UEA Agroindustria
PrePrint UEA

Sección Agroindustria
Vol. AGI2324. ep11–179

| Recibido: 15/03/2024 |
| Aceptado: 29/04/2024 |
| Publicado: 12/11/2026 |

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

Influence of operational parameters on bioethanol production process response factors.

Jerson Javier Cedeño Mora[1], Billy Robinson Rivera Morocho[1] Amaury Pérez Martínez[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2324ep11-179 Crossref

Resumen

El presente trabajo se enfoca en determinar la influencia de parámetros operacionales en los factores de respuesta del proceso de producción de bioetanol en dos destilerías. Se han identificado parámetros fisicoquímicos como pH, tiempo, temperatura, °Brix y °Gay Lussac en tres etapas del proceso; molienda (jugo), fermentación (mosto) y destilación (vinazas y etanol). La metodología incluyó la recolección de muestras, su caracterización fisicoquímica y, por último, el análisis estadístico. Se siguieron las normativas AOAC (*Association of Official Analytical Chemistry*) para la determinación del pH y de los °Brix, y la normativa nacional NTE INEN 0361 para grados alcohólicos. Los datos obtenidos en laboratorio y en campo se analizaron estadísticamente mediante *Statgraphics Centurion* XVI con el método de regresión múltiple, para establecer la relación entre los parámetros operacionales y de respuesta, en relación con la pureza del etanol. Se observó una relación positiva en la temperatura, con un aumento en la temperatura mejora la pureza del etanol. En contraste, los °Brix no tienen efecto sobre la pureza del etanol. Mediante el ANOVA se determinó que el pH no afecta en la pureza del aguardiente. El comportamiento del pH en las muestras de jugo, mosto, vinaza y etanol tienen variabilidad en cada uno de los lotes, encontrándose el etanol dentro de los rangos establecidos en la norma NTE INEN 0361.

Palabras clave

temperatura, muestras, *Statgraphics Centurion*, regresión lineal múltiple, pureza.

Abstract

The present work focuses on determining the influence of operational parameters on the response factors of the bioethanol production process in two distilleries. Physicochemical parameters such as pH, time, temperature, °Brix and °Gay Lussac have been identified in three stages of the process; milling (juice), fermentation (wort) and distillation (stillage and ethanol). The methodology included sample collection, physicochemical characterization and, finally, statistical analysis. The AOAC (Association of Official Analytical Chemistry) standards were followed for the determination of pH and °Brix, and the national standard NTE INEN 0361 for alcoholic strength. The data obtained in the laboratory and in the field were statistically analyzed using Statgraphics Centurion XVI with the multiple regression method to establish the relationship between the operational and response parameters in relation to ethanol purity. A positive relationship was observed for temperature, with an increase in temperature improving ethanol purity. In contrast, °Brix has no effect on ethanol purity. By means of the ANOVA it was determined that pH does not affect the purity of the spirit. The behavior of pH in the juice, must, stillage and ethanol samples showed variability in each of the batches, with ethanol being found within the ranges established in the NTE INEN 0361 standard.

Keywords

temperature, samples, *Statgraphics Centurion*, multiple linear regression, purity.

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: agi2017116@uea.edu.ec, agi2017079@uea.edu.ec, amperez@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Jerson Javier Cedeño Mora. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: agi2017116@uea.edu.ec

Cómo citar

CEDEÑO MORA, Jerson Javier, RIVERA MOROCHO, Billy Robinson and PÉREZ MARTÍNEZ, Amaury 2026. Influencia de los parámetros operacionales en los factores de respuesta del proceso de producción de bioetanol.. PrePrint UEA. Vol. AGI2324. p. ep11–179. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2324ep11-179

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

La producción de bioetanol a nivel mundial es un tema relevante, en países como Estados Unidos, Brasil y algunos de la Unión Europea destacándose como los principales productores. Estos utilizan cultivos como maíz, caña de azúcar y remolacha para obtener etanol a gran escala. En conjunto, estas potencias contribuyen al 80% de la producción total de este producto (Monroy et al. 2017).

La búsqueda de nuevas fuentes de energía renovables ha alentado a los países desarrollados a producir biocombustibles a partir de materiales naturales, incluidos azúcares y almidones, que pueden convertirse en bioetanol (Gutiérrez Pulido 2012). De manera similar, Hidalgo et al. (2017) añade que se intenta generar etanol a partir de productos como la piña, la manzana y la uva.

