

**Application of fermentative control techniques to determine
attenuation efficiency in craft beer production**

**Aplicación de técnicas de control fermentativo para determinar la
eficiencia de atenuación en la elaboración de cerveza artesanal**

Autores:

Tubay-Sánchez, Pedro Alberto
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Egresado de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo – Ecuador



ptubay6992@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0004-8198-1345>

Chevez-Macías, Joshue Nicolae
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Egresado de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo – Ecuador



jchevez5683@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0001-4987-1507>

Alcívar-Cedeño, Ubio Eduardo, PhD
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Tutor de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo – Ecuador



ullbio.alcivar@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-7941-6401>

Ing. Munizaga-Párraga, Diego Mg
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Cotutor Instituto de Investigación
Portoviejo-Ecuador



diego.munizaga@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-4168-3747>

Fechas de recepción: 27-AGO-2024 aceptación: 27-SEP-2024 publicación: 15-DIC-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

Este estudio evaluó la aplicación de diferentes técnicas de control fermentativo aplicado a tres tipos de levadura (LAGER, ALE S05 y ALE S04) en diversas variables críticas durante la fermentación de cerveza y su atenuación, las cepas escogidas, corresponden a los tipos de levaduras más utilizadas por cerveceros artesanales en la región. Se analizaron variables como la temperatura, densidad inicial, densidad final, pH, fermentación incompleta, azúcares residuales y sedimento. La metodología utilizada fue desarrollada a partir de los requerimientos de la norma NTE INEN 2262:2003 de Ecuador, para cerveza. Los resultados mostraron diferencias significativas en temperatura (F-valor = 41.194, P-valor = 0.0003), densidad inicial (F-valor = 20.124, P-valor = 0.002), densidad final (F-valor = 15.968, P-valor = 0.003), la densidad de la fermentación (F-valor = 103.759, P-valor = 0.000) y el sedimento (F-valor = 9.778, P-valor = 0.014) entre los tipos de levadura evaluados. No se encontraron diferencias significativas en el pH. ALE S05 presentó la mayor carga microbiana en términos de aerobios mesófilos, mohos y levaduras. En cuanto a los compuestos volátiles, ALE S04 produjo la mayor cantidad de alcoholes superiores (363 ppm), seguido de ALE S05 (269 ppm) y LAGER (155 ppm). Los ésteres totales fueron similares entre las levaduras, con valores de 37-40 ppm. Los atributos sensoriales mostraron que ALE S05 tenía los puntajes más altos en frutado, esterosos y atributos generales, mientras que ALE S04 tenía puntajes uniformes y más bajos en todas las categorías. Estos hallazgos sugieren que la selección de levadura afecta significativamente el perfil sensorial y las propiedades microbiológicas de la cerveza. Así mismo su capacidad de atenuación. Las diferencias en las concentraciones de compuestos volátiles y atributos sensoriales pueden guiar a los cerveceros en la optimización de sus procesos de fermentación para lograr los perfiles deseados en sus productos finales.

Palabras clave: Fermentación; Levadura; Cerveza; Atributos sensoriales; Compuestos volátiles; Microbiología

Abstract

This study evaluated the application of different fermentative control techniques applied to three types of yeast (LAGER, ALE S05 and ALE S04) in various critical variables during beer fermentation and their attenuation, the strains chosen correspond to the most common types of yeasts. Used by craft brewers in the region. Variables such as temperature, initial density, final density, pH, incomplete fermentation, residual sugars and sediment were analyzed. The methodology used was developed from the requirements of the NTE INEN 2262:2003 standard of Ecuador for beer. The results showed significant differences in temperature (F-value = 41.194, P-value = 0.0003), initial density (F-value = 20.124, P-value = 0.002), final density (F-value = 15.968, P-value = 0.003), fermentation density (F-value = 103.759, P-value = 0.000) and sediment (F-value = 9.778, P-value = 0.014) between the yeast types evaluated. No significant differences were found in pH. ALE S05 presented the highest microbial load in terms of mesophilic aerobes, molds and yeasts. Regarding volatile compounds, ALE S04 produced the highest amount of higher alcohols (363 ppm), followed by ALE S05 (269 ppm) and LAGER (155 ppm). Total esters were similar between yeasts, with values of 37-40 ppm. Sensory attributes showed that ALE S05 had the highest scores for fruitiness, estery, and general attributes, while ALE S04 had consistent, lower scores across all categories. These findings suggest that yeast selection significantly affects the sensory profile and microbiological properties of beer, as well as its attenuation capacity. Differences in volatile compound concentrations and sensory attributes can guide brewers in optimizing their fermentation processes to achieve desired profiles in their final products.

Keywords: Fermentation; Yeast; Beer; Sensory attributes; Volatile compounds; Microbiology

Introducción

La producción de cerveza artesanal ha experimentado un crecimiento significativo en popularidad en los últimos años, lo que ha llevado a una mayor demanda de cervezas de alta calidad y sabor único (Velastegui, 2023). Uno de los aspectos cruciales en la elaboración de cerveza es el proceso de fermentación, durante el cual las levaduras convierten los azúcares presentes en el mosto en alcohol y dióxido de carbono. La eficiencia de atenuación, es decir, la capacidad de las levaduras para consumir la mayor cantidad posible de azúcares, es un factor determinante en la obtención de perfiles de sabor consistentes y niveles de alcohol deseados en la cerveza final (Ferreira, 2014).

