

Evaluation of spontaneous fermentation processes in craft beer

Evaluación de la generación espontánea de procesos fermentativos en cerveza artesanal

Autores:

Alvarado-Chávez, Jonathan Josué
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Egresado de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo – Ecuador



jalvarado4796@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0007-0461-5431>

Orlando-Cevallos, Danella
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Egresado de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo – Ecuador



dorlando4373@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0006-0358-0751>

Alcívar-Cedeño, Ulbio Eduardo
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Ing. Agroindustrial, PhD
Docente Tutor de la Carrera de Ingeniería Química
Portoviejo – Ecuador



ulbio.alcivar@utm.edu.ec



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

Fechas de recepción: 01-OCT-2025 aceptación: 22-OCT-2025 publicación: 30-DIC-2025



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

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

El presente trabajo tuvo como finalidad evaluar la generación espontánea de procesos fermentativos en cerveza artesanal, mediante la dosificación del inóculo y mosto bajo diferentes proporciones (Muestra A: 900 mL de mosto y 100 mL de inóculo; Muestra B: 450 mL de mosto y 50 mL de inóculo; Muestra C: 900 mL de mosto, 100 mL de inóculo y 0.33 g de levadura). En el transcurso de la fermentación se fueron determinando parámetros fisicoquímicos (pH, densidad, acidez total), con control microbiológico (conteo de levaduras), que mostraban una progresiva disminución, lo que confirmaba la actividad fermentativa que estaba presente, demostrando que el proceso se estaba produciendo correctamente, todo de acuerdo a la normativa INEN 2262. Se realizaron pruebas hedónicas, acorde a la guía BJCP 2021, para caracterizar sensorialmente las muestras obtenidas.

La muestra B, presentó los parámetros de pH, densidad y acidez estables, además contenía atributos destacables en cuerpo, acidez y notas frutales y mostró bajos niveles de defectos como el diacetilo y el DMS. La muestra C tuvo características similares en propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, junto a eso presentó un equilibrio entre dulzor, amargor, cuerpo y alcohol, generando además puntajes altos de color, lúpulo y carácter frutado, atributos que fueron evaluados positivamente por los evaluadores.

Los resultados permitieron confirmar que la fermentación espontánea fue un procedimiento seguro para la obtención de cervezas artesanales con perfiles diferenciados, siendo la muestra B la de mejor aceptación y calidad dentro del estudio.

Palabras clave: Calidad organoléptica; Cerveza artesanal; Evaluación sensorial; Fermentación espontánea

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the production of craft beer using a spontaneous fermentation process, by dosing the inoculum and wort in different proportions (Sample A: 900 mL of wort and 100 mL of inoculum; Sample B: 450 mL of wort and 50 mL of inoculum; Sample C: 900 mL of wort, 100 mL of inoculum, and 0.33 g of yeast). During fermentation, physicochemical parameters were determined (pH, density, total acidity) with microbiological control, showing a progressive decrease, which confirmed the fermentation activity that was present, demonstrating that the process was proceeding correctly, all in accordance with INEN 2262 regulations. Hedonic tests were performed, in accordance with the BJCP 2021 guide, to characterize the samples obtained sensorily.

Sample B presented stable properties, pH, density, and acidity, as well as notable attributes in body, acidity, and fruit notes, and showed low levels of defects such as diacetyl and DMS. Sample C had similar characteristics in terms of physicochemical and microbiological properties, along with a balance between sweetness, bitterness, body, and alcohol, also generating high scores for color, hops, and fruitiness, attributes that were evaluated positively by the evaluators.

The results confirmed that spontaneous fermentation was a safe procedure for obtaining craft beers with differentiated profiles, sample B became the most popular and the highest quality in this study.

Keywords: Organoleptic quality; Craft beer; Sensory evaluation; Spontaneous fermentation

Introducción

La cerveza es, sin duda, una de las más antiguas y populares bebidas alcohólicas en el mundo; en el transcurso de la historia, ha sufrido una notable evolución en lo que respecta al sabor, a su forma de ser elaborada y a la diversidad de estilos. Su origen se remonta a hace más de 10.000 años, en las culturas de las antiguas civilizaciones mesopotámicas, en las que los sumerios tuvieron conocimiento del proceso de fermentación y la transformación de los granos en bebida alcohólica, todo ello a través de métodos todavía toscos y locales (Nolasco, 1998).

Actualmente, el mundo de las cervezas ha engrosado su catálogo de versiones con formas de elaboración que desafían las tradiciones, y entre ellas se encuentra la cerveza de tipo artesanal que prescinde del uso de levaduras comerciales. Este tipo de fermentación tiene como carácter la espontaneidad, para lo cual se vale de levaduras silvestres y bacterias también presentes en el entorno de fermentación, generando así perfiles sensoriales muy singulares, aunque con una probabilidad alta de variabilidad microbiológica y con poco control sobre la estabilidad del producto. Este fenómeno se relaciona con la antigua teoría de la generación espontánea o abiogénesis, que sostenía que los seres vivos podían surgir a partir de materia inanimada (Camós, 2013). Si bien hoy se comprende el rol esencial de la levadura en la fermentación (Adarme & Rincones, 2008), la fermentación espontánea se ha convertido en una práctica de creciente interés dentro de la producción de cerveza artesanal.

Sin embargo, los microorganismos no controlados pueden modificar las propiedades del producto. En este sentido, Latorre et al. (2022) indican que las bacterias y levaduras salvajes son responsables de la turbidez, sedimentos, exopolisacáridos, compuestos azufrados, diacetilo y ácidos orgánicos. Para poder evitar estas modificaciones se utilizan métodos de control para mantener la composición, el aroma y el sabor de la cerveza (Cedón Fernández, 2018). En esta línea se ubica la estabilidad sensorial, que aporta el equilibrio de sabores y los atributos de color, amargor y carbonatación valorando tres ejecuciones: visual, olfativa, gustativa (Valencia Velasco, 2022).

Además de la atracción de su carácter organoléptico, el no empleo de levaduras comerciales también puede originarse por cuestiones económicas (a este respecto, Alicia (2023), sostiene que la reutilización de levadura (repitching), la cual supone una práctica extensamente utilizada en microcervecías por su capacidad para disminuir costes). Estudios recientes han demostrado que esta práctica optimiza los recursos de la propagación celular y optimiza la eficiencia del proceso (Martins, 2022). Complementariamente, Roselli et al. (2024), también ponen de relieve que la recuperación y uso sucesivo de levaduras es una práctica habitual en la industria de la cerveza, siempre que sea en el marco de adecuados protocolos de control microbiológico. En el caso de la fermentación espontánea, el control de nutriente se muestra como algo fundamental para favorecer la actividad de las levaduras y las bacterias nativas que van a participar en el proceso fermentativo. Una de las medidas más habituales consiste añadir mosto fresco para poder dotar de azúcares, aminoácidos y minerales a la fermentación lo que conllevaría una mejora de la vitalidad de *Saccharomyces spp.* y optimiza el metabolismo y el aroma de estas fermentaciones. Sin embargo, un aumento brusco en la

densidad osmótica generalmente desencadena en un estrés fisiológico (Pisal et al., 2009). La disponibilidad de nitrógeno libre asimilable (FAN) en el mosto permite que se produzcan niveles bajos de compuestos indeseables como el diacetilo, mientras que los minerales inorgánicos como fosfato, amonio, potasio y magnesio facilitan el metabolismo de las levaduras, e incluso el aislamiento de un producto final bien definido (Tang et al., 2021).

Es por este motivo, que esta investigación tiene como finalidad evaluar la generación espontánea en la fermentación dentro de la producción de la cerveza artesanal con el fin de analizar sus beneficios desde el punto productivo y de calidad, siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2262 (2022), en la cual se establece parámetros de calidad y seguridad que incluyen contenido alcohólico, pH, acidez total, densidad del mosto y grado de fermentación, asegurando tanto la estabilidad del producto como su inocuidad.