En Ecuador se cosechan cada año 81,000 hectáreas de caña de azúcar para la producción de azúcar y etanol, y 50,000 hectáreas se utilizan para obtener panela y alcohol artesanal, según un informe del Centro Ecuatoriano de Investigaciones de la Caña de Azúcar (CINCAE 2020). Los estudios han considerado el uso de residuos agrícolas de diferentes

tipos de biomasa, como el arroz, banano y caña de azúcar, como fuentes primarias (Abo-State et al. 2013). Por ejemplo, Hidalgo et al. (2017), afirman que en la provincia de Chimborazo hay un enfoque en el uso de la papa en respuesta a la sobreproducción de este cultivo. En Imbabura también se investiga su elaboración a partir de desechos de maíz (Ilibay-Granda et al. 2023).

En la provincia de Pastaza, Ecuador, la caña de azúcar es el principal producto agrícola, y uno de sus principales usos es la fabricación de alcohol artesanal (Monroy et al. 2017). Según la Asociación de Cañicultores de Pastaza (ASOCAP), son un elemento económico importante en la región a través de su cultivo, procesamiento, transporte y venta. Sin embargo, existen deficiencias en el control de los procesos de la cadena productiva, así como pérdidas de materias primas y energía (Ospina León et al. 2023). Curbelo and Acosta (2014) afirman que el bagazo, son vertidos en los campos para su descomposición, y la vinaza son los principales residuos generados.

El bioetanol es conocido como un biocombustible que se obtiene a partir de la fermentación de materia orgánica como caña de azúcar, maíz, remolacha o sorgo, cuya fórmula química es C_2H_5OH (Casco-Méndez et al. 2022). Se considera como una alternativa sostenible y renovable al petróleo, ya que reduce la emisión de gases de efecto invernadero y disminuye la dependencia de los combustibles fósiles (Morales-Zamora et al. 2021).

Este proceso implica una serie de etapas clave, que incluyen la fermentación de los azúcares presentes en la materia prima (MP), la destilación y la purificación del producto final. Por lo tanto, según Muñoz Ortuño (2022), coinciden que el tipo de MP utilizada, las condiciones de pretratamiento, la genética, la eficiencia de la fermentación y la etapa crítica, como la destilación son cruciales para la producción de bioetanol.

Por consiguiente, Hernández Rueda et al. (2018), mencionan que para obtener etanol existen parámetros muy importantes que influyen en el proceso. Entre algunos como temperatura, concentración del sustrato (azúcar), pH del mosto, aireación, concentración de etanol y selección del microorganismo fermentador, que dependen ampliamente en la obtención del rendimiento en el fermentado o mosto (Riaño et al. 2010).

Se entiende como parámetros operacionales a las variables controladas y pueden incluir la temperatura, el pH, el tiempo de fermentación, el tamaño de partícula, entre otros. Por el contrario, los factores respuesta son las variables que se miden o evalúan como resultado del proceso de producción de bioetanol. En este contexto, el rendimiento es un factor de respuesta clave que refleja la eficiencia y la cantidad de bioetanol (Melendez 2022).

Los parámetros que influyen en los factores de respuesta, según Melendez (2022), la hidrólisis ácida diluida, detoxificación y co-fermentación. Estudios han demostrado que la modificación cinética, como la concentración de glucosa, xilosa, etanol y biomasa, puede tener un impacto significativo en la producción de bioetanol.

Entre los parámetros que pueden influir directamente según la literatura esta la materia prima, que puede alterar el proceso de fermentación y destilación; el contenido de azúcares, que varía en dependencia de la variedad y madurez de la caña de azúcar; la etapa de fermentación, en el que sus principales condicionantes son el tiempo, el tipo de microorganismo o levadura, el pH y la temperatura; y por último, la destilación, en el que se determina el grado de pureza y la calidad del bioetanol (Morales Enríquez 2010).

Según Vasco-Echeverri et al. (2013), manifiestan que un enfoque especifico en el proceso de clasificación de la materia prima permite garantizar su pureza. En la etapa de fermentación, se debe tener en cuenta que los parámetros establecidos son capaces de influir en los atributos de calidad del bioetanol, en la pureza, el contenido de agua, el pH, la densidad, el contenido de azúcares y la presencia de impurezas (Pérez, et al., 2017).

Sin embargo, dentro de la provincia no existen estudios que demuestren cuales son los parámetros operacionales que influyen en los parámetros de respuesta del proceso. Razón por la cual, en el presente estudio tiene como objetivo determinar la influencia de los parámetros operacionales en los factores de respuesta del proceso de producción de bioetanol, a base de caña de azúcar, mediante la caracterización fisicoquímica de pH, temperatura, °Brix y °GL (Grados Gay Lussac).