A pesar de la importancia de la atenuación en la producción de cerveza, existen desafíos en la implementación de técnicas de control fermentativo que garanticen una eficiencia óptima de atenuación. La variabilidad inherente en los procesos artesanales, las diferencias en las cepas de levadura y las condiciones ambientales pueden influir en la capacidad de las levaduras para llevar a cabo la fermentación de manera uniforme y completa (Ñañez Mouchard, 2020). Esto puede dar como resultado cervezas con sabores indeseados, niveles inconstantes de alcohol y variabilidad en la calidad del producto final (Burini, Eizaguirre, Loviso, & Libkind, 2021).

Para lograr una buena atenuación en la cerveza artesanal, es necesario controlar varios factores durante la fermentación. En primer lugar, es importante elegir la cepa de levadura adecuada para el estilo de cerveza que se desea elaborar, ya que cada cepa tiene diferentes características que pueden afectar el perfil de sabor y aroma de la cerveza (Carvajal Martínez & Insuasti Andrade, 2010). Además, es necesario controlar la temperatura de fermentación para asegurar que las levaduras trabajen de manera eficiente. La temperatura óptima varía según la cepa de levadura y el estilo de cerveza, pero en general se sitúa entre los 18 y los 22 grados Celsius (Barranco García & Villarreal Córdoba, 2021).

Otro factor importante es la cantidad de levadura utilizada. Es necesario usar una cantidad suficiente para asegurar una fermentación completa y evitar sabores indeseados en la cerveza (Muñoz Quintero & Arias Giraldo, 2020). También es importante oxigenar adecuadamente el mosto antes de agregar la levadura para asegurar una fermentación saludable (Cruz Daza & Meyer Sánchez, 2019). La atenuación de la cerveza artesanal

también puede verse afectada por la calidad de los ingredientes utilizados. Es importante usar malta de alta calidad y fresca, ya que la calidad de la malta puede afectar la cantidad y calidad de los azúcares presentes en el mosto (Ortega & Molina, 2023).

Este estudio tiene la intención de brindar a los productores de cerveza artesanal una comprensión más profunda de cómo las técnicas de control fermentativo pueden influir en la eficiencia de atenuación, evaluando factores como la temperatura de fermentación y la oxigenación controlada, así como su impacto en parámetros fermentativos y características sensoriales de la cerveza artesanal. Los resultados podrían llevar a la optimización de procesos y a la implementación de prácticas que aseguren la consistencia en el sabor, aroma y perfil de alcohol en la cerveza final. Además, el estudio podría proporcionar información valiosa para la selección y manipulación de cepas de levadura y para la implementación de sistemas de control automatizado, mejorando así la calidad y competitividad de la cerveza artesanal en el mercado (Albarracín Torres, 2020).

Material y Métodos

Para este estudio se seleccionaron diferentes cepas de levadura, incluyendo variedades de *Saccharomyces cerevisiae* para cervezas Ale, de la marca Fermentis® bajo los códigos S04 y S05, así como también de la cepa *Saccharomyces cerevisiae* para cervezas Lager, en la marca Fermentis código 34/70. Estas cepas se obtuvieron de proveedores especializados en insumos cerveceros (Barranco García y Villarreal Córdoba, 2021; Menoscal Muñoz, Santamaría Campoverde y Coello Montoya, 2021). El mosto se preparó utilizando malta de cebada de alta calidad, asegurando la uniformidad en los ensayos (Carvajal Martínez e Insuasti Andrade, 2010). Los fermentadores empleados fueron de acero inoxidable con capacidad de control de temperatura, lo que permitió mantener condiciones ambientales constantes durante la fermentación (Ñañez Mouchard, 2020). Además, se utilizaron termómetros calibrados para monitorear la temperatura de fermentación, densímetros y refractómetros para medir la densidad específica del mosto y la cerveza, las valoraciones realizadas en microbiología fueron realizadas mediante cámara de **Neubauer** y conteo simple de UFC, las estimaciones de alcoholes superiores, así como la cantidad de esteres totales se desarrolló a través de la información de las fichas técnicas de las levaduras utilizadas que se encuentran en la página web del fabricante. Los atributos sensoriales corresponden a valoraciones realizadas a través de

pruebas hedónicas referenciadas en la bibliografía para este tipo de levaduras (Burini et al., 2021).