Materiales y Métodos

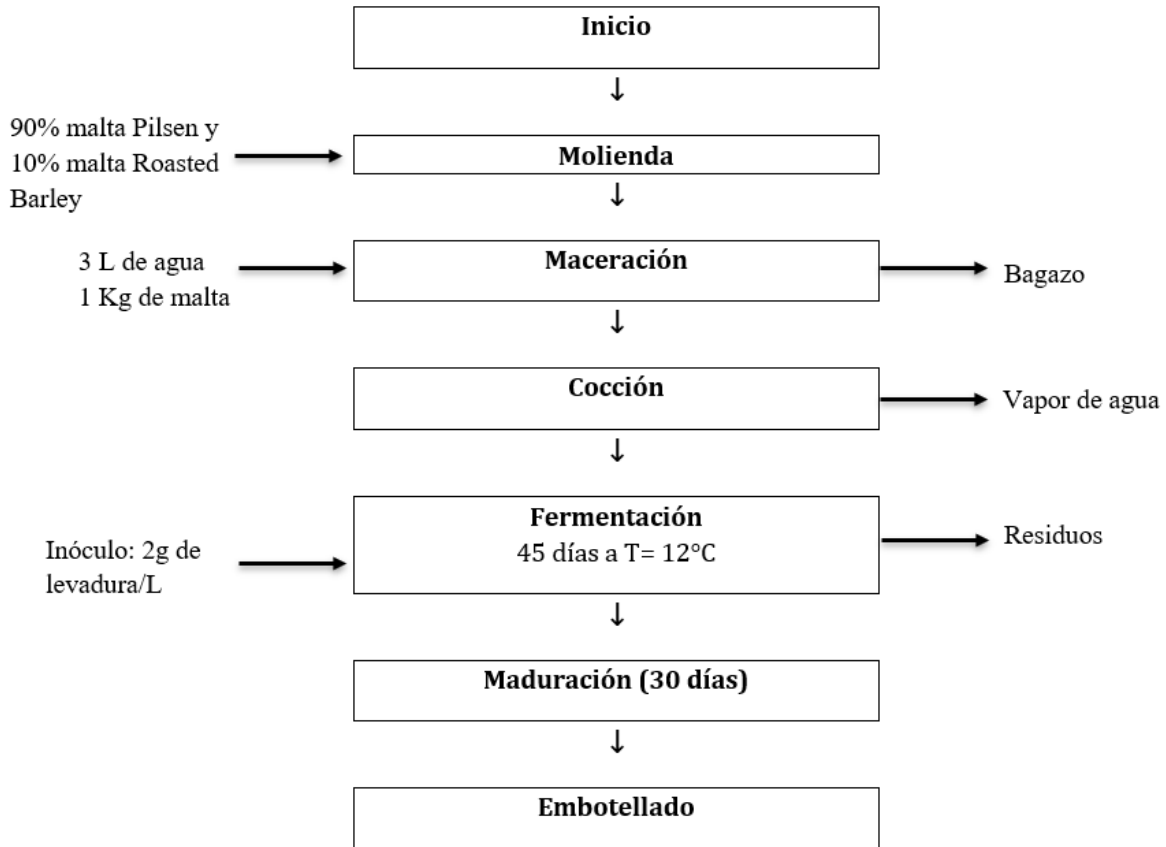
La metodología utilizada fue de carácter experimental y se llevó a cabo en las siguientes etapas; se elaboró una base de cerveza artesanal bajo estándares de calidad INEN 2262; luego, se realizaron ensayos en diferentes lotes en condiciones ambientales y especiales; además, se realizó el seguimiento de la cinética de fermentación en dichos lotes; también, se llevó a cabo un análisis de los resultados estadísticos y finalmente se realizó una evaluación microbiológica más el análisis del perfil sensorial del producto final.

Obtención de la base de cerveza

La cerveza base utilizada en el presente estudio se hizo mediante la adquisición de una muestra de 1000 mL volumen de la cerveza Pilsen que nos proporcionó la empresa Opus Brau, esta muestra fue elaborada con 90% malta Pilsen y 10% malta Roasted barley, utilizando 2gr/L de inóculo para estar en fermentación por 45 días (12°C) y 30 días de maduración, siendo la muestra seleccionada con base en los requerimientos de calidad que define la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2262, dado que tanto pH como densidad y acidez total (%) se encontraban dentro de los valores permitidos, verificando así que la base de cerveza poseía las condiciones físico-químicas adecuadas para los ensayos que habrían de hacerse posteriormente, permitiendo así haber realizado un estudio controlado y reproducible de los procesos experimentales de fermentación y evaluación sensorial.

Figura 1

Diagrama de Flujo de la elaboración de la cerveza artesanal



Preparación de las muestras

Se preparó un mosto similar al de la muestra de cerveza usada como inóculo, excluyendo la adición de levaduras fermentativas, para obtener una base de cerveza artesanal apta para ser sometida a diferentes tratamientos experimentales. Este esquema entró en directa relación con las condiciones de la fermentación espontánea en la que los microorganismos presentes en el ambiente o en los propios recipientes se hacen cargo del inicio de la fermentación y el manejo de la misma sin que esto implique una inoculación. Este tipo de condiciones han sido ampliamente descritas en estudios como el de Spitaels et al. (2014), que detallan la sucesión microbiana natural de las fermentaciones espontáneas; y De Roos & De Vuyst (2019), que explica cómo la fermentación ambiental tiene efectos en los perfiles de sabor y química del producto final.

Las muestras obtenidas constituyen el inicio del procedimiento de evaluación comparativa llevado a término en relación con las variables que se generan del producto. Se implementó tres condiciones de ensayo (Tabla 1).

Tabla 1
Dosificación en las diferentes muestras

Muestra	Mosto (mL)	Inóculo (mL)	Levadura (g)	Condiciones adicionales
A	900	100	-	Sin inoculación de levadura; 100 mL de cerveza terminada como inóculo.
B	450	50	-	Adición semanal de 100 mL de mosto fresco como fuente de nutrientes.
C	900	100	0.33	Proceso fermentativo parcial con 0.33 de la dosis convencional de levadura.

Cada muestra se realizó con una base estándar de elaboración de cerveza artesanal, y en el caso B se redujo en 50% las proporciones con respecto a la muestra A, añadiéndole 100 mL de mosto fresco semanalmente con el fin de brindar nutrientes al proceso fermentativo, y en el caso de la muestra C se implementó el 33% de la cantidad de levadura que se necesita comúnmente en estos procesos que como lo indica Foster (2025) es de aproximadamente 1 gr/L.

El mosto que se empleó en los ensayos experimentales fue objeto de una maceración a 65 °C durante 60 minutos, realizando una agitación suave de forma periódica para facilitar la actividad de α - y β -amilasas y conseguir la transformación de los almidones en azúcares fermentables; este perfil de maceración se utiliza como un compromiso práctico entre el proceso de gelificación del almidón y la estabilidad de estas enzimáticas a fin de conseguir la máxima sacarificación (Thesseling et al., 2019).

La fermentación se realizó a 20 °C aproximadamente en condiciones anaerobias controladas y con muestreos periódicos de densidad, pH y acidez total a fin de registrar la cinética fermentativa y garantizar la reproducibilidad de los experimentos; este rango térmico se encuentra de acuerdo con los parámetros óptimos descritos para levaduras de tipo ale (*Saccharomyces cerevisiae*), que suelen fermentar en un rango de temperaturas de entre aproximadamente 18–24 °C, favorecida por el rendimiento y el desarrollo aromático (Lodolo et al., 2008).

Monitoreo cinético de acuerdo a los parámetros de control

La variación cinética de las tres condiciones experimentales se realizó por medio de muestreos semanales, durante siete semanas, para establecer la evolución de las variables de control. En cada punto del tiempo se controlaron parámetros de calidad según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2262, es decir: el pH, la densidad, la acidez total, adicionalmente, control de microbiología. La realización de muestreos semanales facilitó la captura de la variación de las condiciones fermentativas y la sucesión microbiana en las primeras fases del proceso, las cuales son periodos críticos en la estabilidad del producto. El enfoque se enmarca en lo que es conocido a partir de los estudios realizados en las fermentaciones espontáneas o controladas donde se ha realizado un seguimiento periódico de las variaciones fisicoquímicas y microbiológicas para obtener la cinética de fermentación y su relación con el producto final, de igual manera, la combinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como indicadores de control ha sido respaldada por estudios que destacan la importancia de este enfoque en la caracterización de bebidas fermentadas (Bokulich et al., 2012).

pH

La determinación del pH se realizó conforme a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2325 (2011): Bebidas alcohólicas. Determinación de pH. Las mediciones se efectuaron con un pH-metro calibrado con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0, manteniendo la temperatura de referencia de 20 °C. Para evitar interferencias del CO₂ disuelto, las muestras fueron previamente desgasificadas. Este procedimiento es coherente con métodos internacionalmente aceptados como el ASBC Beer Method 9: Hydrogen Ion Concentration y el EBC Analytica 9.35 (Bamforth, 1998).

Densidad

La densidad se evaluó de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 923, las determinaciones se efectuaron con un densímetro (marca LD Carlson Company) a 20 °C, tomando como referencia agua destilada. La disminución progresiva de la densidad en las muestras permitió seguir la cinética fermentativa (Kunze, 1996).

Acidez total

La acidez total titulable se determinó de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2323 (2011): Bebidas alcohólicas. Determinación de la acidez total titulable. Se realizó una titulación mediante un ensayo ácido-base con NaOH 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador y tomando el resultado en el punto final a pH 8.2. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido láctico equivalente. El procedimiento resulta ser análogo al método ASBC Beer Method 8a: Titratable Acidity y se ha utilizado en el control de fermentaciones de bebida (INEN, 2002).

