



Aceptación sensorial de bebidas fermentadas según tipo de leche y nivel de avena*

Sensory acceptance of fermented beverages according to milk type and oat level

Antonio Arrechea-Villacampa¹, Zoylo Morales Romero¹, Carmín Magaly Marín Guerrero¹, Danae Pérez Santana²

* Recepción: 22 de julio, 2026. Aceptación: 28 de septiembre, 2026. Este documento deriva de la tesis de Especialidad en Métodos Estadísticos del primer autor, titulada “Efecto del tipo de leche y del nivel de avena sobre la aceptación sensorial de bebidas fermentadas”, presentada en la Facultad de Estadística e Informática de la Universidad Veracruzana.

¹ Universidad Veracruzana. Xalapa, México. antonioarrechea87@gmail.com (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0009-0000-9059-1753>); zmorales@uv.mx (<https://orcid.org/0000-0001-6652-1480>); carmarin@uv.mx (<https://orcid.org/0009-0009-1498-5940>).

² Universidad de La Habana, Instituto de Farmacia y Alimentos. La Habana, Cuba. danaeps@ifal.uh.cu (<https://orcid.org/0000-0002-8928-8914>).

Resumen

Introducción. La composición de la leche y la adición de avena pueden influir sobre la aceptación sensorial de bebidas fermentadas. **Objetivo.** Evaluar el efecto del tipo de leche y del nivel de avena sobre la aceptación sensorial de bebidas fermentadas. **Materiales y métodos.** El estudio se realizó entre octubre y diciembre de 2025 en Xalapa, Veracruz, México. Se empleó un diseño factorial completamente al azar con tres tipos de leche comercial (A, B y C) y tres niveles de avena (0, 5 y 10 g/L). Se elaboraron nueve tratamientos con cinco réplicas independientes. Las bebidas fermentadas se obtuvieron mediante fermentación con *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Se determinaron variables fisicoquímicas en las materias primas y en las bebidas fermentadas. La aceptación sensorial se evaluó mediante una escala hedónica de cinco puntos aplicada a consumidores no entrenados. Los datos se analizaron mediante análisis de componentes principales, análisis de varianza y correlación de Spearman. **Resultados.** Las leches comerciales presentaron diferencias significativas en su composición fisicoquímica ($p < 0,001$). La aceptación sensorial estuvo influida por el tipo de leche, el nivel de avena y la interacción entre ambos factores ($p < 0,001$). La formulación elaborada con la leche C y 10 g/L de avena alcanzó la mayor aceptación sensorial ($4,76 \pm 0,15$), mientras que la leche A sin avena presentó la menor aceptación ($2,20 \pm 0,10$). La aceptación global mostró correlaciones positivas con la viscosidad, la textura, el aspecto y el sabor. **Conclusiones.** El efecto del nivel de avena sobre la aceptación sensorial dependió del tipo de leche utilizado. Las formulaciones elaboradas con leche C y niveles medio y alto de avena presentaron las mayores puntuaciones de aceptación.

Palabras clave: *Avena sativa*, fermentación láctica, pruebas hedónicas, propiedades fisicoquímicas.

Abstract

Introduction. Milk composition and oat addition may influence the sensory acceptance of fermented beverages. **Objective.** To evaluate the effect of milk type and oat level on the sensory acceptance of fermented beverages. **Materials and methods.** The study was conducted between October and December 2025 in Xalapa, Veracruz, Mexico. A completely randomized factorial design was used with three types of commercial milk (A, B, and C) and



three levels of oats (0, 5, and 10 g/L). Nine treatments were prepared with five independent replicates. The fermented beverages were obtained through fermentation with *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Physicochemical variables were determined in the raw materials and the fermented beverages. Sensory acceptance was evaluated using a five-point hedonic scale administered to untrained consumers. Data were analyzed using principal component analysis, analysis of variance, and Spearman's rank correlation coefficient.

Results. Commercial milks showed significant differences in their physicochemical composition ($p < 0.001$). Sensory acceptance was influenced by the type of milk, the level of oats, and the interaction between these two factors ($p < 0.001$). The formulation made with milk C and 10 g/L of oats achieved the highest sensory acceptance (4.76 ± 0.15), while milk A without oats showed the lowest acceptance (2.20 ± 0.10). Overall acceptance showed positive correlations with viscosity, texture, appearance, and flavor. **Conclusions.** The effect of the oat level on sensory acceptance depended on the type of milk used. Formulations prepared with milk C and medium and high levels of oats received the highest acceptance scores.

Keywords: *Avena sativa*, lactic fermentation, hedonic testing, physicochemical properties.

Introducción

Las enfermedades crónicas no transmisibles, entre ellas la obesidad, la diabetes y las alteraciones del metabolismo lipídico, constituyen uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial (World Health Organization, 2025). Este contexto ha incrementado el interés por el desarrollo de alimentos que, además de su valor nutritivo, incorporen ingredientes con propiedades nutricionales y tecnológicas de interés (Alongi & Anese, 2021; Rivero Chávez et al., 2023). Las bebidas fermentadas han adquirido relevancia en este ámbito debido a sus características nutricionales y sensoriales, así como a su amplia aceptación entre los consumidores (Sarita et al., 2025; Savaiano & Hutkins, 2021; Vinderola et al., 2023).

Las leches fermentadas corresponden a productos obtenidos mediante la fermentación de la leche o sus derivados por acción de microorganismos específicos que transforman la lactosa en ácido láctico y provocan una disminución del pH de la matriz láctea (Comisión del Codex Alimentarius, 2024; Demir et al., 2023). Este proceso genera modificaciones en proteínas, carbohidratos y minerales que favorecen la digestibilidad y la biodisponibilidad de nutrientes (Jumbo Narváez & Sinaluisa Sinaluisa, 2024). La actividad metabólica de los microorganismos también produce compuestos relacionados con el aroma, el sabor y la textura, atributos que influyen en la calidad y la aceptación de estos productos (Fontecha & Juárez, 2024).