2. Metodología

2.1. Localización

Esta investigación se desarrolló en el Laboratorio de Bromatología Universidad Estatal Amazónica ubicada en el km 2 ½ vía al Tena (Paso lateral), Cantón Puyo, Provincia de Pastaza, perteneciente a la región amazónica ecuatoriana (RAE), con una superficie de 29,773 km^2, las coordenadas 1º-10´ latitud sur, 78º10´ longitud oeste, 2º-35´latitud sur y 76º-40´longitud oeste. Para este estudio se tomó muestras de dos destiladoras **Figura 1**, ubicadas en la Vía Tarqui, parroquia Madre Tierra, Latitud: -1.5306, Longitud: -78.01142, pertenecientes al Cantón Puyo, provincia de Pastaza.

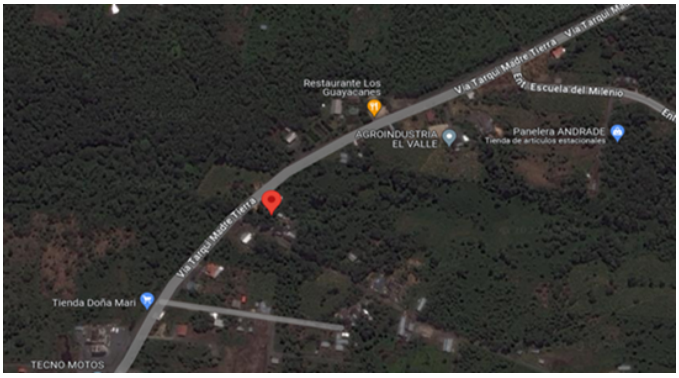

Figura 1 | Localización de lugar de estudio. Adapatado de Google Maps

2.2. Materiales

Las muestras de jugo, mosto, vinazas y etanol empleadas en este estudio son provenientes de dos destilerías situadas en la ciudad del Puyo. Las muestras uno, dos, tres, cuatro y cinco fueron recolectados en la “Destiladora 1”, mientras

que las restantes seis, siete, ocho, nueve y diez en la "Destiladora 2". La conservación se realizó según (Abo-Ste et al. 2013) donde se menciona almacenar el jugo en congelación a -4°C durante 3 días para evitar su fermentación. Las otras muestras permanecieron en refrigeración a 4°C por 3 días para su posterior análisis.

2.3 Métodos

La metodología utilizada en el estudio según Gordillo et al. (2022) para analizar cómo los parámetros operativos afectan los factores de respuesta en la producción de bioetanol, se presenta en la **Figura 2**. Para ello la secuencia de actividades llevadas a cabo en esta investigación se detallan en los siguientes epígrafes, los cuales comprenden las herramientas a utilizar junto con sus respectivos objetivos.

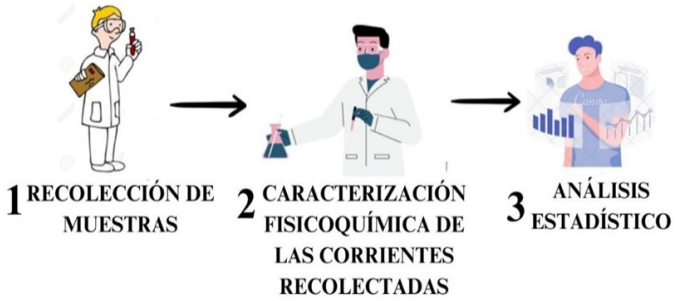

Figura 2 | Metodología aplicada para la recolección de muestras

2.3.1. Etapa 1. Recolección de muestras

En la **Figura 3** se muestran los puntos donde se recolectaron las materias primas que fueron sometidas a la cuantificación de los parámetros de respuesta. Durante la primera molienda se tomaron 250 mL de muestra de jugo procedente a la salida de los molinos. Mientras en la fermentación a las 72 horas se recolectaron 250 mL de mosto de la parte superior del tanque con la ayuda de una jarra plástica de 250 mL. Las vinazas se recogieron durante el proceso de destilación 250 mL. El etanol al final de la destilación con un total de 250 mL. Cada lote procedente de las "Destiladora 1" y "Destiladora 2" fue envasado en botellas plásticas de 250 mL y almacenadas de la forma mencionada anteriormente en materiales.