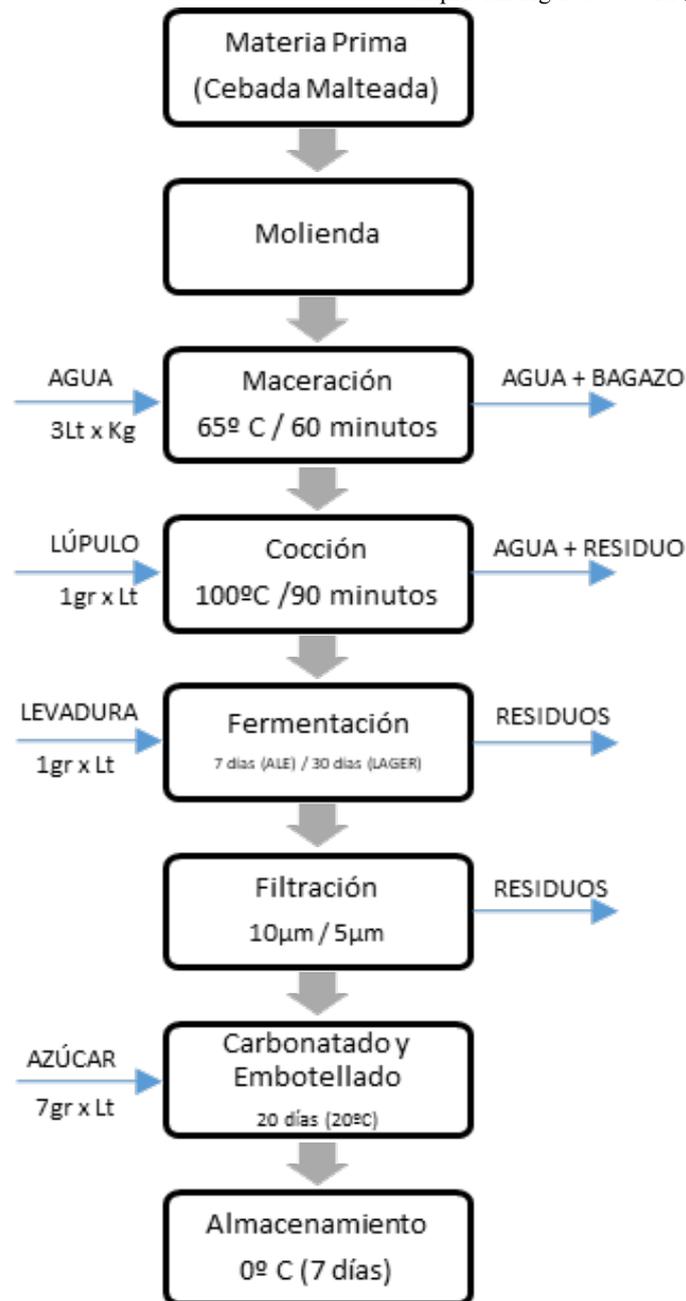
El mosto se preparó siguiendo un protocolo estándar de maceración, utilizando malta de cebada triturada. Se utilizó a razón de 3 litros de agua por 1 Kg., de Malta, con esta relación se establecieron condiciones de temperatura con un valor promedio de 65° C, para todos los lotes de macerado, según Muñoz - Franco et al., (2024), aunque existen diferentes tiempos de maceración por regla general se busca llegar a los 65°C para comenzar a generar activación de las enzimas propias de las maltas, por tiempos promedio de 60 minutos para los lotes evaluados, como se aprecia en la figura 1. De esta manera se describieron valores constantes de densidades acordes a las características de las maltas utilizadas en cada uno de los procesos. Las etapas de lavado de grano y de trasvase a los fermentadores se realizaron a lo descrito por otros autores, en donde se indicaron tiempos de proceso y la cantidad de agua de lavado de grano acorde a las condiciones esperadas para un mosto de estas características (Bazelais et al., 2024).

En la etapa de preparación del mosto para el proceso de cocción se consideraron condiciones ideales de calor mediante acción de llama directa en ollas de acero inoxidable, en las cuales se utilizó gas licuado de petróleo (GLP) como combustible. Obteniendo procesos uniformes de cocción, así como la adición de un solo lúpulo en cada lote utilizado para que no exista variación en cantidades (figura 1), así como también se mantengan los perfiles organolépticos propios para este tipo de cerveza y que ayuden a reflejar de mejor manera el impacto de la levadura en el perfil sensorial de las muestras evaluadas (Muñoz Franco et al., 2024).

Posteriormente, se hirvió y se enfrió rápidamente a la temperatura de inoculación, aproximadamente 20°C para Ale y 10°C para Lager (Albarracín Torres, 2020). El mosto enfriado se transfirió a fermentadores esterilizados, donde se inoculó con una cantidad medida de levadura específica para el tipo de cerveza y la cepa utilizada. La fermentación se llevó a cabo bajo condiciones controladas de temperatura, ajustadas según el tipo de cerveza: entre 15-24°C para Ale y entre 7-13°C para Lager (Ferreya, 2014).

Figura 1

Diagrama de bloques proceso de la cerveza



Fuente: (Muñoz Franco et al., 2024).

La temperatura de fermentación se monitoreó y ajustó continuamente para asegurar que se mantuviera dentro del rango óptimo para cada tipo de levadura. Se emplearon sistemas de enfriamiento para mantener las bajas temperaturas requeridas por las cervezas Lager y calentadores para las cervezas Ale (Velastegui, 2023). Durante la fermentación, se tomaron muestras diarias del fermentador para medir la densidad específica del mosto utilizando un densímetro. También se analizó la producción de CO₂ y alcohol para evaluar la actividad fermentativa, y se realizaron pruebas hedónicas para identificar la

presencia de compuestos aromáticos y saborizantes (Burini, 2023; Amaya Jiménez y Díaz Pascagaza, 2019).

La atenuación se midió mediante valoraciones cuantitativas gravimétricas utilizando un densímetro marca Keegland®, calibrado a 20°C, el cual describe valores que ayudan a establecer las diferencias entre densidades inicial y final (Álvarez Barriga, 2018). Registrando las densidades iniciales y finales del mosto para determinar la atenuación efectiva de cada ensayo (Ortega y Molina, 2023).

Finalmente, se compararon las tasas de atenuación, producción de compuestos aromáticos y perfiles de sabor entre las diferentes condiciones de fermentación. Se realizaron análisis estadísticos para evaluar la significancia de las diferencias observadas y determinar las condiciones óptimas para la fermentación (Burini et al., 2021; Salazar Garavito, 2020).