La leche constituye la materia prima fundamental para la elaboración de bebidas fermentadas (Comisión del Codex Alimentarius, 2024). En la Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2012 se define como el producto obtenido de la secreción de las glándulas mamarias de las vacas que cumple con las especificaciones establecidas para su comercialización (Secretaría de Economía, 2012). Desde el punto de vista fisicoquímico, la leche es una emulsión natural aceite-agua, compuesta principalmente por agua, grasa, proteínas, lactosa y minerales (Yao et al., 2024). La proporción de estos componentes varía en función de factores biológicos y tecnológicos, condición que influye en la viscosidad, la estabilidad, la textura y el comportamiento de los sistemas fermentados (Castellanos-Duarte et al., 2024).

La avena (*Avena sativa* L.) constituye una materia prima para la industria alimentaria debido a su contenido de fibra dietética, β -glucanos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales (Baptista et al., 2024; Djorgbenoo et al., 2023; Risueño Nunes, 2024). Los β -glucanos representan uno de los principales compuestos bioactivos de la avena y poseen interés tecnológico para la elaboración de bebidas fermentadas (Li et al., 2024; Mykhalevych et al., 2022; Singla et al., 2024). Estos polisacáridos incrementan la capacidad de retención de agua y modifican el

comportamiento reológico de las matrices alimentarias, factores que influyen en la viscosidad, la consistencia y la estabilidad del producto final (Khrundin & Nikitina, 2024).

La incorporación de avena en bebidas fermentadas permite combinar las propiedades nutricionales del cereal con las características tecnológicas derivadas de la fermentación láctica (Qu, 2021; Rodríguez Sánchez, 2021). La respuesta depende de las características de la leche y de la cantidad de avena (Anli et al., 2023; Wulansari et al., 2023; Zhao et al., 2023). Diferentes concentraciones de este cereal modifican variables como la sinéresis, la textura y la aceptabilidad sensorial (Qu et al., 2021; Son et al., 2023), mientras que las diferencias en el contenido de grasa, proteínas y otros componentes alteran la estructura de la matriz láctea y los atributos relacionados con la textura, la apariencia y la aceptación de las bebidas fermentadas (Castellanos-Duarte et al., 2024; Ziarno et al., 2025).

La aceptación sensorial constituye uno de los principales criterios para el desarrollo de nuevos alimentos debido a que refleja la respuesta del consumidor frente a las características del producto (Civille et al., 2024; Osorio-Oviedo, 2019; Radhakrishnan & Rajan, 2025). La evaluación sensorial permite cuantificar atributos relacionados con el sabor, el olor, la apariencia, la textura y la aceptación global (Stone & Bleibaum, 2025). Identificar formulaciones con elevada aceptación resulta relevante para seleccionar combinaciones de ingredientes con potencial de aplicación industrial (Rodríguez Sánchez, 2021; Savaiano & Hutkins, 2021).

La evidencia científica disponible indica que la avena modifica propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales de bebidas fermentadas, mientras que las características de la leche influyen en la estructura y el comportamiento de estas matrices alimentarias (Baptista et al., 2024; Rodríguez Sánchez, 2021). Los estudios publicados han evaluado concentraciones específicas de avena o sistemas particulares de fermentación, por lo que la información sobre el efecto conjunto del tipo de leche y del nivel de avena en la aceptación sensorial de bebidas fermentadas aún es limitada. En particular, se requiere determinar cómo responde la aceptación a distintos niveles de avena cuando se emplean leches con composiciones diferentes.

La evaluación conjunta del tipo de leche y del nivel de avena permite determinar la contribución de cada factor y establecer si existe interacción entre ambos en la aceptación sensorial del producto. Se planteó como hipótesis que el efecto del nivel de avena sobre la aceptación sensorial depende del tipo de leche utilizado, debido a las diferencias en la composición de la matriz láctea. A partir de esta hipótesis, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tipo de leche y del nivel de avena sobre la aceptación sensorial de bebidas fermentadas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó entre octubre y diciembre de 2025 en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, en el marco de la Especialidad en Métodos Estadísticos de la Universidad Veracruzana. Se empleó un diseño factorial completamente al azar (3×3) con dos factores: tipo de leche (A, B y C) y nivel de avena. Los niveles de avena fueron 0, 5 y 10 g/L, denominados bajo, medio y alto, respectivamente. Se evaluaron nueve tratamientos con cinco réplicas independientes por tratamiento (45 unidades experimentales). La unidad experimental correspondió a cada lote de bebida fermentada elaborado de forma independiente.

Se utilizaron tres tipos de leche comercial pasteurizada en presentaciones de 1 L, adquiridas en establecimientos comerciales de la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. Las leches pertenecieron a tres marcas comerciales diferentes y se compraron en distintos momentos de la investigación. Como criterio adicional, se verificó que presentaran una vida útil superior a 30 días a partir de la fecha de compra. La avena (*Avena sativa* L.) utilizada correspondió a harina de avena no integral, de molienda fina y en presentaciones de 1 kg. Como cultivo iniciador, se empleó un cultivo láctico liofilizado compuesto por bacterias ácido-lácticas de las especies *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. La activación del cultivo se realizó con leche descremada y de acuerdo con las orientaciones del proveedor.

Las bebidas fermentadas se elaboraron bajo condiciones estandarizadas de procesamiento. Las formulaciones se prepararon mediante la incorporación de 0, 5 y 10 g/L de avena a cada tipo de leche evaluado. El proceso de elaboración incluyó las etapas de preparación de la mezcla, pasteurización a 85-90 °C durante 5-10 min y enfriamiento hasta 42-45 °C. La inoculación del cultivo activo se realizó al 2 % (v/v) con respecto al volumen de leche. La fermentación se llevó a cabo a 42-45 °C hasta alcanzar un pH de 4,2. Una vez alcanzado este valor de pH, se procedió a la ruptura del coágulo mediante agitación manual; posteriormente, la bebida se envasó y se almacenó a 2-4 °C hasta la ejecución de los análisis (Figura 1).