Figura 3 | Puntos de recolección de las muestras (Jug: Jugo); (Mos: Mosto); Vina: Vinazas); (C_2H_6O: Etanol)

2.3.2. Etapa 2. Caracterización fisicoquímica de las corrientes recolectadas.

2.3.2.1. Parámetros operacionales

En el proceso de producción del etanol se analizaron diferentes parámetros durante la molienda, fermentación y destilación. Por la cual, para medir el tiempo y la temperatura, se utilizaron herramientas como el cronómetro celular *Tecno Spark*, modelo *TECNO K17* y el termómetro modelo *PLUKE 62 MAX*.

2.3.3. Parámetros de respuesta

2.3.3.1. Determinación de pH (Jugo, mosto, vinazas y etanol)

Para determinar el pH siguió la metodología de la Norma AOAC 981.12 (2005), que consiste en colocar un gramo de muestra en un vaso de precipitación de 100 mL. Posteriormente, se añade 50 mL de agua destilada y se deja reposar durante una hora con agitación suave durante el intervalo de tiempo. Finalmente, se procede a medir el pH con un potenciómetro modelo *Peak Instruments* previamente calibrado para tener mayor precisión.

2.3.3.2. Determinación de °Brix (Jugo, mosto, vinazas y etanol)

Según la Norma AOAC 931.12 (2005), consistió en colocar dos gotas de cada muestra en un refractómetro modelo *Milwaukee,* para medir los °Brix. Tomar en cuenta que para la calibración del equipo, se utiliza agua destilada.

2.3.3.3. Determinación de °GL (Pureza) del aguardiente

Según la norma NTE INEN 0361 (2013), se mide 100 ml de etanol en una probeta de 100 mL, y con el uso de un alcoholímetro de inversión modelo *MARIENFELD* se procede a medir los °GL.

2.3.4. Etapa 3. Análisis estadístico

La metodología utilizada para identificar la correlación entre los parámetros operacionales (tiempo y temperatura) ante los factores de respuesta (pH, °Brix y °GL y) es la aplicada por Nieto-Calvache and Suarez-Ramos (2020) en relación con las corrientes identificadas en la obtención de bioetanol. Las variables serán empleadas en análisis de regresión lineal múltiple a las muestras recolectadas y etiquetadas de los procesos mencionados anteriormente, para ello se realizará el análisis en el software *Statgraphic* XVI para generar gráficos de dispersión y análisis de regresión. De la misma manera se realizó el análisis ANOVA según Seclén (2020) para examinar la influencia del pH entre el mosto y jugo en el etanol.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados

3.1.1. Comportamiento del pH en el proceso de obtención de etanol.

Se obtuvieron diez muestras de jugo, mosto, vinaza y etanol provenientes de las destiladoras; en total se cuantifica 40 muestras del proceso de obtención de bioetanol para su análisis en laboratorio. En la **Figura 4** se muestra el análisis comparativo de los 10 lotes de acuerdo con la medición de pH en el jugo, mosto, vinazas y etanol, en las etapas de molienda, fermentación y destilación.

Se observa que el pH del jugo oscila en un rango de 3,7 a 4,2. Posteriormente, durante la fase de fermentación, el pH disminuye, y alcanzó valores entre 3,39 y 3,51 en el mosto. En la etapa de obtención de las vinazas, se registra un

aumento significativo del pH, con valores entre 3,39 y 3,58. Finalmente, se aprecia un incremento del pH conforme se avanza en la obtención del etanol, con valores que oscilan entre 4,27 y 4,67. Este fenómeno se atribuye a la acidificación del mosto debido a la presencia de ácidos orgánicos. Además, se evidencia que los valores de las muestras de jugo, mosto y etanol están dentro de los límites máximos y mínimos establecidos, mientras que las muestras de vinazas se sitúan por debajo de dichos límites.