Resultados

Balances de los procesos fermentativos

En la descripción de los procesos fermentativos de los lotes evaluados y con base en que cada tipo de fermentación tiene diferentes valoraciones de rendimientos se estableció el siguiente balance de la fermentación como se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Balance de las fermentaciones

Tipo de Levadura	Cantidad de mosto (litros)	Tiempo de fermentación (días)	Temperatura (°c)	Cantidad de levadura inoculada (gr)	Residuo (litros)	Cantidad de cerveza embotellada (litros)
LAGER	19,00	17,67	8,00	19,00	1,32	17,67
	19,00	17,68	9,00	19,00	1,32	17,68
ALE S05	19,00	17,67	8,50	19,00	1,32	17,67
	19,00	18,34	16,00	19,00	0,66	18,34
ALE S04	19,00	18,34	18,00	19,00	0,66	18,34
	19,00	17,40	20,00	19,00	1,60	17,40
ALE S04	19,00	17,67	18,00	19,00	0,13	17,67
	19,00	18,34	21,00	19,00	0,66	18,34
	19,00	18,51	22,00	19,00	0,50	18,50

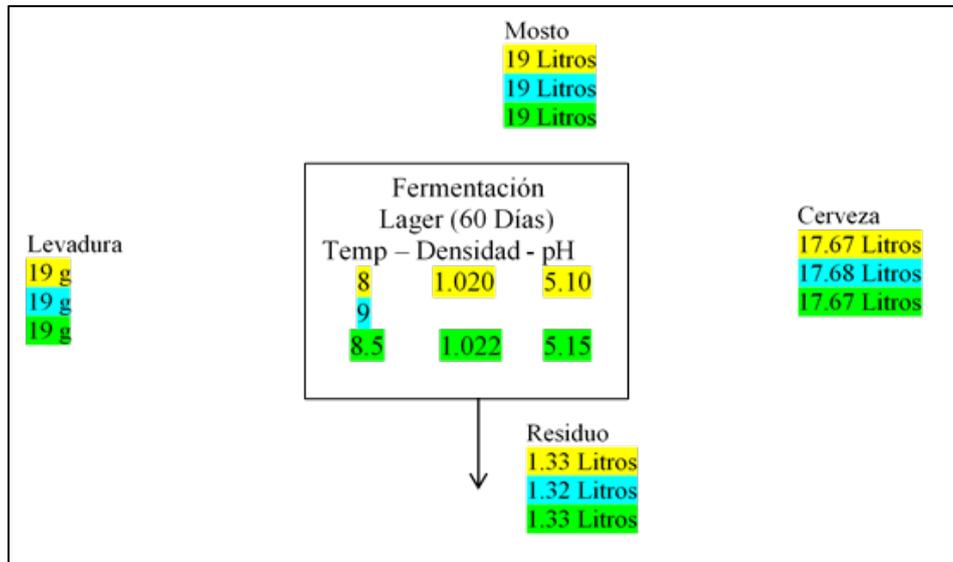
Fuente: Autores

Las variables analizadas incluyen la cantidad de mosto, el tiempo de fermentación, la temperatura, la cantidad de levadura inoculada, el residuo y la cantidad de cerveza embotellada.

Para ello, se realizó un análisis estadístico descriptivo y un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la significancia de las diferencias observadas. A continuación se presenta el análisis estadístico descriptivo de los valores presentados en la tabla 1.

Figura 2

Balance de materiales para la cerveza lager



Fuente: Autores

Los resultados descriptivos que se ejemplifican en la figura 1, muestran que la cantidad de mosto y la cantidad de levadura inoculada son constantes para todos los tipos de levadura, con una media de 19.00 litros y 19.00 gramos respectivamente, y sin desviación estándar. Esto indica un control estricto sobre estas dos variables en el proceso experimental (Albarracín Torres, 2020).

El tiempo de fermentación presentó una ligera variación entre los tipos de levadura. Para LAGER, la media fue de 17.67 días con una desviación estándar mínima de 0.006 días. Si bien el tiempo de las levaduras lager tiende a ser mayor en las etapas de fermentación y maduración, este tiempo corresponde solo al establecido en la reducción de la densidad hasta los valores indicados en la tabla 1, sin embargo el tiempo de maduración de la cerveza Lager fue hasta los 60 días. Las cervezas elaboradas con levaduras ALE S05 y ALE S04 mostraron medias de 18.03 y 18.17 días respectivamente, con desviaciones estándar de 0.543 y 0.444 días. Las cervezas elaboradas con las levaduras ALE, tuvieron una maduración de solo 15 días más, independiente del tiempo de fermentación. Estas variaciones sugieren una ligera diferencia en la eficiencia de fermentación entre las levaduras ale y lager (Amaya et. al, 2019).

La temperatura es la variable que mostró mayor variabilidad. Para LAGER, la media fue de 8.50 °C, mientras que para ALE S05 y ALE S04 las medias fueron de 18.00 °C y 20.33 °C respectivamente. Las desviaciones estándar de estas temperaturas fueron significativas, especialmente para ALE S05 (2.00 °C) y ALE S04 (2.08 °C). Estos resultados sugieren que la temperatura óptima de fermentación varía considerablemente entre los tipos de levadura, destacando que la fermentación con levadura Lager, es una fermentación baja, debido a que la mayor actividad de la levadura se da en la parte baja de los fermentadores, mientras que la fermentación con levadura ALE (S05 y S04), corresponden a una fermentación alta, en donde la actividad de la fermentación se da en la parte alta de los fermentadores (Barranco et. al., 2019).