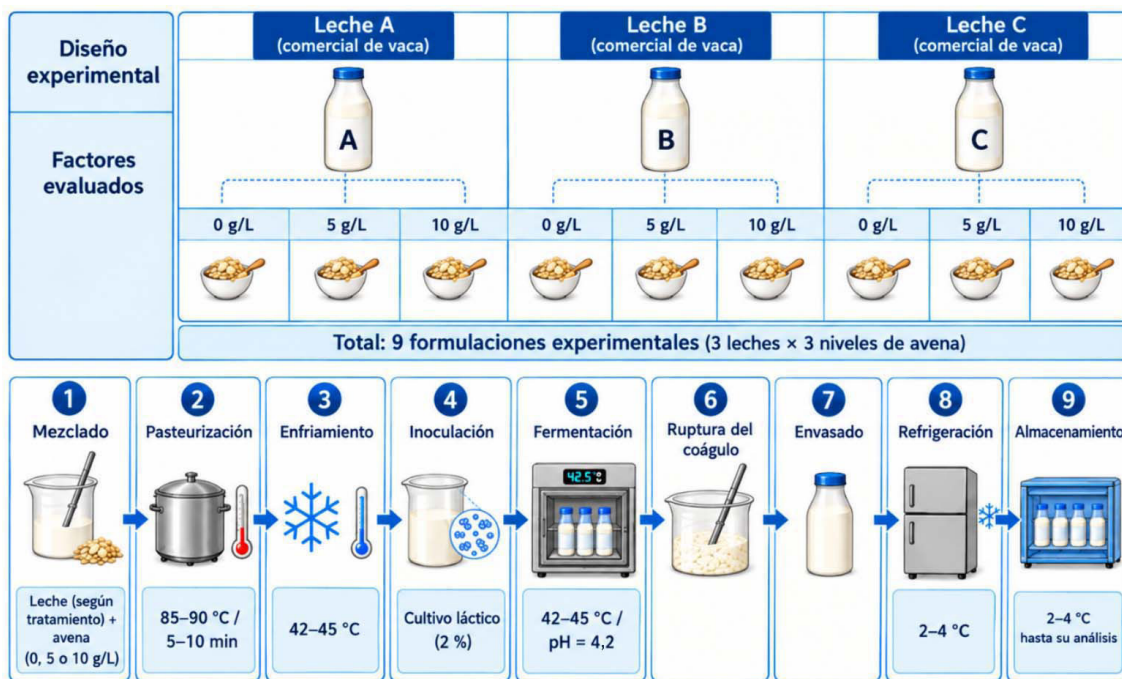


Figura 1. Diagrama experimental para la elaboración de bebidas fermentadas a partir de tres tipos de leche comercial y diferentes niveles de avena (*Avena sativa* L.) en Xalapa, Veracruz, México, octubre-diciembre de 2025.

Figure 1. Experimental diagram for the production of fermented beverages from three types of commercial milk and different levels of oat (*Avena sativa* L.) in Xalapa, Veracruz, Mexico, October–December 2025.

Determinaciones fisicoquímicas

En las materias primas se determinaron densidad, contenido de grasa, pH, sólidos disueltos totales (TDS) y sólidos no grasos (SNG). La densidad se determinó a 15 °C con un lactodensímetro graduado (rango de 1,0235 a 1,035 con un error de precisión de 0,0005 g/mL) y el contenido de grasa se cuantificó mediante el método de Gerber y se expresó como porcentaje conforme a la NOM-155-SCFI-2012 (Secretaría de Economía, 2012). El pH se midió con un potenciómetro digital con resolución de 0,01 unidades de pH.

Los TDS se determinaron de forma indirecta mediante un medidor digital de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, con una resolución de 1 mg/L. El equipo estimó los TDS a partir de la conductividad eléctrica y contó con compensación automática de temperatura. La calibración del conductímetro se realizó conforme a las indicaciones del fabricante y los resultados se expresaron en mg/L (Anika et al., 2023; Ray et al., 2026).

Los SNG se expresaron como porcentaje y se estimaron mediante la fórmula de Richmond (Ecuación 1) (Ullah et al., 2023). En las bebidas fermentadas se determinaron el pH y los sólidos disueltos totales mediante los procedimientos descritos anteriormente. Todas las determinaciones fisicoquímicas se realizaron por triplicado como mediciones técnicas de cada lote experimental. Los tres valores obtenidos para cada determinación se promediaron dentro de cada lote y el promedio se consideró la observación correspondiente a la unidad experimental para los análisis estadísticos.

$$\% SNG = (Densidad - 1) \times \frac{1000}{4} + 0,20 \times \% G + 0,14 \quad (1)$$

Donde: *SNG* = sólidos no grasos (%), *Densidad* = densidad de la leche (g/mL) y *G* = contenido de grasa (% m-v).

Evaluación sensorial

La aceptación sensorial de las bebidas fermentadas se determinó mediante una prueba afectiva aplicada a un panel de 20 consumidores, con edades entre 27 y 55 años, seleccionados aleatoriamente a partir de una población de consumidores potenciales. Todos fueron informados sobre la naturaleza del estudio y participaron de manera voluntaria. Se excluyeron las personas con intolerancia a la lactosa o con alguna otra condición asociada al consumo de productos lácteos. Los participantes calificaron el nivel de agrado de los atributos de aspecto, olor, sabor, textura, viscosidad y aceptación global mediante una escala hedónica estructurada de cinco puntos, donde 1 correspondió a “muy desagradable/menor aceptación” y 5 a “muy agradable/mayor aceptación”. Cada lote experimental se evaluó de forma independiente.

