos consecutivos. El estadístico Durbin-Watson, con un valor de 1.65684, indica una posible autocorrelación positiva de los residuos.

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre °Brix Panela y 8 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

°Brix Panela = 68,3185 + 0,178165*temperatura calentador + 3,45531*tiempo calentador + 0,361478*temperatura evaporador 1 - 4,70199*tiempo evaporador 1 + 0,511182*temperatura evaporador 2 + 2,39297*tiempo evaparador 2 - 0,376441*temperatura concentración - 1,35066*tiempo concentración

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica 99,9375% de la variabilidad en °Brix Panela. El estadístico R^2 ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99,4376%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,500186. Este valor puede usarse para construir límites para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Reportes del menú de texto. El error absoluto medio (MAE) de 0,120044 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos.

La **Figura 7** muestra el Gráfico Componente+Residuo para la variable °Brix de la panela, donde el eje y representa el efecto del componente, mientras que el eje x representa la temperatura del calentador. Se observa la inclinación ascendente de la línea sugiere una relación positiva entre la temperatura del calentador y el contenido de °Brix en la panela. Sin embargo, la dispersión alrededor de la línea indica la presencia de variabilidad en los datos no explicada por el modelo, lo que sugiere la influencia de otros factores en el contenido de azúcar de la panela durante el proceso de

producción.

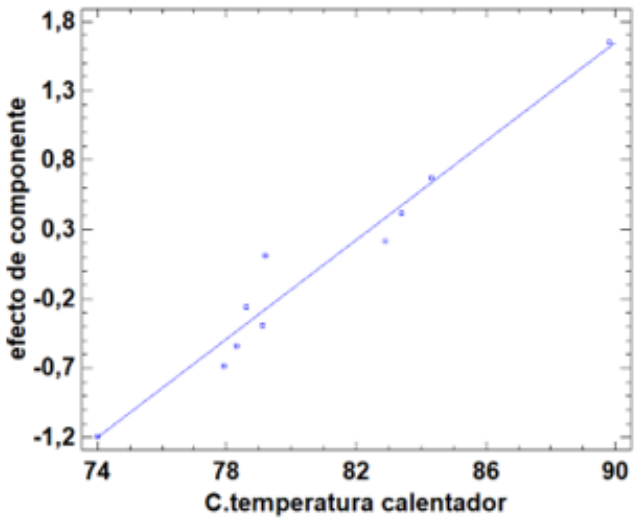


Figura 7 | Gráfico Componente+Residuo para °Brix Panela

3.1.4. Comportamiento del color en la producción de panela

El análisis de los datos para la determinación del color de ICUMSA revela resultados como el coeficiente de determinación R^2 y su versión ajustada proporciona una medida precisa de este ajuste. Con un R^2 del 99,81 % y un R-cuadrada ajustada del 98,73 %. Comparando estos resultados con los obtenidos por Ramos Figueroa (2020), se observa una mejora considerable en el rendimiento del modelo con un R^2del 90,41 % y un R^2ajustada del 82,74 %, los valores actuales indican una explicación mucho más robusta de la variabilidad en el color.

Además, el error estándar del estimado y el error absoluto medio proporcionan una medida de la precisión de las predicciones del modelo. Con un error estándar del estimado de 96,1861 y un error absoluto medio de 23,1244, se evidencia una precisión notable en las predicciones del color de ICUMSA. Sin embargo, Ramos Figueroa (2020), destaca que los valores del error estándar del estimado y el error absoluto medio obtenidos son significativamente más altos 458,196 y 230,813.

Es importante destacar que la relación entre las variables del proceso y el color de la panela no es directa ni lineal, y puede ser influenciada por otros factores como la calidad de la materia prima o el equipo de procesamiento. De acuerdo con las regulaciones mexicanas, el intervalo aceptable para el color ICUMSA es de 7000 a 13000 unidades internacionales (U.I.).

3.1.5. Comportamiento del pH en la producción de panela

Los resultados del pH obtenido en el proceso de producción de panela mostraron un rango entre 5,07 y 5,76. Al comparar estos resultados con los hallazgos previos de Durán et al. (2014), se observa un rango de pH más amplio, entre 5,67 y 5,91, con un promedio de 5,82. Sin embargo, a pesar de esta diferencia, ambos conjuntos de datos confirman que los valores de pH de la panela se encuentran dentro del rango aceptable, que generalmente se sitúa entre 5,5 y 6,5, según las regulaciones y estándares establecidos.