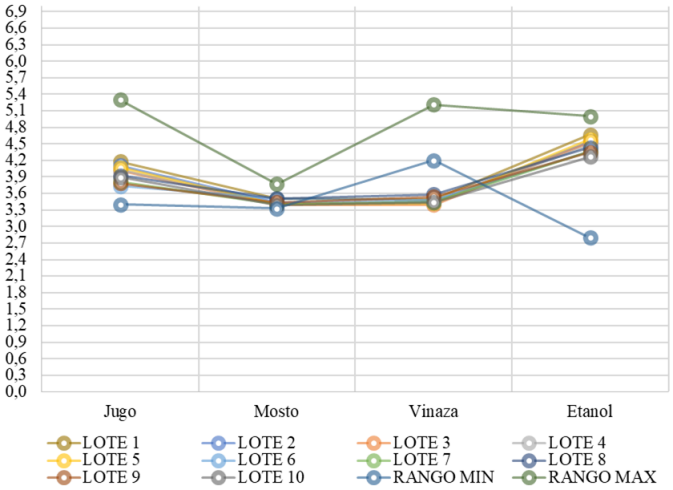

Figura 4 | Análisis comparativo del pH

En la **Tabla 1**, se presenta el estadístico R^2, que indica que el modelo ajustado explica el 81,0334 % de la variabilidad en el pH del etanol. Además, el estadístico R^2 más apropiado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es del 75,6144 %. El error estándar estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es de 0,0610064. Este valor puede utilizarse para construir límites para nuevas observaciones y seleccionar la opción correspondiente en el menú de reportes de texto.

Tabla 1 | Estadístico de ajustes

Estadígrafos	Valor
R^2	81,0334 %
R^2 (ajustado para g.1)	75,6144 %
Error estándar del est.	0,0610064
Error absoluto medio	0,0378787
Estadístico Durbin-Watson	1,26253 (P=0,0447)
Autocorrelación de residuos en retraso 1	0,0672447

El error absoluto medio (MAE) de 0,0378787 representa el promedio de los residuos. Por último, el estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar la presencia de alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Dado que el valor-P es menor que 0,05, hay indicación de una posible correlación serial con un nivel de confianza del 95 %.

En la **Tabla 2**, se aprecia que el valor-P en el análisis de varianza (ANOVA) es inferior a 0,05, que indica que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95 %.

En la **Tabla 3**, se analiza que el valor-P más alto de las variables independientes es 0,2050, correspondiente al pH del mosto. Dado que el valor p es mayor o igual que 0,05, este término no es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95 % o superior. Por lo tanto, se debe eliminar el pH del mosto del modelo.

Tabla 2 | Análisis de varianza (°GL: Gay Lussac)

Fuente	Suma de cuadrados	°GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,111308	2	0,0556538	14,95	0,0030
Residuo	0,0260525	7	0,003721178		
Total (Corr.)	0,13736	9			

Tabla 3 | Análisis de varianza de las variables

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	Valor-P
Constante	-0,287463	1,55901	-0,184388	0,8589
pH jugo	0,690436	0,128829	5,35931	0,0011
pH mosto	0,587039	0,420096	1,39739	0,2050

La ecuación del modelo ajustado, se presentan los resultados derivados de la aplicación de un modelo de regresión lineal múltiple para caracterizar la relación entre el pH del etanol y dos variables independientes: el pH del jugo y el pH del mosto. Se observa que tanto el pH del jugo como el pH del mosto ejercen una influencia positiva en relación con el pH del etanol.

3.1.2. Influencia de los parámetros operacionales en la pureza (° GL)

En la **Tabla 4**, se demuestra el estadístico R^2 revela que el modelo ajustado explica el 96,922 % de la variabilidad en Pureza. Sin embargo, el estadístico R^2 ajustada, más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es del 95,383 %. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es de 0,382369, al ser este valor útil para establecer límites para nuevas observaciones.

Tabla 4 | Estadístico de ajustes

Estadígrafos	Valor
R^2	96,922 %
R^2 (ajustado para g.1)	95,383 %
Error estándar del est.	0,382369
Error absoluto medio	0,24569
Estadístico Durbin-Watson	2,70013 (P=0,8065)
Autocorrelación de residuos en retraso 1	-0,423194

El error absoluto medio (MAE) de 0,24569 representa el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) se emplea para examinar los residuos en busca de correlación significativa basada en su orden en el archivo de datos. Dado que el valor-P asociado al estadístico DW es mayor que 0,05, no se encuentra indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0 %.

En la **Tabla 5**, se evidencia en el ANOVA que el valor-P es inferior a 0,05, al indicar que no hay una relación estadísticamente significativa entre las variables (temperatura, tiempo y °Brix), con un nivel de confianza del 95,0 %.

En la **Tabla 6**, se observa que el valor-P más alto entre las variables independientes es de 0,5311, correspondiente a B.

Diferencia °Brix. Como este valor-P es igual o mayor que 0,05, este término no es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0% o superior. Por lo tanto, se sugiere considerar la eliminación de B. Diferencia °Brix del modelo.