La variabilidad asociada a los consumidores no pudo controlarse experimentalmente, debido a que la composición de los paneles varió parcialmente entre las sesiones. Algunos consumidores participaron en más de una sesión, mientras que otros evaluaron únicamente determinados lotes experimentales. Debido a esta variación en la composición de los paneles, los consumidores no se consideraron un factor de bloqueo en el diseño experimental. Esta condición pudo introducir variabilidad adicional asociada a diferencias individuales en las preferencias y los criterios de evaluación, la cual se incorporó al error experimental.

La variable respuesta principal fue la aceptación sensorial global. Para evitar la pseudorreplicación, las calificaciones individuales de los consumidores se promediaron dentro de cada lote experimental, dado que la unidad experimental correspondió al lote elaborado de forma independiente y no a cada consumidor individual (Hurlbert, 1984; Lazic, 2022). Las medias de aceptación obtenidas para cada lote se utilizaron como variable respuesta en los análisis estadísticos posteriores. Los promedios de las escalas hedónicas pueden analizarse mediante métodos paramétricos cuando se cumplen los supuestos del modelo y el diseño es balanceado (Montgomery, 2019; Tipanquiza Rubio, 2023).

Antes de la aplicación definitiva, el cuestionario sensorial se sometió a una prueba piloto con 20 consumidores para evaluar su claridad y comprensión (International Organization for Standardization, 2020). La consistencia interna del instrumento se evaluó mediante el coeficiente alfa de Cronbach, con un valor de $\alpha = 0,757$. Este valor se consideró adecuado para escalas hedónicas ordinales aplicadas en estudios experimentales con consumidores (García-García et al., 2025; Setyaedhi, 2024).

Análisis estadísticos

Los datos se procesaron mediante IBM SPSS Statistics, versión 25. La estructura multivariada de las variables fisicoquímicas estandarizadas se evaluó mediante un análisis de componentes principales (ACP). La variable SNG no se incluyó porque se obtuvo a partir de una relación matemática entre la densidad y el contenido de grasa, lo que podría introducir redundancia en la matriz de correlaciones (Montgomery, 2019; Tikka et al., 2024). La adecuación de los datos para el ACP se verificó mediante el índice de Kaiser-Meyer-Olkin ($KMO = 0,783$) y la prueba de esfericidad de Bartlett ($p < 0,001$) (Hair et al., 2019). Se identificó un único componente con autovalor superior a 1, por lo cual no se aplicó rotación factorial (Backhaus et al., 2025).

El índice fisicoquímico (Índice_QF) correspondió a las puntuaciones factoriales obtenidas para el primer componente principal (Byeon et al., 2024). Las diferencias en el Índice_QF entre los tipos de leche se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía. La homogeneidad de las varianzas se comprobó mediante la prueba de Levene ($p = 0,109$), mientras que la prueba de Shapiro-Wilk indicó que los residuos no se ajustaron a una distribución normal ($p = 0,032$). No obstante, se utilizó el ANDEVA debido a la robustez del método en diseños balanceados con homocedasticidad (Blanca et al., 2023; Montgomery, 2019).

El efecto del tipo de leche, del nivel de avena y de su interacción en la aceptación sensorial se evaluó mediante un ANDEVA factorial de dos vías bajo un modelo lineal general. Se evaluaron la normalidad de los residuos y la homogeneidad de las varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk ($p = 0,401$) y Levene ($p = 0,665$), respectivamente. Cuando se detectaron diferencias significativas, se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). El análisis consideró los efectos principales de cada factor y su interacción (tipo de leche $\times$ nivel de avena). El modelo estadístico se expresó mediante la Ecuación 2:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + A_j + (L \times A)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

Donde: Y_{ijk} representa la puntuación promedio de aceptación sensorial de la bebida correspondiente al i -ésimo tipo de leche, j -ésimo nivel de avena y k -ésima réplica; μ es la media general; L_i representa el efecto del i -ésimo tipo de leche; A_j es el efecto del j -ésimo nivel de avena; $(L \times A)_{ij}$ corresponde al efecto de interacción entre ambos factores; y ε_{ijk} representa el error experimental aleatorio. Los subíndices corresponden a $i = 1, 2, 3$, para los tipos de leche; $j = 1, 2, 3$, para los niveles de avena; y $k = 1, 2, 3, 4, 5$, para las réplicas experimentales.

Se aplicó un análisis de correlación de Spearman para examinar la relación entre los atributos sensoriales y entre las variables fisicoquímicas de la bebida fermentada y la aceptación global del producto. En el análisis se incluyeron las variables viscosidad, aspecto, olor, sabor, textura, pH, sólidos disueltos totales y aceptación sensorial. La significancia estadística se estableció en 0,05.

Resultados

Comparación fisicoquímica de las materias primas

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la densidad, el contenido de grasa, los sólidos no grasos, el pH y los sólidos disueltos totales entre las leches evaluadas (Cuadro 1). La leche B presentó los mayores valores de grasa (4,48 %) y sólidos disueltos totales (2863 mg/L). La leche C registró los menores valores de contenido de grasa (1,55 %) y de sólidos disueltos totales (1499 mg/L).

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de tres tipos de leche comercial utilizados para la elaboración de bebidas fermentadas en Xalapa, Veracruz, México, octubre-diciembre de 2025.

Table 1. Physicochemical characteristics of three types of commercial milk used for fermented beverage production in Xalapa, Veracruz, Mexico, October–December 2025.

Tipo de leche	Densidad (g/mL)	Contenido de grasa (%)	Sólidos no grasos (%)	pH	Sólidos disueltos totales (mg/L)
A	1,0318 (0,0003) ^b	2,45 (0,05) ^b	8,58 (0,09) ^a	6,75 (0,02) ^b	2274 (33) ^b
B	1,0308 (0,0002) ^a	4,48 (0,13) ^c	8,72 (0,07) ^b	6,24 (0,03) ^a	2863 (73) ^c
C	1,0329 (0,0002) ^c	1,55 (0,05) ^a	8,66 (0,06) ^b	6,92 (0,01) ^c	1499 (5) ^a

Los valores se expresan como media (desviación estándar). Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). / Values are expressed as mean (standard deviation). Different letters within the same column indicate significant differences according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$).