Además, Garofalo and Villon (2019) otro estudio realizado arrojó un valor de pH de 5,93, lo que sugiere que, esta variabilidad en los valores de pH puede atribuirse a la presencia de ácidos orgánicos en el producto final. Es esencial considerar que, a pesar de esta variabilidad, los valores obtenidos siguen siendo adecuados para los estándares de calidad de la panela.

3.1.6. Comportamiento de los °Brix en la producción de panela

El estudio presenta los resultados de la concentración de sólidos solubles, medida en °Brix, en diez lotes de panela. Los valores obtenidos oscilaron entre 75,5 y 97,7 °Brix, los cuales se compararon con los rangos ideales propuestos por Quezada Moreno (2007) que sugieren un intervalo de 90 a 92 °Brix para la panela. Sin embargo, los datos recopilados por Durán et al. (2014) muestran una variabilidad similar en los °Brix, con un promedio de 94,4 el cual se encuentra dentro del rango normal establecido entre el 89 % y el 95 %.

Además, el estudio de Quezada-Moreno et al. (2015), resalta la importancia de mantener una temperatura y tiempo adecuado durante la cocción, con una media de 120 ºC, para lograr la concentración deseada de sólidos solubles. Además, se observa que el proceso de cocción incrementa significativamente los sólidos solubles de 16 a 21 °Brix hasta 90 o 94 °Brix, lo que subraya la relevancia del tiempo de cocción en la concentración final de la panela.

4. Conclusiones

Los parámetros operacionales, como el tiempo del evaporador 1, la temperatura del evaporador 2 y el tiempo del evaporador 2, ejercen una influencia estadísticamente significativa en los factores de respuesta del proceso de producción de panela. Se ha determinado que el tiempo y la temperatura de concentración juegan un papel importante en la variabilidad del color de la panela. El empleo de modelos de regresión lineal ha permitido predecir con alta precisión los factores que influyen en el color de la panela, con coeficientes de determinación (R^2) del 99,81 % y 98,73 %, respectivamente. Por otro lado, se ha observado que el pH de la panela exhibe variabilidad durante el proceso, resultando en valores que oscilan entre 5,07 y 5,76. Los °Brix durante el proceso de obtención de panela revela variaciones en cada etapa, lo que indica posibles fluctuaciones en la eficiencia y concentración de azúcar. Esto resalta la importancia de un control riguroso en todas las fases para garantizar la calidad del producto final. Estos resultados proporcionan una comprensión más profunda de los factores que influyen en la calidad de la panela y pueden ser utilizados para mejorar y optimizar el proceso de producción en la industria panelera.

Contribuciones de los autores

Viviana Betsabe Chimbo Shiguango: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Wilo Fabricio Licuy Andy: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Amaury Pérez Martínez: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

AOAC. Association of offical analytical chemistry. In. Gaithersburg, MD (Estados Unidos): AOAC International, 2005.

BERNAL, H., M. ALBARRACIN, A. TOSCANO AND O. INSUASTY *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera*. Edtion ed.: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia; CORPOICA, 2007. ISBN 978-958-8311-17-3.

CAMPAÑA, P. J. G. AND D. C. Z. CABRERA Impactos ambientales en la producción de panela en la parroquia de Pacto del Distrito Metropolitano de Quito. Esferas, 2022, 3, 94-111. Available from Internet: <>.

CASTRO, J., I. HUERTAS, J. GARCÍA, D. KALENATIC, et al. Potencial de producción de bioetanol a partir de caña panelera: dinámica entre contaminación, seguridad alimentaria y uso del suelo. Ingeniería, 2011, 16(1), 6-26.

CERDA-MEJÍA, V., E. GONZÁLEZ-SUÁREZ, H. MILLÁN-CRUZ, J. RAMOS-DUCHICELA, et al. Estudio de viabilidad de la producción de miel de caña, diseño de procesos, aceptabilidad y análisis económico. Tecnología Química, 2020, 40(3), 517-533. Available from Internet: <>.