Control microbiológico

El control microbiológico se llevó a cabo acorde a la Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 1529-17 (2013): Microbiología de alimentos. Método para el recuento de microorganismos mesófilos aerobios (ver capítulo 4.3.3). Se realizaron diluciones seriadas de cada una de las muestras en condiciones estériles e incubadas -inoculadas- en medios específicos para bacterias mesófilas aerobias, incubando a 30 °C durante 72 h. Los resultados se valoraron en UFC/mL (INEN, 1998; INEN, 2006).

Análisis estadístico

Los datos adquiridos en los parámetros de control (pH, densidad, acidez total y recuentos microbiológicos) fueron tratados usando un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, con la finalidad de encontrar diferencias significativas entre las muestras A, B y C a través de las distintas semanas de control. En caso de detectar diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), se hicieron pruebas post hoc de Tukey para manifestar los pares de medias que generaban la variación.

Esta forma de análisis se emplea en gran medida en los trabajos de fermentación cervecera y en estudios de control de calidad de bebidas fermentadas, ya que permite comparar distintos tratamientos y establecer la notable significación estadística de los efectos observados (Granato et al., 2013). Para ello, se utilizó el software STATGRAPHICS.

Pruebas hedónicas

El perfil sensorial de las muestras de cerveza fue evaluado mediante una prueba hedónica estructurada, en la que participaron 20 panelistas no entrenados, seleccionados de manera aleatoria. Cada evaluador calificó la intensidad de diferentes descriptores sensoriales (dulce, amargo, alcohol, cuerpo, frutado-ésteroso, diacetilo, sour/ácido, DMS, color y lúpulo) en una escala ordinal de 1 a 10 puntos, donde 1–3 correspondió a una percepción baja, 4–5 a medio bajo, 5–7 a moderado y 7–10 a medio alto, método similar al utilizado por López et al. (2024), en donde realizaron pruebas hedónicas en un extracto funcional de cerveza artesanal.

Las pruebas se realizaron en condiciones controladas de iluminación blanca y temperatura ambiente (20 ± 2 °C), siguiendo las recomendaciones de la ISO 8589:2007 – Análisis sensorial. Guía general para el diseño de salas de cata. Las muestras fueron servidas en vasos de vidrio transparente de 50 mL, codificados con números aleatorios de tres dígitos, y presentadas en orden balanceado para evitar sesgos de posición.

La evaluación de la aceptabilidad hedónica en cervezas se sustenta en metodologías ampliamente reportadas en la literatura cervecera y en estudios de calidad sensorial de bebidas fermentadas (Meilgaard et al., 2006).

Resultados y Discusión

Cinética de parámetros de control pH

La Figura 2 muestra cómo el pH de la muestra A presentó un ligero aumento al inicio, de 4.70 hasta valores cercanos a 4.95 durante algunas semanas, luego una fase de estabilidad y, por último, un profundo descenso hasta valores de 4.55 en la última semana. Este tipo de comportamiento es propio de los procesos fermentativos espontáneos, en los cuales las bacterias ácido lácticas heterofermentativas y las levaduras no *Saccharomyces*, que en un primer momento producen compuestos que tienen un efecto alcalinizante transitorio, después se afianzan los procesos de acidificación del medio (Bokulich & Bamforth, 2013). La fase de estabilidad indica el establecimiento de un medio de fermentación en equilibrio dinámico, en el que la ratio entre producción de compuestos básicos (aminas, ácidos débiles parcialmente disociados, etc.) y acidez por generación de ácidos orgánicos, como ya se ha descrito para fermentaciones mixtas de cervezas artesanales (Postigo et al., 2022).

El brusco descenso en el valor de pH hacia el final del periodo se debe a la incidencia de la producción de ácidos orgánicos (láctico y acético, principalmente) por parte de las bacterias ácido lácticas y levaduras fermentativas, esto coincide con los estudios en muestras de fermentación espontánea para las cuales el pH final tiende a estabilizarse en un rango de entre 3.5 y 4.5 lo que es adecuado para la conservación y el perfil sensorial de las cervezas (Bokulich et al., 2014). Este comportamiento se puede ajustar a una confirmación que indica la adición de cerveza terminada como inóculo provocó unas condiciones en microbiología activa que pueden derivar el proceso fermentativo sin requerir levaduras comerciales, esto demuestra el papel del microbioma cervecero en la evolución natural del mosto.

La Muestra B presenta un aumento de pH que va desde 4.88 a 5.07, este cambio gradual podría interpretarse como una disminución de la actividad fermentativa conforme avanzó el tiempo, atribuido a la menor producción de medios de ácidos orgánicos (láctico, acético,

succínico), que son los generados por levaduras y bacterias en las etapas iniciales del proceso de fermentación (De Francesco et al., 2025).

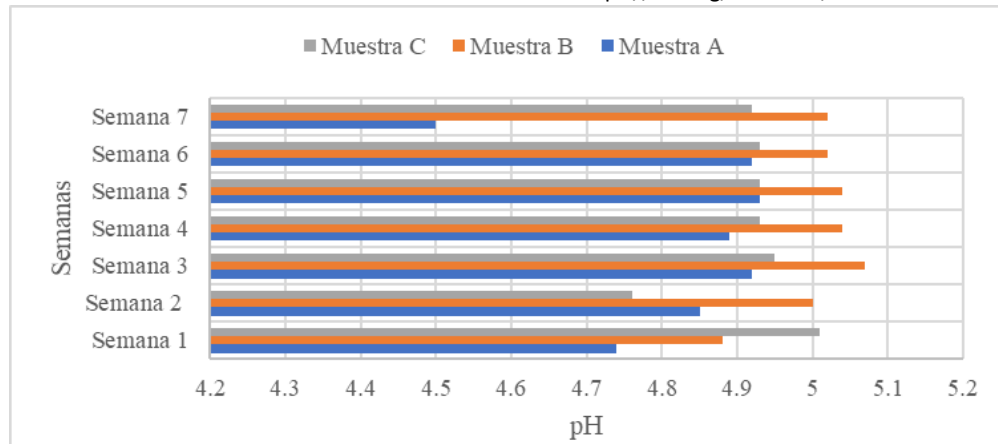
El comportamiento descrito es coincidente con la fermentación espontánea o mixta, donde la microbiología cambia de forma dinámica con el tiempo, la cual permite el desarrollo de microorganismos menos acidificadores en las etapas posteriores. En cervezas de fermentación espontánea, trabajos anteriores han señalado que tras un descenso de pH rápido en los primeros días de fermentación incluso se podría llegar a experimentar un aumento gradual de pH, relacionado con el descenso de metabolismo ácido-láctico, asociado a autólisis celular, que liberarían compuestos tamponantes en el medio (Andrea & Patricia, 2022).

Finalmente, en la Muestra C durante el proceso fermentativo parcial. El pH fue de 5.05 en el inicio, para bajar a 4.75 en la segunda semana, recuperándose hasta el final del ensayo a 4.95. Este tipo de variación resulta de la actividad metabólica de las levaduras y microorganismos en el medio, debido a que durante las primeras etapas de fermentación se puede generar ácido láctico y otros compuestos ácidos, los cuales tienden a bajar el pH del medio (De Keukeleire, 2000). La posterior recuperación del pH, que probablemente viene acompañado de una disminución en la velocidad de producción de ácidos orgánicos acaecida en el momento de menor concentración de azúcares fermentables, y probablemente también por procesos de taponamiento asociados a los componentes del mosto y por liberación de compuestos básicos (como aminoácidos y péptidos) vía autólisis celular (Wang et al., 2024). En fermentaciones parciales como la de Muestra C (33 % de la inoculación de levaduras convencionales), este comportamiento se hace más evidente, debido a una menor biomasa que permite mantener la acidificación sostenida durante el tiempo de fermentación.

Tabla 2
Determinación de pH en Muestra A, B y C

pH			
Semana	Muestra A	Muestra B	Muestra C
Semana 1	4.74	4.88	5.01
Semana 2	4.85	5.00	4.76
Semana 3	4.92	5.07	4.95
Semana 4	4.89	5.04	4.93
Semana 5	4.93	5.04	4.93
Semana 6	4.92	5.02	4.93
Semana 7	4.50	5.02	4.92

Figura 2
Determinación de pH en Muestra A, B y C



El análisis de varianza (Tabla 3) realizado muestra diferencias significativas entre los valores de pH de las tres muestras evaluadas (A, B y C), con una razón F de 5.49 y un valor p de 0.0138, inferior a 0.05, lo que indica que al menos una de las medias difiere de las demás. El gráfico de caja y bigotes refuerza esta observación, mostrando que la muestra B y C presentan menor dispersión, mientras que la muestra A exhibe una variabilidad mayor. En la prueba de comparación múltiple LSD (Tabla 4), se observa que las muestras A y C comparten parcialmente grupos homogéneos, mientras que la muestra B se diferencia significativamente de la muestra A ($p < 0.05$), confirmando que el pH de la muestra B es estadísticamente mayor. No se detectan diferencias significativas entre las muestras B y C ni entre A y C, aunque esta última comparación muestra una tendencia hacia la significancia.