El residuo generado durante el proceso de fermentación también mostró variabilidad. LAGER presentó una media de residuo de 1.32 litros, mientras que ALE S05 y ALE S04 tuvieron medias de 0.973 y 0.43 litros respectivamente. Estas diferencias pueden influir en la eficiencia del proceso y en la claridad del producto final. De la misma manera se destaca que la posible variabilidad en cuanto al residuo, este asociada a la actividad de la levadura en el tiempo de la fermentación y en la ubicación de dicha actividad fermentativa, es decir alta o baja del fermentador, pudiendo tener mayor impacto en el sedimento la levadura lager por encontrarse más cerca del fondo del fermentador y tener una fermentación a temperatura más baja que las ALE, refiriendo que estas últimas, pueden tener mayor cantidad de sólidos suspendidos en el mosto fermentado, durante el tiempo de la fermentación y por la temperatura que se maneja en el proceso (Bazelais, 2024).

Finalmente, la cantidad de cerveza embotellada también mostró diferencias mínimas. LAGER tuvo una media de 17.67 litros, mientras que ALE S05 y ALE S04 presentaron medias de 18.03 y 18.17 litros respectivamente. Estas variaciones reflejan las diferencias en la cantidad de residuo generado y posiblemente en la eficiencia de conversión de azúcares en alcohol y CO₂ (Burini, 2023).

El análisis de varianza reveló que la temperatura es la única variable con diferencias significativas entre los tipos de levadura (F-valor = 41.194, P-valor = 0.0003). Esto confirma que la temperatura de fermentación óptima varía significativamente entre LAGER, ALE S05 y ALE S04. La diferencia observada puede atribuirse a las

características inherentes de cada tipo de levadura, que afectan su rendimiento a distintas temperaturas (Burini, 2023).

Para las demás variables, el ANOVA no mostró diferencias significativas. El tiempo de fermentación (F-valor = 1.209, P-valor = 0.362), el residuo (F-valor = 4.916, P-valor = 0.054) y la cantidad de cerveza embotellada (F-valor = 1.204, P-valor = 0.363) no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Estos resultados sugieren que, aunque existen ligeras variaciones, no son lo suficientemente grandes como para ser consideradas significativas desde un punto de vista estadístico (Carvajal, 2010).

Análisis de los parámetros de la fermentación

A continuación se presentan los resultados de los parámetros de las fermentaciones que se evaluaron para los lotes utilizados en los ensayos, como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis de los parámetros de la fermentación

Tipo de Levadura	Temperatura lote	Densidad inicial	Densidad Final	Densidad	pH	Fermentación Incompleta	Azúcares residuales	Sedimento
Lager	8	1060	1008	1.020	5,1	2,516611478	5g/l*	1,33
	9	1055	1009				corresponde a un atenuación aparente de 83%	
	8,5	1058	1010	1.022	5,15			
								1,33
Ale s05	16	1050	1010	1.010	5,19	7,637626158	11 g/l* * 3g maltotriose/L	0,66
	18	1060	1015	1.004	4,96		corresponde a un atenuación aparente de 81%	
	20	1045	1020	1.012	4,16			
								1,60
Ale s04	18	1070	1020	1.010	4,95	7,637626158	18 g/l*	1,33
	21	1080	1025	1.020	5,16		corresponde a un atenuación aparente de 75%	
	22	1065	1030	1.025				
								0,66
								0,50

Fuente: Autores

Se partió de determinar las diferencias entre tres tipos de levadura (LAGER, ALE S05 y ALE S04) en diversas variables críticas durante el proceso de fermentación de cerveza. Se llevó a cabo un análisis descriptivo de las variables y un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la significancia de las diferencias observadas.

Los resultados descriptivos revelaron diferencias notables entre los tipos de levadura en varias de las variables estudiadas. La temperatura mostró una media de 8.50 °C para la

levadura LAGER, 18.00 °C para ALE S05 y 20.33 °C para ALE S04. En cuanto a la densidad inicial, LAGER presentó una media de 1057.67, ALE S05 de 1051.67 y ALE S04 de 1071.67. La densidad final tuvo medias de 1009.00 para LAGER, 1015.00 para ALE S05 y 1025.00 para ALE S04. La densidad tuvo una media de 1.021 para LAGER, 1.009 para ALE S05 y 1.015 para ALE S04. El pH mostró medias de 5.125 para LAGER, 4.77 para ALE S05 y 5.06 para ALE S04.

La fermentación incompleta y los azúcares residuales no pudieron ser analizados completamente debido a la falta de suficientes datos en las pruebas realizadas, sin embargo se respaldó en base a lo que indican las fichas técnicas de las marcas de levaduras utilizadas. Finalmente, el sedimento presentó medias de 1.33 litros para LAGER, 0.97 litros para ALE S05 y 0.83 litros para ALE S04. Resultados contrastables con lo mencionado por Cruz Daza en el 2019.

El análisis ANOVA mostró que la temperatura (F-valor = 41.194, P-valor = 0.0003), la densidad inicial (F-valor = 20.124, P-valor = 0.002), la densidad final (F-valor = 15.968, P-valor = 0.003), la densidad de la fermentación (F-valor = 103.759, P-valor = 0.000) y el sedimento (F-valor = 9.778, P-valor = 0.014) presentan diferencias significativas entre los tipos de levadura. No se encontraron diferencias significativas en el pH (F-valor = 3.576, P-valor = 0.089), aunque la diferencia es marginal (Del Carmen Ascoli, 2023).