Tabla 5 | Análisis de varianza del modelo (°GL: Gay Lussac)

Fuente	Suma de cuadrados	°GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	27,6228	3	9,20759	62,98	0,0001
Residuo	0,877236	6	0,146206		
Total (Corr.)	28,5	9	9,20759		

Tabla 6| Análisis de varianza de las variables

Parámetro	Estimación	Error Estándar	T Estadístico	Valor-P
Constante	-26,6276	27,4088	-0,9715	0,3688
B. Tiempo	-0,150991	0,0653402	-2,31085	0,0602
B. Temperatura	1,33507	0,268051	4,98066	0,0025
B. Diferencia °Brix	0,503508	0,757793	0,664441	0, 5311

El modelo ajustado revela que diferentes variables inciden en la pureza del producto. El tiempo muestra una influencia negativa, mientras que la temperatura tiene un impacto positivo. Además, se observa que la diferencia de los °Brix ejerce también un efecto positivo en la pureza. A continuación, se presenta la ecualización del modelo ajustado para determinar la pureza.

En la **Tabla 7**, se enfoca en el estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica 96,6955% de la variabilidad en pureza. El estadístico R^2 ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 95,7514%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,366798.

Tabla 7 | Ajustes estadísticos

Tabla de estadística de ajustes	
R^2	96,6955
R^2 (ajustado para g.1)	95,7514
Error estándar del est.	0,366798
Error absoluto medio	0,250669
Estadístico Durbin-Watson	2,41106 (p=0,5845)
Autocorrelación de residuos en retraso 1	-0,290039

El error absoluto medio (MAE) de 0,250669 es el valor promedio de los resultados. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se representa 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%.

En la **Tabla 8**, se observa en el ANOVA que el valor-P es menor que 0,05, que indica una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95%.

En la **Tabla 9** se presenta el análisis de varianza, donde se destaca que valor-P más alto de las variables independientes es 0,0542, que corresponde a tiempo. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, ese término no es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0% o mayor. Consecuentemente considerar eliminar tiempo del modelo.

Tabla 8 | Análisis de varianza (°GL: Gay Lussac)

Fuente	Suma de cuadrados	°GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	27,5582	2	13,7791	102,42	0,0000
Residuo	0,941784	7	0,134541		
Total (Corr.)	28,5	9			

Tabla 9 | Análisis de varianza de las variables

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante	-19,8935	24,4291	-0,814339	0,4423
Temperatura	1,28422	0,246432	5,211227	0,0012
Tiempo	-0,136604	0,0591376	-2,30994	0,0542

La ecuación del modelo ajustado muestra que la temperatura tiene una relación positiva con la pureza, demuestra que un aumento en la temperatura está asociado con un incremento en la pureza del producto. Por otro lado, el tiempo presenta una relación negativa con la pureza, por la cual indica que a medida que pasa el tiempo, la pureza tiende a disminuir.

3.2. Discusión

3.2.1. Comportamiento del pH en el proceso de obtención de etanol

En el primer análisis realizado, se observó que los °Brix no son significativos, mientras que en el segundo análisis se han obtenido nuevos datos que indican que, al eliminarlos, su influencia en la pureza no es significativa, por esta razón se omitió del modelo.

El pH del jugo varió entre 3,7 y 4,2, en comparación con el estudio de López et al. (2013), que reportó un rango de 3,4 a 5,34, destaca la importancia de mantener un pH dentro de ciertos límites para evitar el crecimiento microbiano. Los datos del pH del mosto oscilaron entre 3,39 y 3,51, los que se compararon con los valores obtenidos de Morales et al. (2010) que obtuvo valores de 3,33-3,77 y al comparar con los resultados de Aguirre and Poveda (2011), quien observó una disminución del pH (5,6 a 4) durante el proceso de obtención del mosto. De la misma manera, Donaires (2018) señala que un pH por encima de 5 puede inactivar la fermentación del mosto por *Sacharomyces cerevisiae*, además menciona que un pH óptimo es de 4 para el proceso destinado a la producción de aguardiente, lo cual resulta en una mayor concentración de etanol en menos tiempo.

Los valores de pH de las vinazas oscilaron entre 3,39 y 3,38, estos valores son bajos en comparación con los datos reportados por Donaires (2018) quien observó valores entre 4,2 y 5,21, destaca que esta variabilidad es característica de las vinazas en las destilerías, relacionándola con la presencia de ácidos de cadena corta que actúan como conservantes de los alimentos. Curbelo and Acosta (2014) enfatiza que el pH ácido de las vinazas, menores a 4,2, se debe a la acidificación del mosto durante la producción de etanol, además resalta la necesidad de un manejo adecuado para prevenir impactos ambientales. Es esencial controlar el vertido de estos resi-

duos, cuyo pH bajo puede deteriorar el suelo y los cuerpos de agua receptores.