Tabla 3
Tabla de ANOVA pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.124495	2	0.0622476	5.49	0.0138
Intra grupos	0.204171	18	0.0113429		
Total (Corr.)	0.328667	20			

Figura 3
Gráfico Caja y Bigotes pH

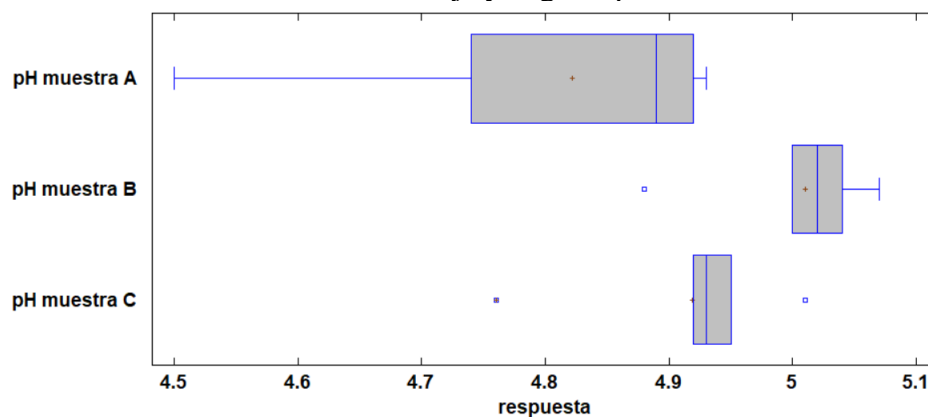


Tabla 4
Prueba de múltiples rangos pH

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
pH muestra A	7	4.82143	X
pH muestra C	7	4.91857	XX
pH muestra B	7	5.01	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
pH muestra A - pH muestra B	*	-0.188571	0.119602
pH muestra A - pH muestra C		-0.097143	0.119602
pH muestra B - pH muestra C		0.091429	0.119602

Cinética de parámetros de control Densidad

Como se muestra en la Figura 4, la densidad de la muestra A disminuyó en forma progresiva, acercándose al valor de 1.022 g/mL, llegando a tener estabilidad por cuatro semanas que posterior a esto disminuyó a cerca de 1.015 g/mL. Este es un comportamiento característico de la fermentación al haber sido degradados los azúcares fermentables por los microorganismos en etanol y CO₂, lo que hace que sea inferior a la del mosto (Luo et al., 2021). Durante las fermentaciones espontáneas o mixtas validadas en trabajos similares la densidad se estabiliza cuando ya se han terminado los azúcares fermentables, consiguiendo así valores del tipo de los de agua o incluso por debajo del nivel de 1.020 g/mL, todo ello dependiendo de las diferentes cepas y condiciones.

El descenso más importante hacia la etapa final de la medición sugiere que la fermentación alcanzó su momento más activo con la aceleración de la conversión que experimentaron los azúcares residuales. Este comportamiento es perfectamente compatible con el comportamiento de otras fermentaciones espontáneas en las que un periodo de adaptación o meseta es seguido por un descenso importante de la densidad cuando se estabiliza la comunidad microbiana dominante y empieza a expresarse con eficacia el metabolismo en la fermentación alcohólica (Bayoï & Etoa, 2021).

La Muestra B mostró una caída progresiva de la densidad, desde 1.021 hasta 1.010. Esto refleja que en la fermentación hubo un consumo continuo de los azúcares fermentables por las levaduras y por las bacterias presentes en el sistema, al transformarlos en etanol y en compuestos secundarios. A diferencia de un mosto sin adición, donde en cada muestreo el mosto es el mismo, el hecho de añadir mosto con periodicidad semanal hace que se aporten continuamente fuentes de carbohidratos y nutrientes, que prolongan la caída de la densidad. Este comportamiento se ajusta al encontrado en fermentaciones artesanales donde la adición periódica de sustrato genera una fermentación más extendida y favorece la formación de metabolitos fermentativos (Verbelen et al., 2006).

Por otra parte, la disminución progresiva observada apuntaría hacia el equilibrio entre el consumo microbiano y la disponibilidad de sustratos, lo que evita que se produzca un agotamiento de forma brusca del mosto. Existen evidencias en estudios de fermentaciones mixtas que demuestran que la densidad puede bajar de forma escalonada en función de la adición de nutrientes y de la dinámica de levaduras de origen no convencional y de bacterias lácticas que pugnan de forma activa en la fermentación espontánea (Spitaels et al., 2014).

Así, el perfil de la Muestra B es el de una fermentación donde la incorporación sucesiva de mosto ha permitido prolongar la actividad metabólica y una fermentación más controlada. La tendencia observada en la densidad de la Muestra C, es decreciente: esta pasa de 1.022 en el instante inicial, hasta 1.015 en la parte final del intervalo de tiempo evaluado. Este comportamiento es característico de los fermentos donde la levadura consume azúcares disueltos y produce etanol y CO₂, lo que da lugar a una disminución de la densidad del mosto (Goyal et al., 2023). Además, la cinética que presenta la Muestra C pierde un carácter más acentuado, lo que sugiere que la actividad fermentativa fue escasa o controlada, en otras palabras, que la densidad descendió de una forma más suave, lo cual podría ser explicado por el hecho de que la carga de levadura inicial estuvo muy por debajo de la que se utilizaría en una fermentación estándar, lo cual, sensu contrario, significaría un comportamiento más lento en lo que respecta al consumo de los azúcares residuales.

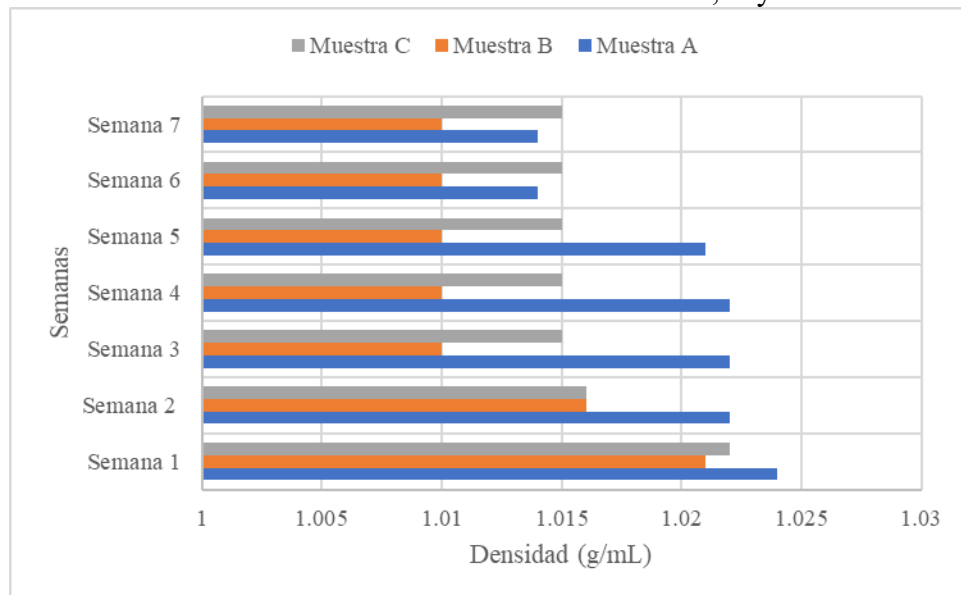
Tabla 5

Determinación de Densidad en Muestra A, B y C

Densidad (g/mL)			
Semana	Muestra A	Muestra B	Muestra C
Semana 1	1.024	1.021	1.022
Semana 2	1.022	1.016	1.016
Semana 3	1.022	1.010	1.015
Semana 4	1.022	1.010	1.015
Semana 5	1.021	1.010	1.015
Semana 6	1.014	1.010	1.015
Semana 7	1.014	1.010	1.015

Figura 4

Determinación de densidad en Muestra A, B y C



El análisis estadístico (Tabla 6) para la densidad de las muestras indica diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados, con una razón F de 6.75 y un valor

p de 0.0065, menor que 0.05, lo que confirma que al menos una de las medias difiere del resto. El gráfico de caja y bigotes muestra una ligera variabilidad entre las muestras, destacando que la muestra A presenta la mayor variabilidad, junto a la muestra B que es un poco menor. La prueba de comparación múltiple LSD (Tabla 7) evidencia que la muestra A se diferencia significativamente de las muestras B y C, mientras que entre B y C no existen diferencias significativas. Además, los grupos homogéneos indican que las muestras B y C comparten el mismo grupo (X), mientras que la muestra A pertenece a un grupo distinto, reforzando la diferencia detectada por el ANOVA. En conjunto, los resultados sugieren que las variaciones observadas en la densidad son atribuibles principalmente a la muestra A, la cual presenta un valor significativamente superior, posiblemente debido a diferencias en la composición o el tratamiento experimental aplicado.