Análisis de los perfiles microbiológicos y características químicas de los diferentes tipos de levaduras evaluados

Se evaluaron las diferencias entre tres tipos de levadura (LAGER, ALE S05 y ALE S04) en cuanto a aerobios mesófilos, mohos y levaduras, ésteres totales, alcoholes superiores totales y atributos sensoriales frutados y esterosos. A continuación en la tabla 3, se presentan los principales hallazgos y diferencias encontradas.

Tabla 3. perfiles microbiológicos y características químicas

Tipo de levadura	Aerobios mesófilos	Mohos y levaduras	Esteres totales	Alcoholes superiores totales	Atributos sensoriales frutados esteroso		
Lager	-	-	37 ppm a 18°P y 12°C durante las primeras 48 h de fermentación, luego a 14 °C en tubos EBC	155 ppm a 18°P y 12°C durante las primeras 48 h de fermentación luego a 14 °C en tubos EBC	-	-	-
Ale s05	8,0*10 ²	1,7*10 ³	40 ppm a 18°P y 20°C en tubos EBC	269 ppm a 18°P y 20°C en tubos EBC	3,11333333	4,31666667	4,62333333
Ale s04	-	-	37 ppm a 18°P y 20°C en tubos EBC	363 ppm a 18°P y 20°C en tubos EBC	2,4	2,4	2,4

Fuente: Autores

La levadura ALE S05 mostró una cantidad significativa de aerobios mesófilos (8,010² UFC/mL) y mohos y levaduras (1,710³ UFC/mL). En contraste, no se expresaron resultados para los datos de aerobios mesófilos, mohos y levaduras para las levaduras LAGER y ALE S04, por el método empleado para la cuantificación de los mismos. Estos resultados sugieren que la levadura ALE S05 puede tener una mayor carga microbiana en comparación con las otras levaduras evaluadas, teniendo un factor de sensibilidad mayor para la determinación de las muestras por el método utilizado. La ausencia de datos para LAGER y ALE S04, por el método empleado, impide una comparación completa, pero la presencia de una carga microbiana significativa en ALE S05 puede influir en el perfil sensorial y la estabilidad microbiológica de la cerveza (Ferreyra, 2014).

Los ésteres totales fueron reportados para las tres levaduras, con valores de 37 ppm para LAGER y ALE S04, y 40 ppm para ALE S05. Estos ésteres se midieron en condiciones específicas de temperatura y presión (18°P y 12°C para LAGER durante las primeras 48 horas de fermentación, luego a 14°C; 18°P y 20°C para ALE S05 y ALE S04 en tubos EBC). La ligera diferencia en la concentración de ésteres totales entre ALE S05 y las otras dos levaduras podría ser atribuida a las diferencias en las condiciones de fermentación y el comportamiento metabólico de las levaduras (Guaranda, 2021).

En cuanto a los alcoholes superiores totales, LAGER presentó una concentración de 155 ppm, ALE S05 mostró 269 ppm, y ALE S04 tuvo la concentración más alta con 363 ppm. Estos alcoholes también se midieron en condiciones específicas (18°P y 12°C para LAGER durante las primeras 48 horas de fermentación, luego a 14°C; 18°P y 20°C para ALE S05 y ALE S04 en tubos EBC). Los alcoholes superiores son importantes para el perfil sensorial de la cerveza, ya que pueden contribuir tanto a su aroma como a su sabor. La levadura ALE S04 produjo la mayor cantidad de alcoholes superiores, lo cual puede resultar en un perfil sensorial más complejo y robusto en comparación con LAGER y ALE S05 (Gastelú, 2019).

Los atributos sensoriales frutados y esterosos fueron evaluados con puntajes promedio para ALE S05 y ALE S04. ALE S05 obtuvo puntajes de 3.11 en frutado, 4.32 en esterosos y 4.62 en el atributo general. Por otro lado, ALE S04 tuvo puntajes uniformes de 2.4 en todas las categorías sensoriales evaluadas. La diferencia en los puntajes sensoriales sugiere que ALE S05 produce una cerveza con características más marcadas y variadas en comparación con ALE S04. Estos atributos sensoriales son críticos para la aceptación del consumidor, ya que contribuyen significativamente a la experiencia de degustación (Menoscal, 2021).

Discusión

La eficiencia de atenuación, un parámetro crucial en la producción cervecera, fue significativamente influenciada por la cepa de levadura utilizada en este estudio. La cepa ALE S05 demostró una mayor capacidad de fermentación, alcanzando una atenuación aparente superior cuando comparada con la cepa ALE S04 y Lager. La producción de cerveza artesanal es un proceso complejo en el que diversos factores interactúan para determinar el perfil sensorial final de la bebida. Se evaluó el impacto de la cepa de levadura, la temperatura de fermentación y la contaminación microbiana en la elaboración de cerveza. Los resultados obtenidos revelan la importancia de cada una de estas variables en la obtención de un producto de calidad (Miranda Burguete, 2020).

La selección de la cepa de levadura es un aspecto fundamental, ya que influye directamente en la eficiencia de la fermentación y en la producción de compuestos volátiles responsables de los aromas y sabores característicos de la cerveza. Los hallazgos encontrados, corroboran los estudios de Burini (2021, 2023) y Jiménez & Diaz Pascagaza

(2019), quienes demostraron que diferentes cepas de *Saccharomyces cerevisiae* generan perfiles sensoriales distintivos. En este caso, la cepa ALE S05 se destacó por su producción de ésteres y alcoholes superiores, lo que confiere a la cerveza un carácter más frutado y complejo. Sin embargo, esta cepa también presentó una mayor susceptibilidad a la contaminación microbiana, lo que subraya la importancia de mantener condiciones de higiene óptimas durante todo el proceso de elaboración (Muñoz Franco et. al., 2024).