Finalmente, los valores de pH observados en el etanol tenían un rango de 4,27 a 4,67 fueron comparados con los proporcionados por Cevallos (2020), quien sugirió que un pH óptimo entre 4 y 5 mejora el desarrollo de la *S. Cerevisiae*. De la misma manera, Ibarra-Camacho et al. (2019) manifiestan que el rango del pH para el consumo del etanol esta entre 2,8 y 4.

3.2.2. Influencia de los parámetros operacionales en la pureza (°GL)

Los valores obtenidos para R^2 fueron del 96,922% de la variabilidad en pureza, mientras que para el valor de R^2 ajustada, fue del 95,383%. Según Cevallos (2020), el valor para el modelo de R^2 fue del 94,94% en la variabilidad del rendimiento de etanol, al indicar que es aceptable. Por otro lado, Aragón-Noriega (2013) señaló que el valor para R^2 ajustada fue del 90% de variabilidad, al resultar que el modelo es óptimo. Esto se basó en la afirmación de Santos et al. (2020) quienes sostuvieron que para fines de predicción, un coeficiente de determinación de al menos un 70% era ideal.

4. Conclusiones

Los parámetros de tiempo y temperatura impactan en la pureza del etanol. El modelo de regresión lineal multivariado indica que el tiempo afecta negativamente, al disminuir la pureza con el tiempo. La temperatura tiene un efecto positivo, con aumento en la temperatura contribuye a mejorar la pureza del etanol. En contraste, los °Brix no tiene efecto sobre la pureza del etanol.

Mediante el análisis ANOVA del pH de jugo y mosto se demostró que el pH no afecta en la pureza del etanol. El comportamiento del pH en las muestras obtenidas del jugo, mosto, vinaza y etanol revela una notable variabilidad entre cada lote de producción. Los niveles de pH registrados oscilaron entre 3.39 y 4.67, al ser estos pH ácidos. Este fenómeno se atribuye a la acidificación del mosto debido a la presencia de ácidos orgánicos. Además, se observó que los valores de pH para el consumo del etanol se mantienen dentro de los rangos establecidos en la norma NTE INEN 0361.

Contribuciones de los autores

Jerson Javier Cedeño Mora: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Billy Robinson Rivera Morocho: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Amaury Pérez Martínez: Concepción del trabbajo; 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

ABO-STATE, M. A., A. M. E. RAGAB, N. S. EL-GENDY, L. A. FARAHAT, et al. Effect of different pretreatments on egyptian sugar-cane bagasse saccharification and bioethanol production. Egyptian Journal of Petroleum, 2013/06/01/ 2013, 22(1), 161-167.

AGUIRRE, M. AND C. POVEDA. Jugo de caña de azúcar envasado en vidrio. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral., 2011.

ARAGÓN-NORIEGA, E. Modelación del crecimiento individual del callo de hacha Atrina maura *(Bivalvia: Pinnidae)* a partir de la inferencia multi modelo. Revista de biología tropical, 2013, 61(3), 1167-1174.

CASCO-MÉNDEZ, G. M., K. DIÉGUEZ-SANTANA, L. SARDUY-PEREIRA, R. D. VINOCUNGA-PILLAJO, et al. Diseño del proceso de obtención de bioetanol carburante mediante hidrólisis enzimática del bagazo de caña en Pastaza. Centro Azúcar, 2022, 49, 35-46.

CEVALLOS, A. P. Determinación de las condiciones óptimas de fermentación para la obtención de bioetanol a partir del hidrolizado enzimático con Trichoderma del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes)* proveniente del Embalse Amaluza. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana 2020.

CINCAE Factors affecting the sugarcane quality 2020, 1(2), 1-8.

CURBELO, J. M. C. AND Y. L. ACOSTA Alternativas de tratamiento de las vinazas de destilería. Experiencias nacionales e internacionales. Revista Centro Azúcar, 2014, 41(2), 56-67.

DONAIRES, L. Fermentación del mosto de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con uso de catalizadores naturales y comerciales para obtener aguardiente-Pachachaca–Abancay-2018. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnologíca de los Andes, 2018.

GORDILLO, G., A. NARVÁEZ-GARCÍA, J. O. A. CARRERA AND F. F. SÁNCHEZ Desarrollo, producción y análisis de bebidas alcohólicas destiladas empleando diez tipos de frutas autóctonas ecuatorianas. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 2022, 7(6), 267-280.