Tabla 6

Tabla de ANOVA Densidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000193143	2	9.65714E-05	6.75	0.0065
Intra grupos	0.000257429	18	1.43016E-05		
Total (Corr.)	0.000450571	20			

Figura 5

Gráfico Caja y Bigotes Densidad

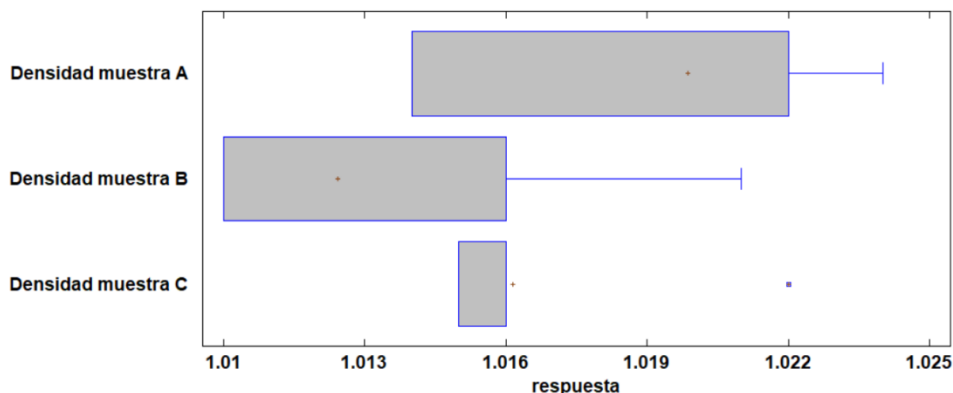


Tabla 7

Prueba de múltiples rangos Densidad

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Densidad muestra B	7	1.01243	X
Densidad muestra C	7	1.01614	XX
Densidad muestra A	7	1.01986	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Densidad muestra A - Densidad muestra B	*	0.00742857	0.00424687
Densidad muestra A - Densidad muestra C		0.00371429	0.00424687
Densidad muestra B - Densidad muestra C		-0.00371429	0.00424687

Cinética de parámetros de control de la Acidez Total

En la Figura 6, la Muestra A se observa una fase de no cambio y de un incremento progresivo hacia el final del ensayo experimental (2.0 %); esta tendencia apunta a una primera fase de adaptación de los microorganismos y de consumo de los compuestos de tipo ácido que ya estaban presentes en el inóculo para a continuación dar paso a la actividad de las bacterias ácido-lácticas y ácido-acéticas que producen los ácidos orgánicos (láctico y acético) (Bokulich et al., 2012).

Además, estudios muestran que bacterias acéticas (AAB) tienen un rol importante en la producción de acidez, particularmente en etapas tardías y en interfaces aire-líquido del barril, lo que podría explicar el aumento observado en la Muestra A conforme avanza el tiempo (De Roos et al., 2018).

El porcentaje de acidez en la Muestra B se mantuvo constante en torno al 2.0 % a lo largo del tiempo de evaluación. Dicha estabilización pone de manifiesto, también, a diferencia de lo que ocurría con la densidad, que la acidificación no evolucionó paso a paso de forma significativa. Esta estabilización puede explicarse debido a que las bacterias ácido-lácticas y acéticas presentes no fueron capaces de establecerse en una proporción suficiente como para modificar de un modo notable la concentración de ácidos orgánicos. Por otro lado, las fermentaciones espontáneas estudiadas anteriormente muestran que la producción de acidez está fuertemente influenciada por la composición inicial del inóculo y por las condiciones ambientales, incluso en las fases tempranas de la fermentación, en las que se constata que las poblaciones microbianas acidogénicas todavía no dominan el ecosistema (Dysvik et al., 2020).

El hecho de que la acidez no cambiara a lo largo del tiempo también podría estar relacionado con que ha existido un equilibrio entre la producción y el consumo de ácidos orgánicos. Ya que, en fermentaciones mixtas, y espontáneas, ciertos microorganismos son capaces de metabolizar ácidos previamente formados, contribuyendo de este modo a mantener constantes los valores de acidez (Tyakht et al., 2020). Así, el perfil de acidez observado para la Muestra B es el resultado de un proceso fermentativo en el que, a pesar de la transformación de azúcares como se constata por la disminución observada de la densidad, la acidificación no fue una característica determinante, lo que haría que la dinámica microbiana presente en esta Muestra fuera diferente a lo que se había encontrado en la Muestra A.

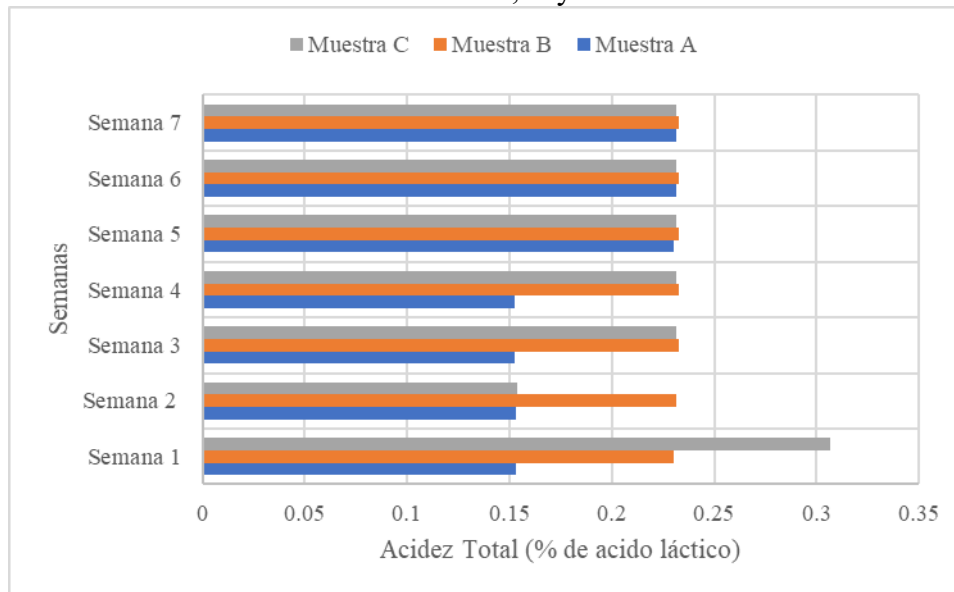
Los resultados obtenidos en la muestra C a lo largo de la fermentación espontánea; a la vista de este gráfico, se puede observar cómo efectivamente hay un descenso inicial que da lugar a un incremento hacia el final del periodo que fue analizado. Esta dinámica de la acidez puede explicarse por la sucesión microbiana durante la fermentación espontánea, en la cual las levaduras y las bacterias lácticas degradan azúcares y producen ácidos orgánicos, variando de este modo la acidez del medio; de hecho, otros trabajos que han analizado fermentaciones espontáneas, por ejemplo, los estudios realizados en el sector del cacao o del café, reportan esta tendencia fluctuante de la acidez, en los que se observa que después de una disminución inicial, la cual puede explicarse por la absorción y el consumo de ácidos, se produce un incremento de manera exponencial por la actividad metabólica de microorganismos

autóctonos; como puede observarse, es la temperatura, la composición inicial del sustrato y la actividad de los microorganismos nativos, todos ellos elementos que están juntos, los que condicionan esta evolución de la acidez (Ferreira et al., 2024).

Tabla 8
 Determinación de Acidez Total (ácido láctico) en
 Muestra A, B y C

Acidez Total (% ácido láctico)			
Semana	Muestra A	Muestra B	Muestra C
Semana 1	0.1529	0.2300	0.3064
Semana 2	0.1532	0.2312	0.1541
Semana 3	0.1526	0.2325	0.2314
Semana 4	0.1526	0.2325	0.2312
Semana 5	0.2300	0.2325	0.2312
Semana 6	0.2316	0.2325	0.2312
Semana 7	0.2316	0.2325	0.2312

Figura 6
 Determinación de Acidez Total (ácido láctico) en
 Muestra A, B y C



El análisis ANOVA (Tabla 9) muestra una diferencia significativa en la acidez total entre las tres muestras evaluadas (Valor-P = 0.0396 < 0.05), lo que indica que al menos una de ellas difiere estadísticamente de las demás. Según la prueba de rangos múltiples (Tabla 10), las muestras B y C no presentan diferencias significativas entre sí, ya que comparten el mismo grupo homogéneo (X). Sin embargo, la muestra A difiere significativamente de ambas (B y C), presentando valores de acidez total menores (media = 0.186357) en comparación con las muestras B y C. Esto sugiere que el tratamiento o condición correspondiente a la muestra A genera una menor acidez total respecto a las otras dos, mientras que las muestras B y C mantienen niveles similares.