La temperatura de fermentación es otro factor crucial que afecta la actividad de la levadura y la producción de compuestos volátiles. Como señalan Barranco García y Villarreal Córdoba (2021), temperaturas más elevadas favorecen la producción de ésteres y alcoholes superiores, lo que puede resultar en un perfil sensorial más intenso y complejo. No obstante, temperaturas excesivamente altas pueden inhibir la actividad de la levadura y generar sabores indeseables. Por otro lado, temperaturas bajas pueden retardar la fermentación y favorecer la producción de compuestos fenólicos que aportan notas ahumadas o frutales. Así mismo, los ésteres son compuestos importantes que contribuyen al aroma y sabor de la cerveza, aunque las diferencias son pequeñas, pueden tener un impacto perceptible en el perfil sensorial final del producto, tal como lo menciona Albarracín Torres, K. (2020), muchas de las diferencias son imperceptibles y solo pueden ser establecidas por catadores profesionales en la valoración de las muestras en competencias (Muñoz Franco et. al., 2024).

La contaminación microbiana es una de las principales causas de alteración de la cerveza y puede afectar significativamente su calidad sensorial. Los resultados de este estudio, en línea con los hallazgos de Latorre (2023), resaltan la importancia de implementar medidas de higiene adecuadas en todas las etapas del proceso de elaboración. La cepa ALE S05, a pesar de su potencial para producir cervezas con un perfil sensorial atractivo, mostró una mayor susceptibilidad a la contaminación, lo que sugiere la necesidad de optimizar las condiciones de fermentación para esta cepa en particular (Nichole, 2019).

Al comparar los resultados obtenidos con estudios previos, como los de Sebess (2017) y Muñoz Quintero y Arias Giraldo (2020), se evidencia la importancia de considerar tanto los aspectos técnicos como sensoriales en la elaboración de cerveza artesanal. Sebess (2017) enfatiza el control de la temperatura como una herramienta fundamental para modular el perfil sensorial de la cerveza, mientras que Muñoz Quintero y Arias Giraldo

(2020) subrayan la relevancia de evaluar la calidad sensorial desde la perspectiva del consumidor (Salazar, 2020).

Conclusiones

El análisis realizado, revela que la temperatura de fermentación es una variable crítica que difiere significativamente entre los tipos de levadura utilizados. Este hallazgo es crucial para los cerveceros que buscan optimizar sus procesos de fermentación, ya que deben ajustar la temperatura según el tipo de levadura para obtener los mejores resultados, destacando que en el trabajo realizado en esta investigación, se pudo establecer los valores promedio que se deben utilizar para lograr replicar las capacidades de atenuación de las levaduras evaluadas.

Las otras variables analizadas (cantidad de mosto, tiempo de fermentación, cantidad de levadura inoculada, residuo y cantidad de cerveza embotellada) no mostraron diferencias significativas entre los tipos de levadura evaluada y las condiciones de proceso establecidas. Pudiendo encontrar, en el marco de nuevas investigaciones, resultados en los que es importante considerar que incluso diferencias no significativas de dichas variables, pueden tener un impacto en la calidad y eficiencia del proceso de producción de cerveza, ya que varios de los aspectos a evaluar en una cerveza pueden corresponder a características únicas dadas por una valoración realizada por un catador experto en el tipo de cerveza a realizar.

La producción de cerveza artesanal es un proceso multifactorial en el que la selección de la cepa de levadura, la temperatura de fermentación y el control de la contaminación microbiana juegan un papel fundamental. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran la importancia de optimizar cada una de estas variables para obtener un producto de alta calidad y con un perfil sensorial distintivo. Futuras investigaciones podrían centrarse en la evaluación de un mayor número de cepas de levadura, en la optimización de las condiciones de fermentación para cada cepa y en la exploración de nuevos ingredientes y aditivos.

Referencias bibliográficas

Albarracín Torres, K. (2020). *Estudio de Parámetros para la Propagación de las Cepas de Levadura Cervecera Saccharomyces cerevisiae y Saccharomyces carlsbergensis*