GUTIÉRREZ PULIDO, H. *Análisis y diseño de experimentos*. Edtion ed.: McGraw Hill México, 2012. 489 p. ISBN 978-6-07-150725-9.

HERNÁNDEZ RUEDA, P., C. M. MAFLA YÉPEZ, I. BENAVIDES CEVALLOS AND F. RAMÍREZ PAREDES Análisis de factibilidad técnica para la producción de bioetanol a partir de residuos de maíz en Ecuador Technical feasibility analysis for the production of bioethanol from maize residues in Ecuador. INNOVA Research Journal, 2018, 3(7), 36-52.

HIDALGO, K., R. BOCOURT, L. MORA AND A. ALBELO Physical-chemical and microbiological characterization of the concentrated vinasse from alcohol distillery. Cuban Journal of Agricultural Science, 2017, 51(4), 459-470.

IBARRA-CAMACHO, R., L. LEÓN-DUHARTE AND A. OSORIA-LEYVA Caracterización fisico-química de vinazas de destilerias. Revista Cubana de Química, 2019, 31(2), 246-257.

ILIBAY-GRANDA, C. G., B. D. GONZÁLEZ-MORALES, R. D. MUÑOZ-GANAN, L. B. SARDUY-PEREIRA, et al. Estrategia de producción más limpia para la destilería de alcohol artesanal “San Vicente”, Pastaza, Ecuador. BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 07/19 2023, 19(1), 24-30.

LÓPEZ, E., M. SÁNCHEZ, S. CID, J. HERRERA, et al. Obtención y caracterización del jugo de caña de azúcar y su viabilidad económica. In *Ciencias Agropecuarias Handbook: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos.* ECORFAN, 2013, p. 98-109.

MELENDEZ, J. R. Biotecnología y gerencia aplicada en la producción de bioetanol 1G y 2G. Revista de ciencias sociales, 2022, 28(4), 415-429.

MONROY, A., R. NARVÁEZ, B. VERA AND L. BAUTISTA Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio. Revista de Energía Química y Física 2017, 4(13), 49-57.

MORALES-ZAMORA, M., L. MESA-GARRIGA, N. LEY-CHONG, A. DE AR-

MAS MARTINEZ, et al. Estudios previo inversionistas para la producción de furfural-etanol y tableros a partir de bagazo de caña de azúcar. Revista ION, 08/13 2021, 34(2), 17-29.

MORALES ENRÍQUEZ, J. D. La industria de los biocombustibles en Ecuador: el estado de situación. Tesis de Maestría. Universidad Andina Simón Bolívar., 2010.

MORALES, Y. L., V. KAFAROV, F. RUIZ AND E. F. CASTILLO Modelamiento de los procesos de producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de caña de azúcar. etapas; preparación, molienda y clarificación. Umbral Científico, 2010, (16), 47-59.

MUÑOZ ORTUÑO, L. Diseño del proceso de producción de bioetanol. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València, 2022.

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.

NTE INEN 0361. Bebidas alcohólicas. Determinación del ácido cianhídrico. In I.E.D.N. (INEN). 2013, p. 8.

OSPINA LEÓN, L. J., D. MANOTAS-DUQUE AND H. RAMÍREZ-MALULE Desafíos y oportunidades de la Vinaza de caña de azúcar. Un análisis bibliométrico. Ingeniería y competitividad, 2023, 25(1), e-30412144.

RIAÑO, A. S., A. G. MORALES, J. M. HERNÁNDEZ AND C. R. BARRERO Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. Tumbaga, 2010, 1(5), 61-91.

SANTOS, F., P. EICHLER, J. H. DE QUEIROZ AND F. GOMES. Chapter 11 - Production of second-generation ethanol from sugarcane. In F. SANTOS, S.C. RABELO, M. DE MATOS AND P. EICHLER eds. *Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives.* Academic Press, 2020, p. 195-228.

SECLÉN, E. R. C. Estudio comparativo de tres variedades de caña de azúcar (saccharum officinarum), azul, mexicana y criolla, para la producción de panela granulada orgánica. INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación, 2020, 3(2), 145-154.

VASCO-ECHEVERRI, O., M. RAMÍREZ-CARMONA, Y. VÉLEZ-SALAZAR AND M. GIRALDO-RAMÍREZ Producción de bioetanol empleando fermentación tradicional y extractiva a partir de jugo de fique. Hechos Microbiológicos, 2013, 4(2), 91-97.