El ACP resumió la variabilidad conjunta de las variables fisicoquímicas en un único componente principal, que explicó el 96,025 % de la varianza total (Cuadro 2). El análisis se efectuó con 45 observaciones correspondientes a los 45 lotes experimentales ($n = 45$), a partir de los valores promedio de las determinaciones fisicoquímicas realizadas por triplicado. De acuerdo con el criterio de Kaiser, solo el primer componente presentó un autovalor superior a 1, por lo que se retuvo para representar la estructura de los datos. Los componentes restantes presentaron autovalores inferiores a 1.

Cuadro 2. Varianza explicada por los componentes principales de las variables fisicoquímicas de tres tipos de leche comercial utilizados en la elaboración de bebidas fermentadas en Xalapa, Veracruz, México, octubre-diciembre de 2025.

Table 2. Variance explained by the principal components of the physicochemical variables of three types of commercial milk used for fermented beverage production in Xalapa, Veracruz, Mexico, October–December 2025.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,841	96,025	96,025	3,841	96,025	96,025
2	0,117	2,931	98,956			
3	0,037	0,936	99,892			
4	0,004	0,108	100,000			

$n = 45$ observaciones. / $n = 45$ observations.

Las cargas factoriales y los coeficientes de puntuación del componente retenido se presentaron en el Cuadro 3. El componente principal presentó cargas positivas para el contenido de grasa y los sólidos disueltos totales, y cargas negativas para la densidad y el pH. Los coeficientes obtenidos permitieron construir el Índice_QF utilizado en los análisis posteriores. Los valores más altos del Índice_QF se asociaron con mayor contenido de grasa y menor densidad, y los valores más bajos, con menor contenido de grasa y mayor densidad. La leche B presentó el mayor contenido de grasa y la menor densidad, mientras que la leche C, la mayor densidad y el menor contenido de grasa.

El ANDEVA de una vía se realizó con 45 observaciones y mostró diferencias significativas en el Índice_QF entre los tipos de leche evaluados ($F(2, 42) = 3367,66$; $p < 0,001$). El tamaño del efecto asociado al tipo de leche fue elevado ($\eta^2p = 0,994$). La leche C mostró el valor medio más bajo ($-1,128$), la leche A presentó un valor intermedio ($-0,145$), y la leche B registró el valor más alto ($1,273$) (Figura 2).

Cuadro 3. Cargas factoriales y coeficientes de puntuación del componente principal retenido en el análisis de componentes principales de las variables fisicoquímicas de tres tipos de leche comercial utilizados en la elaboración de bebidas fermentadas en Xalapa, Veracruz, México, octubre-diciembre de 2025.

Table 3. Factor loadings and score coefficients of the retained principal component obtained from principal component analysis of physicochemical variables from three types of commercial milk used for fermented beverage production in Xalapa, Veracruz, Mexico, October–December 2025.

Variables	Carga factorial	Coefficiente de puntuación
Densidad	−0,968	−0,252
Contenido de grasa	0,989	0,257
pH	−0,981	−0,255
Sólidos disueltos totales	0,982	0,256

Las cargas factoriales representan la correlación entre las variables originales y el componente retenido. Los coeficientes de puntuación corresponden a los pesos utilizados para calcular el índice fisicoquímico (Índice_QF). / Factor loadings represent the correlation between the original variables and the retained component. Score coefficients correspond to the weights used to calculate the physicochemical index (Índice_QF).

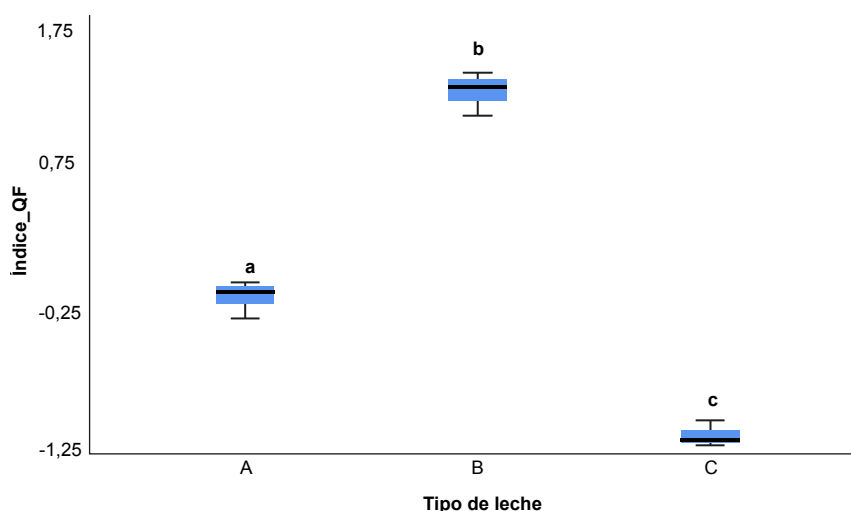


Figura 2. Distribución del índice fisicoquímico (Índice_QF) según el tipo de leche evaluado en Xalapa, Veracruz, México, octubre-diciembre de 2025.

Letras diferentes ubicadas sobre las cajas indican diferencias significativas entre los tipos de leche según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figure 2. Distribution of the physicochemical index (Índice_QF) according to the type of milk evaluated in Xalapa, Veracruz, Mexico, October–December 2025.

Different letters above the boxes indicate significant differences among milk types according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$).

Efecto del tipo de leche y del nivel de avena en la aceptación sensorial

El ANDEVA factorial mostró efectos significativos del tipo de leche ($F(2, 36) = 194,46; p < 0,001$), del nivel de avena ($F(2, 36) = 98,51; p < 0,001$) y de la interacción entre ambos factores ($F(4, 36) = 27,21; p < 0,001$) en la aceptación sensorial. Los valores de η^2p indicaron que el tipo de leche ($\eta^2p = 0,915$), el nivel de avena ($\eta^2p = 0,846$) y la interacción entre ambos factores ($\eta^2p = 0,751$) estuvieron asociados con una proporción elevada de la variación observada en la aceptación.