CERDA-MEJÍA, V., A. PÉREZ-MARTÍNEZ, E. GUARDADO-YORDI, G. CERDA-MEJIA, et al. Simulation strategy to reduce quality uncertainty in the sugar cane honey process design. Ingeniería e Investigación, 2021, 41(1).

CERDA, V. R., E. GUARDADO, G. L. CERDA, R. VINOCUNGA, et al. Procedure for the determination of operation and design parameters considering the quality of non-centrifugal cane sugar. Entre Ciencia e Ingeniería, 2022, 16(31), 43-50. .

DURÁN, J. R., O. I. BURBANO AND C. A. V. VALENS Comportamiento agroindustrial de diez variedades de caña de azúcar para producción de panela en Santander, Colombia. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 2014, 15(2), 183-195. .

FAO. Acuerdo No 92 - NTE INEN 331 sobre requisitos de la panela sólida. In., 2002.

GAROFALO, M. AND P. VILLON. Mejoramiento del proceso de producción de panela orgánica en unidades paneleras de la provincia de Cotopaxi. Trabajo final para la obtención del título: Ingeniero en Alimentos. ESPOL. FIMCP, 2019.Available from Internet: <>

GUTIÉRREZ-MOSQUERA, L. F., S. ARIAS-GIRALDO AND A. M. CEBALLOS-PEÑALOZA Actualidad del sistema productivo tradicional de panela en Colombia: análisis de mejoras y alternativas tecnológicas. Ingeniería y Competitividad, 2018, 20(1), 107-123.

HERNÁNDEZ, I. J. G. Diseño de experimentos y su aplicación en la industria. Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior de Cd. Sahagun, 2014, 1(1), Available from Internet: <>.

ICUMSA. Industria Azucarera y Alcoholera - Determinación de color por absorbancia en azúcares (CANCELA A LA NMX-526-1992). In., 2012.

LARA, J. AND O. RODRÍGUEZ. Implementación de un sistema de control de calidad para el proceso de producción de panela granulada en la agroindustria panelera “El Valle". Universidad Estatal Amazónica, 2019.Available from Internet: <>

LÓPEZ, N., F. MORENO, L. CASTRO AND M. ZÁRATE Evaluación de los aspectos ambientales en la cadena de suministro de la panela en el sector de la hoya del río Suárez, en Colombia. Revista Chilena de Economía y Sociedad, 2019, 13(1), 80-90. Available from Internet: <>.

MORALES, C. Preferencia y consumo de panela granulada frente a la azúcar refinada extraída de la caña de azúcar en Manta, Ecuador, en el año 2014. HEOSPHOROS. Revista de Investigación Multidisciplinaria, 12/10 2015, 1, 15-24. Available from Internet: <>.

NIETO-CALVACHE, J. AND C. SUAREZ-RAMOS Desarrollo de una bebida energizante con pulpa de maracuyá, cristales de aloe vera, panela y propiedades antioxidantes. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 2020, 23(2), e1456.

NORMA MEXICANA. NMX-F-526-SCFI-2012. Industria azucarera y alcoholera - determinación de color por absorbancia en azúcares (Cancela a la NMX-526-1992). In. México: Norma Mexicana, 2012b.

QUEZADA-MORENO, W., I. GALLARDO-AGUILAR AND W. QUEZADA-TORRES Temperatura y concentración del jugo de caña según pisos climáticos en Ecuador. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 2015, 49(1), 17-21. Available from Internet: <>.

QUEZADA MORENO, W. F. *Guía técnica de agroindustria panelera*. Edtion ed. Ibarra-Ecuador, 2007. ISBN 9942013288.

RAMOS FIGUEROA, M. Á. Influencia de los parámetros operacionales de las etapas de concentración y cristalización en el color de la panela granulada. Universidad Estatal Amazónica, 2020.Available from Internet: <>

ZÚÑIGA, P. I. V.; R. J. CEDEÑO CEDEÑO; MALDONADO PALACIOS, I. A. Metodología de la investigación científica: guía práctica. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 2023, vol. 7, no 4, p. 9723-9762. Available from Internet: <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/7658/11619