Tabla 9

Tabla de ANOVA Acidez Total

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00951874	2	0.00475937	3.88	0.0396
Intra grupos	0.0220593	18	0.00122551		
Total (Corr.)	0.031578	20			

Figura 7

Gráfico Caja y Bigotes Acidez Total

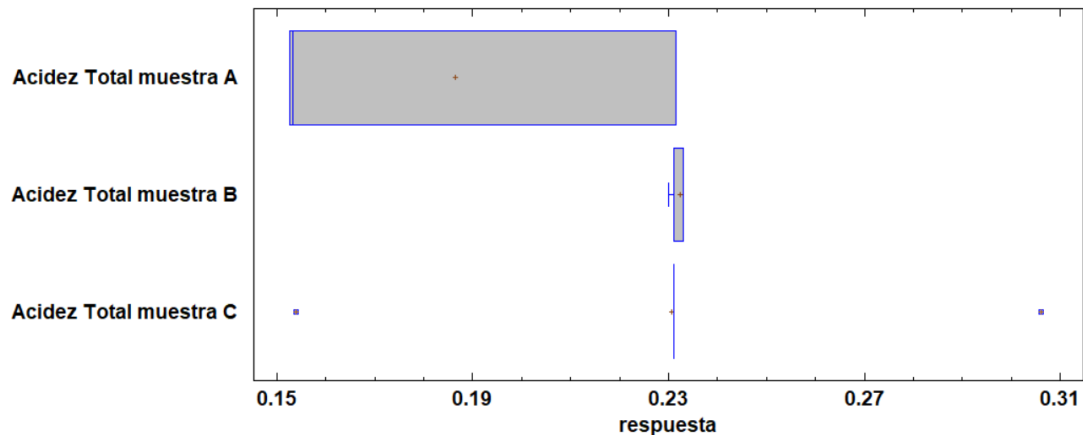


Tabla 10

Prueba de múltiples rangos Acidez Total

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Acidez Total muestra A	7	0.186357	X
Acidez Total muestra C	7	0.230714	X
Acidez Total muestra B	7	0.232286	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Acidez Total muestra A - Acidez Total muestra B	*	-0.045929	0.039313
Acidez Total muestra A - Acidez Total muestra C	*	-0.044357	0.039313
Acidez Total muestra B - Acidez Total muestra C		0.0015714	0.039313

Concentraciones microbiológicas

Los resultados muestran la concentración de levaduras viables en tres muestras distintas durante el curso de la fermentación espontánea, y nos damos cuenta en la muestra A (Tabla 11) que hay una fluctuación en las concentraciones, con un primer incremento paulatino a partir de la primera semana, lo que podría ser un indicativo de una dinámica microbiana compleja posiblemente vinculada con la adaptación y la proliferación sucesiva diferentes cepas de levaduras. En las muestras B y C, la tendencia general es de una disminución en la concentración de levaduras viables con el tiempo que puede estar relacionada con cambios en el ambiente fermentativo, como la reducción de nutrientes o un aumento de la acidez que podría disminuir la viabilidad microbiana.

Los resultados encontrados son similares a aquellos observados en estudios anteriores sobre fermentación espontánea, coincidiendo con que la concentración de levaduras en el medio variará dependiendo de las condiciones de la misma y que la concentración de levaduras variará dependiendo del tipo de competencia microbiana (Estruch, 2023). Así, la proliferación inicial puede estar caracterizada por un aumento predominante de levaduras de tipo *Saccharomyces* y no-*Saccharomyces* seguido por la disminución y una posible concentración reprimida por la competencia bacteriana y el agotamiento o la escasez de nutrientes. Estos patrones son características a seguir en el estudio de la sucesión microbiana y de su calidad y características organolépticas de los productos fermentados, así como la necesidad de ir monitorizando la dinámica de las comunidades microbianas para optimizar el proceso fermentativo e impedir alteraciones que pudieran afectar la calidad del producto final (Payan et al., 2023).

Tabla 11
Concentración de levaduras muestra A, B y C

Semana	Concentración de levaduras viables Muestra A (cel/mL)	Concentración de levaduras viables Muestra B (cel/mL)	Concentración de levaduras viables Muestra C (cel/mL)
1	1.775×10^6	4.95×10^6	3.95×10^6
2	2×10^6	2×10^6	1.3×10^6
3	5.05×10^6	1.95×10^6	2×10^5
4	3.05×10^6	1.92×10^6	1.97×10^5
5	2.9×10^6	1.89×10^6	1.97×10^5
6	2.975×10^6	1.89×10^6	1.97×10^5
7	2.55×10^6	1.89×10^6	1.97×10^5

El análisis de varianza (Tabla 12) mostró diferencias significativas ($p = 0.0175$) entre las medias de las tres muestras de levaduras evaluadas, lo que indica que la concentración de microorganismo difiere de manera estadísticamente relevante entre los tratamientos. La razón F de 5.11 respalda la existencia de variabilidad atribuible al efecto del tipo de muestra y no al error experimental. Según las pruebas de comparación múltiple (Tabla 13), se observaron diferencias significativas entre la muestra A y las muestras B y C, así como entre B y C, evidenciando que cada una presenta comportamientos distintivos en el crecimiento celular.

Tabla 12
Tabla de ANOVA Levaduras

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.51124E+13	2	7.55618E+12	5.11	0.0175
Intra grupos	2.66395E+13	18	1.47997E+12		
Total (Corr.)	4.17519E+13	20			

Figura 8
Gráfico Caja y Bigotes Levaduras

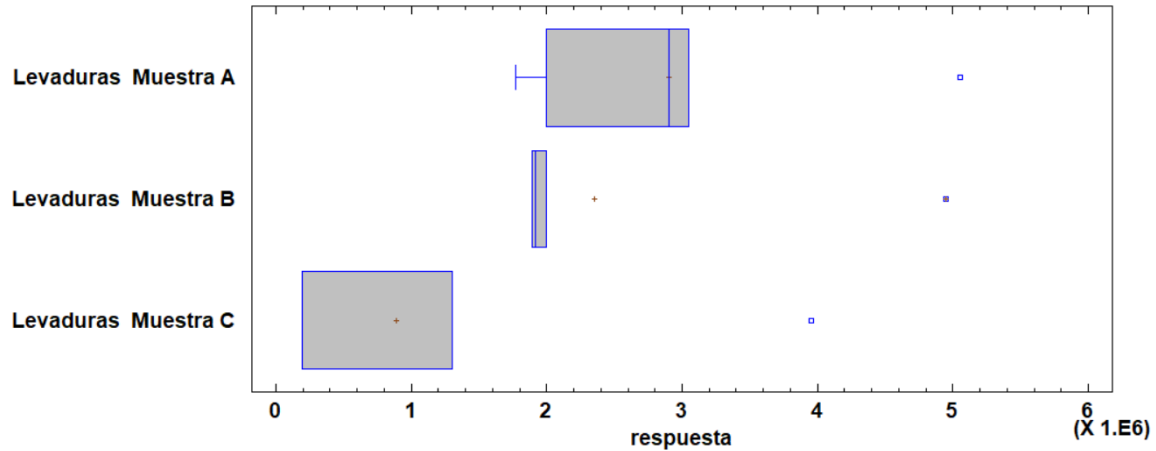


Tabla 13

Prueba de múltiples rangos Levaduras

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Levaduras Muestra C	7	891143	X
Levaduras Muestra B	7	2.36E+06	X
Levaduras Muestra A	7	2.90E+06	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Levaduras Muestra A - Levaduras Muestra B		544286	1.37E+06
Levaduras Muestra A - Levaduras Muestra C	*	2.01E+06	1.37E+06
Levaduras Muestra B - Levaduras Muestra C	*	1.46E+06	1.37E+06