La prueba de Tukey mostró diferencias significativas entre los tres tipos de leche evaluados ($p < 0,001$). La bebida fermentada con la leche tipo C presentó las mayores puntuaciones de aceptación, seguida por la elaborada con la leche tipo B. La formulación con la leche tipo A registró las menores puntuaciones de aceptación (Figura 3).

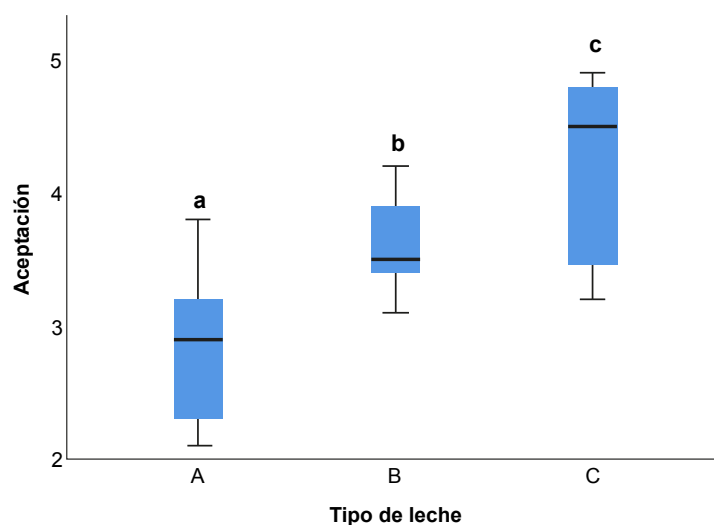


Figura 3. Distribución de la aceptación sensorial de bebidas fermentadas elaboradas con tres tipos de leche comercial (A, B y C) en Xalapa, Veracruz, México, octubre-diciembre de 2025.

Letras diferentes ubicadas sobre las cajas indican diferencias significativas entre los tipos de leche según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figure 3. Distribution of sensory acceptance of fermented beverages produced with three types of commercial milk (A, B, and C) in Xalapa, Veracruz, Mexico, October–December 2025.

Different letters above the boxes indicate significant differences among milk types according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$).

La prueba de Tukey para el nivel de avena mostró diferencias significativas entre los niveles evaluados ($p < 0,05$). La bebida fermentada elaborada con el nivel medio de avena presentó la mayor aceptación sensorial, mientras que el nivel bajo registró las menores puntuaciones. No se observaron diferencias significativas entre los niveles medio y alto de avena, aunque ambos presentaron puntuaciones de aceptación superiores a las del nivel bajo (Figura 4).

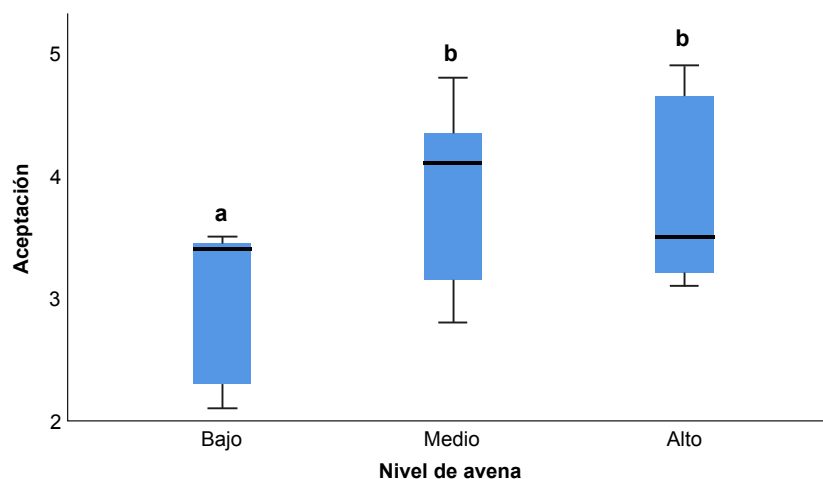


Figura 4. Distribución de la aceptación sensorial de bebidas fermentadas elaboradas con diferentes niveles de avena en Xalapa, Veracruz, México, octubre-diciembre de 2025.

Los niveles bajo, medio y alto corresponden a concentraciones de avena de 0, 5 y 10 g/L, respectivamente. Letras diferentes ubicadas sobre las cajas indican diferencias significativas entre los niveles de avena según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Figure 4. Distribution of sensory acceptance of fermented beverages produced with different oat levels in Xalapa, Veracruz, Mexico, October–December 2025.

The low, medium, and high levels correspond to oat concentrations of 0, 5, and 10 g/L, respectively. Different letters above the boxes indicate significant differences among oat levels according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$).

Interacción entre tipo de leche y nivel de avena

En las formulaciones elaboradas con leche C se observó un incremento progresivo de la aceptación sensorial a medida que aumentó el nivel de avena, con los valores más altos en los niveles medio y alto. Las bebidas elaboradas con leche A presentaron las puntuaciones más bajas en los tres niveles de avena evaluados. En varias de las combinaciones analizadas, el aumento del nivel de avena se asoció con mayores puntuaciones de aceptación sensorial (Figura 5).

Las formulaciones C-Medio ($4,60 \pm 0,26$) y C-Alto ($4,76 \pm 0,15$) presentaron las mayores puntuaciones de aceptación y no difirieron entre sí. La formulación A-Bajo presentó la puntuación media más baja ($2,20 \pm 0,10$). Las medias de aceptación siguieron la tendencia C-Alto = C-Medio > B-Medio > B-Bajo = A-Alto = C-Bajo > B-Alto = A-Medio > A-Bajo (Figura 6). Las restantes combinaciones se distribuyeron en grupos estadísticos intermedios definidos por la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Relación entre los atributos sensoriales y la aceptación de la bebida fermentada

Los resultados del análisis de correlación de Spearman entre los atributos sensoriales evaluados se presentan en la Figura 7. La aceptación mostró correlaciones fuertes con la viscosidad ($p = 0,87$) y la textura ($p = 0,70$). También se observaron correlaciones con el aspecto ($p = 0,59$) y el sabor ($p = 0,46$). Todas estas correlaciones fueron significativas ($p < 0,01$).