- Álvarez Barriga, r. (2018). Elaboración de cerveza artesanal
- Amaya Jiménez, N. A., & Díaz Pascagaza, L. M. (2019). Evaluación de perfiles fermentativos para la elaboración de cerveza artesanal por levaduras nativas. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7724>
- Barranco García, S. A. y Villarreal Córdoba, G. N. (2021) Evaluación del efecto de la temperatura en el proceso fermentativo en la producción de cerveza artesanal tipo Blonde Ale. [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8650>
- Bazelais, M., Anchundia, G. A. A., Párraga, D. R. M., Briones, G. A. B., & Cedeño, U. E. A. (2024). Agregado e insumos en segunda fermentación de cerveza artesanal. *Revista Centro Azúcar*, 51(2), e1061-04. Disponible en: http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/794
- Burini, J. A. (2023). Desarrollo de cultivos iniciadores cerveceros basados en levaduras nativas para la producción de bebidas fermentadas con alto valor agregado. Disponible en: <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/17094>
- Burini, J. A., Eizaguirre, J. I., Loviso, C., & Libkind, D. (2021). Levaduras no convencionales como herramientas de innovación y diferenciación en la producción de cerveza. *Revista Argentina de microbiología*, 53(4), 359-377. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754121000109>
- Carvajal Martínez, d., & Insuasti Andrade, M. (2010). Elaboración de cerveza artesanal utilizando cebada. Ibarra. Ecuador.
- Cruz Daza, E. L., & Meyer Sánchez, L. M. (2019). Evaluación de la reutilización de levadura *Saccharomyces Cerevisiae* para la implementación en un segundo proceso fermentativo de la cerveza tipo pale ale belga producida en la Cervecería Moonshine. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7607>
- Del Carmen Ascoli, J. J. (2023). Producción de cerveza artesanal con adición de jocote marañón como propuesta para el aprovechamiento del falso fruto. Disponible en: <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/4892>
- Ferreyra, L. (2014). Elaboración de cerveza: Historia y evolución, desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales. *Cátedra de Agroindustrias y Laboratorio de investigación en productos Agroindustriales, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales UNLP*, 9. Disponible en: <https://lipa.multisitio.sedici.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Leonel-Ferreyra-.pdf>

GASTELÚ, D. H. (2019). *Diseño y construcción de un biorreactor “Airlift” y determinación de parámetros de operación óptimos para su aplicación en procesos fermentativos* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/323346606.pdf>

Guaranda Chancay, E. F. (2021). Evaluación del poder floculante de la planta cadillo (Genus triumfetta) en la clarificación de una cerveza artesanal tipo APA (American Pale Ale)”. UPEC. Disponible en: <http://181.198.77.137:8080/jspui/handle/123456789/1312>

Latorre, M. A. (2023). Contaminantes microbianos en cerveza artesanal: incidencia, factores de susceptibilidad y desarrollo de estrategias de control para el sector productivo. Disponible en: <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/17194>

Menoscal Muñoz, K. J., Santamaría Campoverde, A. B., & Coello Montoya, D. (2021). *Mejora del proceso de floculación de la levadura cervecera* (Doctoral dissertation, ESPOL. FIMCP). Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53668>

Miranda Burguete, L. (2020). Implantación de una fábrica de cerveza artesanal. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11441/101362>

Muñoz Franco, J. L., Palacios Macías, D. G., Burgos Briones, G. A., Alcívar Cedeño, U. E., & Munizaga Párraga, D. R. (2024). Enriquecimiento de harina de maltas procesadas en cerveza artesanal mediante agregado de trüb (sedimento) fermentable. *Centro Azúcar*, 51(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612024000100009&script=sci_abstract&tlng=en

Muñoz Quintero, D., & Arias Giraldo, S. (2020). Evaluación de condiciones de fabricación y calidad sensorial de cerveza artesanal tipo lager. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.46571/jci.2020.1.1>

Nichole, A., & Lina, D. (2019). Evaluación de perfiles fermentativos para la elaboración de cerveza artesanal por levaduras nativas [Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7724/1/6132157-2019-2-IQ.pdf>

Ñañez Mouchard, I. G. M. (2020). El proceso de producción de cerveza artesanal y su mejoramiento mediante técnicas de recirculación de levaduras en la etapa de fermentación [Trabajo de Investigación de Bachiller, Universidad de Ingeniería y Tecnología]. Repositorio Institucional UTEC.

Ortega, M. A., & Molina, N. A. (2023). *Metodología para caracterizar el potencial de extracción de azúcares a partir de materia prima local para cerveza artesanal*

[Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/30896/1/FIQ-SA-ORTEGA%20NICOLALDE-MOLINA%20MORILLO.pdf>

Otalvaro Vargas, D. (2021). Desarrollo e implementación de un sistema de buenas prácticas de manufactura en planta de producción de cerveza artesanal. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10495/25025>

Salazar Garavito, D. A. (2020). Evaluación del efecto de la reutilización de la levadura para el proceso de fermentación en la producción de cerveza artesanal del estilo blonde ale en la Cervecería OD Colombia. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7777>

Sebess, P. A. (2017). *Técnicas de Cervecería Artesanal*. Paulo Sebess. ISBN 1520420765. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=1SyiEAAAQBAJ&dq=Aplicaci%C3%B3n+de+t%C3%A9cnicas+de+control+fermentativo+para+determinar+la+eficiencia+de+atenuaci%C3%B3n+en+la+elaboraci%C3%B3n+de+cerveza+artesanal&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Segovia, S. (2019). *Evaluación del malteado y fermentación en el proceso de cerveza artesanal tipo ale, utilizando el sorgo (Sorghum vulgare) como materia prima* [UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/5df54971-ce40-4302-82b7-acbe6b644d18>

TIPO LAGER: Proyecto de grado modalidad investigación aplicada. *Repositorio UAJMS*. Recuperado a partir de <https://dicyt.uajms.edu.bo/investigacion/index.php/quimica/article/view/293>

Velastegui, E. (2023). Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa, dedicada a la elaboración de cerveza artesanal de fermentación alta, saborizada con café orgánico (Coffea arabica) y envasado con Carbonatación forzada, en el cantón Quito, provincia de Pichincha - Ecuador [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37925/1/CAL%20050.pdf>

Walteros Pinzón, C. (2020). Caracterización de cepas de levadura colombiana *Saccharomyces cerevisiae* para su potencial uso en la producción de cerveza "Colombian Ale". Universidad de los Andes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/44911>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.