Pruebas hedónicas

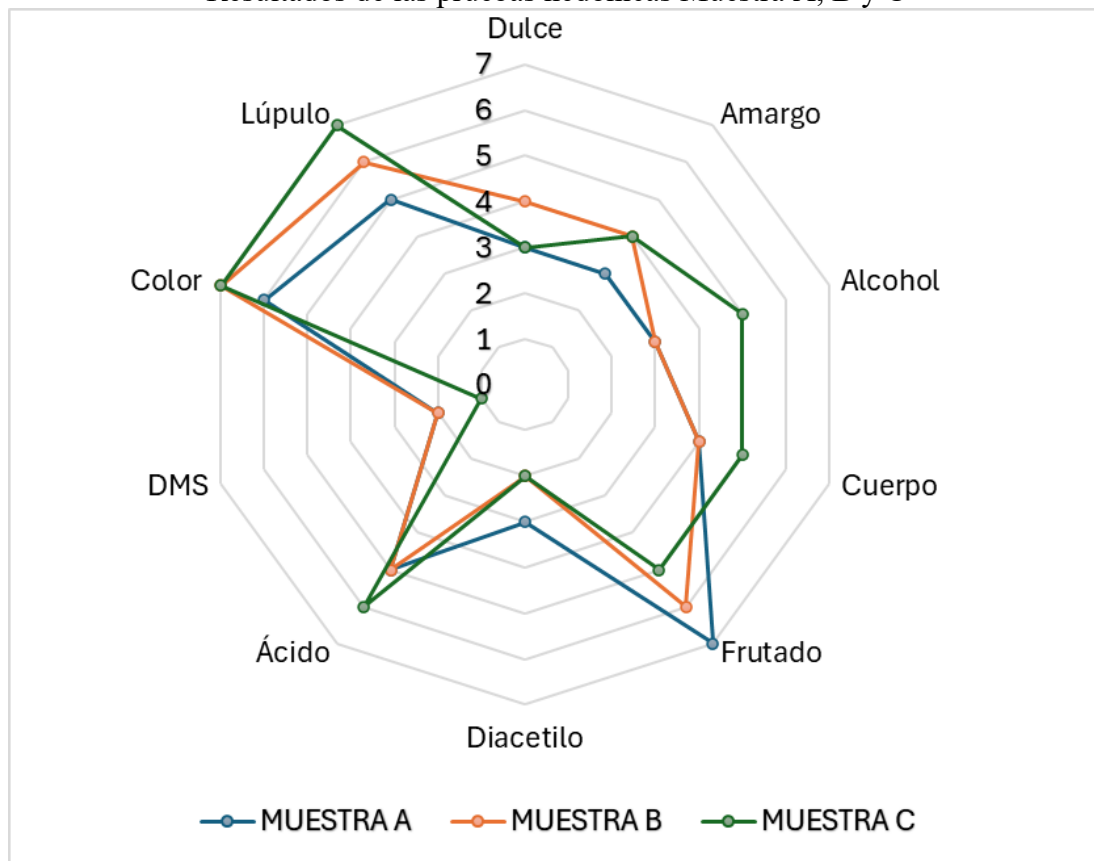
Los resultados obtenidos en la prueba hedónica de la muestra A (Figura 9) muestran una valoración sensorial que resalta las características frutadas (valor 7, medio a alto), acidez (5, medio a moderado) y color (6, medio a moderado), propias de bebidas fermentadas mediante fermentación espontánea. Otros atributos, como cuerpo, aroma a lúpulo y *sour*, se ubican en niveles intermedios, mientras que amargo, dulce y diacetilo presentan valoraciones bajas, generando un balance sensorial y una complejidad sin excesos desagradables. Estos resultados concuerdan con estudios que relacionan la fermentación espontánea con perfiles organolépticos complejos por la diversidad microbiana implicada, donde la acidez y las notas frutadas son rasgos característicos en productos como vinos o cervezas artesanales. La acidez y aroma frutal, además, han sido señalados como atributos que aportan frescura y atractivo sensorial, demostrando la capacidad de la fermentación espontánea para generar perfiles diferenciales (Barahona et al., 2020).

En la muestra B se observaron atributos predominantes de nivel medio a alto, destacando el color (7), carácter frutado/esteroso (6) y lúpulo (6), reflejando una valoración positiva en aspectos clave de la calidad cervecera. Estos resultados coinciden con estudios que demuestran la relevancia del color, los compuestos frutales derivados de ésteres y el lúpulo dentro de los atributos apreciados por consumidores de cervezas artesanales (Aquino et al., 2021). La presencia moderada de notas *sour/ácidas* (5) se asocia con fermentaciones mixtas o espontáneas, tendencia que responde a la búsqueda de complejidad y diversidad sensorial en el mercado artesanal actual (Arvisenet et al., 2016). Las puntuaciones bajas en diacetilo

(2) y DMS (2) indican una buena calidad fermentativa, ya que ambos son considerados defectos cuando superan sus umbrales de percepción (Pires & Brányik, 2015). El equilibrio entre dulce (4), amargo (4) y alcohol (3) evidencia que la muestra mantiene una sensación balanceada.

La muestra C presentó altos puntajes en color (7), lúpulo (7) y carácter *sour-ácido* (6), junto con valores moderados en alcohol (5), cuerpo (5) y frutado/esteroso (5), lo que sugiere una elevada complejidad sensorial derivada de fermentaciones mixtas y del uso de lúpulo, aspectos muy valorados en estilos artesanales contemporáneos (Saison, Sour, IPA) (Da Costa Jardim et al., 2018). El interés del consumidor por cervezas con notas frutales y ácidas ha sido identificado como un factor de aceptación entre públicos jóvenes y de nicho (Aquilani et al., 2014). Finalmente, las bajas puntuaciones en DMS (1) y diacetilo (2) evidencian un adecuado control fermentativo, evitando defectos sensoriales (Vriesekoop et al., 2012). La combinación de un amargor medio (4) y dulce bajo (3) permite un perfil fresco, equilibrado y complejo.

Figura 9
 Resultados de las pruebas hedónicas Muestra A, B y C



Conclusiones

Se analizó la dinámica propia de una fermentación espontánea, donde la disminución del pH y de la densidad confirman la actividad metabólica del microbiota presente en el mosto inoculado con cerveza terminada, demostrando que, aún sin añadir levaduras comerciales, es posible generar un proceso fermentativo activo que conduce a la estabilización del producto, lo cual coincide con lo reportado en la literatura sobre fermentaciones mixtas y artesanales. Se evaluó las muestras A, B y C en las cuales la variación de los parámetros fisicoquímicos reflejaron que la fermentación fue activa y controlada, logrando un producto estable y que cumple con los lineamientos establecidos en la norma INEN 2262.

Se desarrolló estrategias de control, basadas en el seguimiento fisicoquímico y el ajuste de condiciones ambientales, favoreciendo la estabilidad microbiana y la reproducibilidad del proceso fermentativo. Esto se reflejó en una mayor uniformidad sensorial y en la disminución de metabolitos indeseables, confirmando la efectividad de dichas estrategias; concluyendo que la muestra B resaltó en estas características y en el perfil sensorial por su buen cuerpo, notas frutales y adecuada intensidad de lúpulo, consolidándose como la opción más representativa de un producto de calidad en el marco de fermentaciones espontáneas de cerveza artesanal.

Referencias bibliográficas

1. Adarme, T., & Rincones, M. (2008). Evaluación de cuatro antimicrobianos para el control de levaduras contaminantes de un proceso de fermentación de ácido cítrico. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
2. Alicia, P. G. M. (2023). Desarrollo de una metodología para la reutilización de levaduras en la elaboración de una cerveza tipo Pale Ale. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13330>
3. Andrea, C. C. N., & Patricia, G. o. B. (2022). *Estudio de parámetros fisicoquímicos para control de calidad de cervezas artesanales nacionales*. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/93359a37-ca4a-4c13-a7c1-986a29cd7711>
4. Aquilani, B., Laureti, T., Poponi, S., & Secondi, L. (2014). Beer choice and consumption determinants when craft beers are tasted: An exploratory study of consumer preferences. *Food Quality And Preference*, 41, 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.12.005>
5. Arvisenet, G., Guichard, E., & Ballester, J. (2016). Taste-aroma interaction in model wines: Effect of training and expertise. *Food Quality And Preference*, 52, 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.001>
6. Bamforth, C. W. (1998). Beer: tap into the art and science of brewing. *Choice Reviews Online*, 36(02), 36-0976. <https://doi.org/10.5860/choice.36-0976>
7. Barahona, I., Jaimes, E. M. S., & Yang, J. (2020). Sensory attributes of coffee beverages and their relation to price and package information: A case study of Colombian customers' preferences. *Food Science & Nutrition*, 8(2), 1173-1186. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1404>
8. Bayoï, J. R., & Etoa, F. (2021). Physicochemical Changes Occurring during Long-Time Fermentation of the Indigenous Alcoholic Sorghum-Based Beverages Brewed in Northern Cameroon. *Beverages*, 7(2), 39. <https://doi.org/10.3390/beverages7020039>