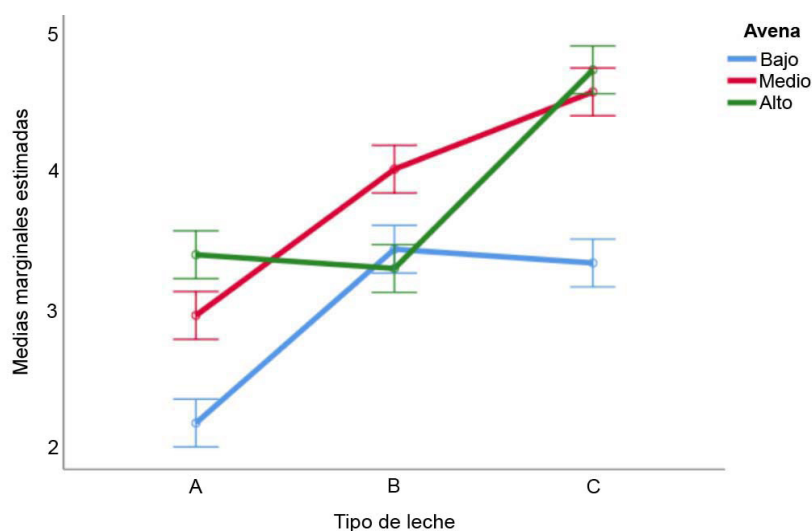


Figura 5. Efecto de la interacción entre el tipo de leche y el nivel de avena en la aceptación sensorial de bebidas fermentadas en Xalapa, Veracruz, México, octubre-diciembre de 2025.

Los puntos representan las medias marginales estimadas de aceptación sensorial para cada combinación de tipo de leche y nivel de avena. Las barras de error corresponden a intervalos de confianza del 95 %. Los niveles bajo, medio y alto corresponden a concentraciones de avena de 0, 5 y 10 g/L, respectivamente.

Figure 5. Interaction effect between milk type and oat level on sensory acceptance of fermented beverages in Xalapa, Veracruz, Mexico, October–December 2025.

Points represent estimated marginal means of sensory acceptance for each combination of milk type and oat level. Error bars correspond to 95 % confidence intervals. The low, medium, and high levels correspond to oat concentrations of 0, 5 and 10 g/L, respectively.

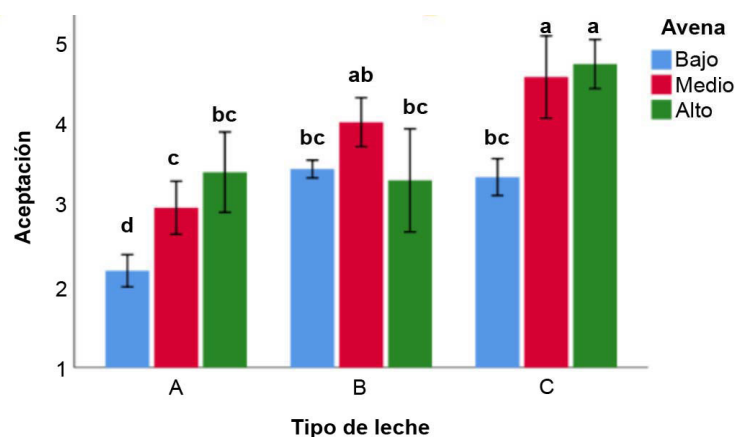


Figura 6. Efecto de la interacción entre el tipo de leche y el nivel de avena en la aceptación sensorial de bebidas fermentadas en Xalapa, Veracruz, México, octubre-diciembre de 2025.

Las barras representan la media $\pm$ la desviación estándar ($n = 5$). Letras diferentes ubicadas sobre las barras indican diferencias significativas entre las combinaciones de tipo de leche y nivel de avena según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Los niveles bajo, medio y alto corresponden a concentraciones de avena de 0, 5 y 10 g/L, respectivamente.

Figure 6. Interaction effect between milk type and oat level on sensory acceptance of fermented beverages in Xalapa, Veracruz, Mexico, October–December 2025.

Bars represent the mean $\pm$ standard deviation ($n = 5$). Different letters above the bars indicate significant differences among the combinations of milk type and oat level according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$). The low, medium, and high levels correspond to oat concentrations of 0, 5, and 10 g/L, respectively.