9. Bokulich, N. A., & Bamforth, C. W. (2013). The Microbiology of Malting and Brewing. *Microbiology And Molecular Biology Reviews*, 77(2), 157-172. <https://doi.org/10.1128/mmbr.00060-12>
10. Bokulich, N. A., Bamforth, C. W., & Mills, D. A. (2012). Brewhouse-Resident Microbiota Are Responsible for Multi-Stage Fermentation of American Coolship Ale. *PLoS ONE*, 7(4), e35507. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035507>
11. Bokulich, N. A., Bamforth, C. W., & Mills, D. A. (2012). Brewhouse-Resident Microbiota Are Responsible for Multi-Stage Fermentation of American Coolship Ale. *PLoS ONE*, 7(4), e35507. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035507>
12. Bokulich, N. A., Ohta, M., Lee, M., & Mills, D. A. (2014). Indigenous Bacteria and Fungi Drive Traditional Kimoto Sake Fermentations. *Applied And Environmental Microbiology*, 80(17), 5522-5529. <https://doi.org/10.1128/aem.00663-14>
13. Camós, A. (2013). ANTONI DE MARTÍ I FRANQUÈS, LA GENERACIÓ ESPONTÀNIA Y LA TRANSFORMACIÓ DE LOS ORGANISMOS. *Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia*.
14. Da Costa Jardim, C., De Souza, D., Machado, I. C. K., Pinto, L. M. N., De Souza Ramos, R. C., & Garavaglia, J. (2018). Sensory Profile, Consumer Preference and Chemical Composition of Craft Beers from Brazil. *Beverages*, 4(4), 106. <https://doi.org/10.3390/beverages4040106>
15. De Francesco, G., Sileoni, V., & Marconi, O. (2025). Influence of Selected Technological Conditions on the Flavour Stability of Unpasteurised Top-Fermented Craft Beer. *Food And Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-025-03830-9>
16. De Keukeleire, D. (2000). Fundamentals of beer and hop chemistry. *Química Nova*, 23(1), 108-112. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422000000100019>
17. De Roos, J., & De Vuyst, L. (2018). Microbial acidification, alcoholization, and aroma production during spontaneous lambic beer production. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 99(1), 25-38. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9291>
18. De Roos, J., Verce, M., Aerts, M., Vandamme, P., & De Vuyst, L. (2018). Temporal and Spatial Distribution of the Acetic Acid Bacterium Communities throughout the Wooden Casks Used for the Fermentation and Maturation of Lambic Beer Underlines Their Functional Role. *Applied And Environmental Microbiology*, 84(7). <https://doi.org/10.1128/aem.02846-17>
19. Dysvik, A., La Rosa, S. L., De Rouck, G., Rukke, E., Westereng, B., & Wicklund, T. (2020). Microbial Dynamics in Traditional and Modern Sour Beer Production. *Applied And Environmental Microbiology*, 86(14). <https://doi.org/10.1128/aem.00566-20>
20. Estruch. (2023, 18 mayo). *Nuevas tendencias para el desarrollo de la fermentación maloláctica en vino con O. oeni - Acenología*. Acenología. https://www.acenologia.com/tendencias_fm1_cienc0412/
21. Ferreira, L. J. C., Casé, I. N., Bertarini, P. L. L., De Oliveira, L. M., & Santos, L. D. (2024). Impact of immature coffee fruits and water addition during spontaneous fermentation process: Chemical composition and sensory profile. *Electronic Journal Of Biotechnology*, 69, 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2024.04.001>
22. Foster, O. (2025, 5 mayo). Yeast Measurement for Brewing a Litre of Beer. ShunBeer. <https://shunbeer.com/article/how-much-yeast-for-1-litre-of-beer>

23. Goyal, A., Shukla, G., Mishra, S., Mallik, S., Singh, A., & Dubey, M. (2023). BEER PRODUCTION BY FERMENTATION PROCESS: A REVIEW. *Journal Of Microbiology Biotechnology And Food Sciences*, e9532. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9532>
24. Granato, D., De Araújo Calado, V. M., & Jarvis, B. (2013). Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. *Food Research International*, 55, 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.024>
25. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1998). NTE INEN 1529-10: Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuento en placa por siembra en profundidad.
26. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2002). NTE INEN 2323:2002: Bebidas alcohólicas. Cerveza. Determinación de la acidez total. <https://es.scribd.com/document/520209627/NTE-INEN-2323>
27. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2006). NTE INEN 1529-5: Control microbiológico de los alimentos. Determinación de la cantidad de microorganismos aerobios mesófilos.
28. ISO 8589:2007. Sensory analysis – General guidance for the design of test rooms. International Organization for Standardization.
29. Kunze, W. (1996). Technology Brewing and Malting. <https://lib.ugent.be/en/catalog/rug01:002029318>
30. Latorre, M., Bruzone, C., de García, V., & Libkind, D. (2022). Contaminantes microbianos en cervezas artesanales embotelladas de la Patagonia andina argentina. *Revista Argentina de Microbiología*.
31. Lodolo, E. J., Kock, J. L., Axcell, B. C., & Brooks, M. (2008). The yeast *Saccharomyces cerevisiae* – the main character in beer brewing. *FEMS Yeast Research*, 8(7), 1018-1036. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00433.x>
32. López Chun, Carlos A., Palma Parrales, Yuleidy M., Alcívar Cedeño, Ulbio E., Burgos Briones, Gabriel A., & Munizaga Párraga, Diego R.. (2024). EXTRACTO FUNCIONAL DE CERVEZA ARTESANAL COMO INGREDIENTE INNOVADOR EN LA INDUSTRIA REPOSTERA. *Centro Azúcar*, 51(3), . Epub 30 de noviembre de 2024. Recuperado en 15 de octubre de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612024000300001&lng=es&tlng=es.
33. Luo, S., DeMarsh, T. A., deRiancho, D., Stelick, A., & Alcaine, S. D. (2021). Characterization of the Fermentation and Sensory Profiles of Novel Yeast-Fermented Acid Whey Beverages. *Foods*, 10(6), 1204. <https://doi.org/10.3390/foods10061204>
34. Meilgaard, M. C., Carr, B. T., & Carr, B. T. (2006). Sensory evaluation techniques. En CRC Press eBooks. <https://doi.org/10.1201/b16452>
35. Nolasco, A. (1998). La cerveza, su historia, producción y características. *DYNA*, 12-22.
36. NTE INEN 2262, 2022. BEBIDAS ALCOHÓLICAS. CERVEZA. REQUISITOS.
37. Payan, C., Gancel, A., Jourdes, M., Christmann, M., & Teissedre, P. (2023). Wine acidification methods: a review. *OENO One*, 57(3), 113-126. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.3.7476>

38. Pires, E., & Brányik, T. (2015). Biochemistry of Beer Fermentation. En *SpringerBriefs in biochemistry and molecular biology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-15189-2>
39. Pisal, S., Hlavová, M., Sigler, K., & Sturdík, E. (2009). Influence of wort osmotic pressure on brewing yeast vitality. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 84(4), 777–783. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1830-6>
40. Postigo, V., Sanz, P., García, M., & Arroyo, T. (2022). Impact of Non-Saccharomyces Wine Yeast Strains on Improving Healthy Characteristics and the Sensory Profile of Beer in Sequential Fermentation. *Foods*, 11(14), 2029. <https://doi.org/10.3390/foods11142029>
41. Spitaels, F., Wieme, A. D., Janssens, M., Aerts, M., Daniel, H., Van Landschoot, A., De Vuyst, L., & Vandamme, P. (2014). The Microbial Diversity of Traditional Spontaneously Fermented Lambic Beer. *PLoS ONE*, 9(4), e95384. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095384>
42. Spitaels, F., Wieme, A. D., Janssens, M., Aerts, M., Daniel, H., Van Landschoot, A., De Vuyst, L., & Vandamme, P. (2014). The Microbial Diversity of Traditional Spontaneously Fermented Lambic Beer. *PLoS ONE*, 9(4), e95384. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095384>
43. Tang, W., Zhang, Z., Guo, Z., Zhang, X., & Li, H. (2021). Effect of inorganic nutrient supplementation on volatile compounds during beer fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(14), 6045–6055. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11255>
44. Thesseling, F. A., Bircham, P. W., Mertens, S., Voordeckers, K., & Verstrepen, K. J. (2019). A Hands-On Guide to Brewing and Analyzing Beer in the Laboratory. *Current Protocols In Microbiology*, 54(1). <https://doi.org/10.1002/cpmc.91>
45. Tyakht, A., Kopeliovich, A., Klimenko, N., Efimova, D., Dovidchenko, N., Odintsova, V., Kleimenov, M., Toshchakov, S., Popova, A., Khomyakova, M., & Merkel, A. (2020). Characteristics of bacterial and yeast microbiomes in spontaneous and mixed-fermentation beer and cider. *Food Microbiology*, 94, 103658. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103658>
46. Valencia Velasco, S. F. (2022). Desarrollo y análisis sensorial de una cerveza artesanal usando una levadura no convencional. Universidad de los Andes. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/59070>
47. Verbelen, P. J., De Schutter, D. P., Delvaux, F., Verstrepen, K. J., & Delvaux, F. R. (2006). Immobilized yeast cell systems for continuous fermentation applications. *Biotechnology Letters*, 28(19), 1515-1525. <https://doi.org/10.1007/s10529-006-9132-5>
48. Vriesekoop, F., Krah, M., Hucker, B., & Menz, G. (2012). 125th Anniversary Review: Bacteria in brewing: The good, the bad and the ugly. *Journal Of The Institute Of Brewing*, 118(4), 335-345. <https://doi.org/10.1002/jib.49>
49. Wang, X., Dang, C., Liu, Y., Ge, X., Suo, R., Ma, Q., & Wang, J. (2024). Effect of indigenous *Saccharomyces cerevisiae* strains on microbial community successions and volatile compounds changes during Longyan wine fermentation. *Food Bioscience*, 57, 103595. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103595>

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.