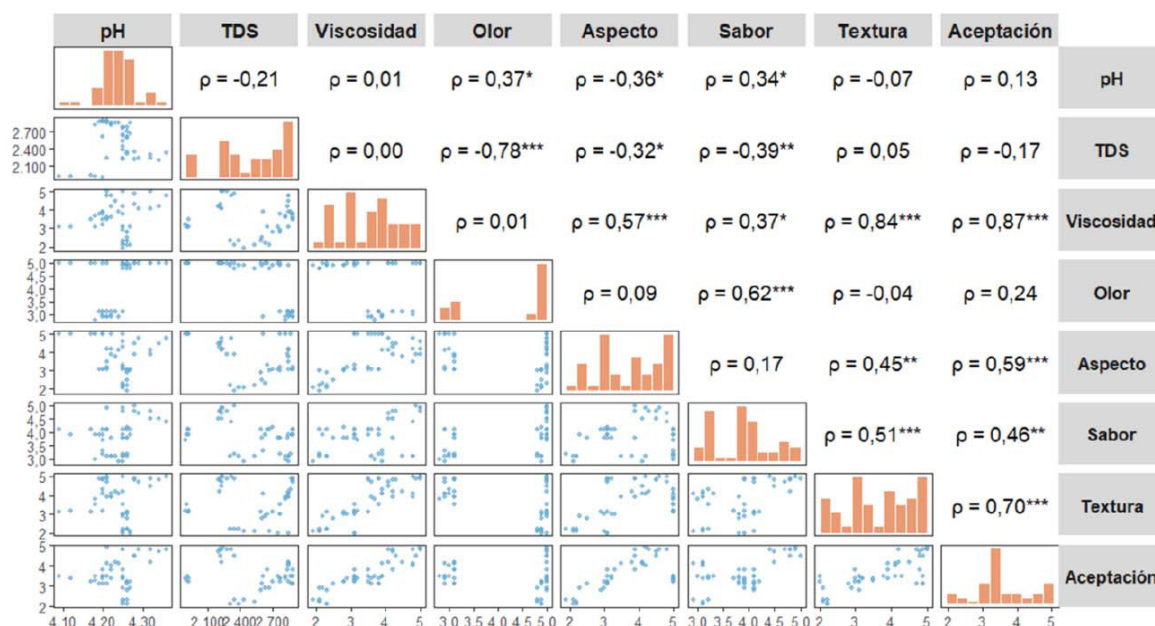


Figura 7. Relaciones entre las variables fisicoquímicas, los atributos sensoriales y la aceptación global de bebidas fermentadas elaboradas con diferentes tipos de leche y niveles de avena en Xalapa, Veracruz, México, octubre-diciembre de 2025.

Cada punto representa una observación experimental. Los asteriscos indican el nivel de significancia de las correlaciones: [* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$]. **TDS:** Sólidos disueltos totales de la bebida fermentada.

Figure 7. Relationships among physicochemical variables, sensory attributes, and overall acceptance of fermented beverages produced with different milk types and oat levels in Xalapa, Veracruz, Mexico, October–December 2025.

Each point represents an experimental observation. Asterisks indicate the significance level of the correlations: [* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$]. **TDS:** Total dissolved solids of the fermented beverage.

La viscosidad mostró correlación con la textura ($p = 0,84$; $p < 0,01$) y con el aspecto ($p = 0,57$; $p < 0,01$). El sabor presentó correlación con la textura ($p = 0,51$; $p < 0,01$) y con el olor ($p = 0,62$; $p < 0,01$). El olor no mostró correlación significativa con la aceptación ($p = 0,24$; $p = 0,113$). El pH y los TDS no mostraron correlaciones significativas con la aceptación global ni con las demás variables sensoriales ($p > 0,05$). La correlación de los TDS con el olor ($p = -0,78$; $p < 0,01$) no se consideró en la interpretación por corresponder a uno de los casos del cuarteto de Anscombe.

Discusión

La diferenciación observada entre las leches reflejó modificaciones simultáneas en múltiples componentes de la matriz láctea (Castellanos-Duarte et al., 2024). La concentración de la variabilidad fisicoquímica en un único componente principal indicó que las diferencias entre las materias primas obedecieron a un patrón composicional integrado. Este comportamiento resultó coherente con la naturaleza de la leche como un sistema coloidal complejo, en el que proteínas, lípidos, lactosa y minerales mantienen relaciones fisicoquímicas que afectan de forma conjunta propiedades como la densidad, el pH y el contenido de sólidos (Fontecha & Juárez, 2024; Pérez García, 2021). El análisis de componentes principales permitió sintetizar esta variabilidad y evidenciar diferencias globales entre los tipos de leche evaluados (Granato et al., 2018).

La composición de la leche pudo variar por factores asociados al sistema de producción, entre ellos la raza del ganado, la alimentación, las condiciones geográficas y la época del año (Cartuche et al., 2025). Estas fuentes de variación pueden sumarse a los procesos de estandarización industrial aplicados a las leches comerciales, los cuales pueden modificar el contenido de los componentes de la matriz láctea (Secretaría de Economía, 2012). Como consecuencia, las materias primas presentaron perfiles fisicoquímicos diferenciados con implicaciones para su comportamiento tecnológico. Estas variaciones en la composición fisicoquímica influyeron en los procesos de fermentación.

La relevancia tecnológica de estas diferencias se relaciona con el papel que desempeña la composición inicial de la leche durante la formación de productos fermentados. El contenido de grasa y de sólidos influye en la estructura del gel, la capacidad de retención de agua y las propiedades reológicas del sistema, factores que pueden repercutir posteriormente en la percepción sensorial del consumidor (Britos et al., 2025; Gupta et al., 2022; Montesdeoca Párraga et al., 2020). En consecuencia, las diferencias fisicoquímicas identificadas entre las materias primas pudieron contribuir a las variaciones observadas en la aceptación de las bebidas fermentadas.

La influencia simultánea del tipo de leche y del nivel de avena sugirió que la aceptación sensorial estuvo asociada con la interacción entre las características de la matriz láctea y los componentes aportados por el cereal. Este comportamiento indicó que la respuesta sensorial pudo estar relacionada con las características globales de la leche, más que con variables fisicoquímicas consideradas de forma aislada (Granato et al., 2018). La capacidad de la avena para modificar la textura y la viscosidad probablemente dependió de la composición de cada leche. Esta interpretación coincidió con lo reportado por Gupta et al. (2022), quienes señalaron que la aceptación de bebidas fermentadas se relacionó con la interacción entre la composición, las propiedades texturales y la percepción sensorial.

La mejora de la aceptación asociada a la incorporación de avena pudo explicarse por la presencia de β -glucanos y otros polisacáridos solubles con capacidad para modificar las propiedades reológicas de las matrices fermentadas (Bintsis & Papademas, 2022). Diversos estudios reportaron que estos compuestos incrementaron la viscosidad, favorecieron la estabilidad física y mejoraron la percepción de cuerpo en bebidas fermentadas (Bankole et al., 2023; Mykhalevych et al., 2022; Qu et al., 2021). Estas modificaciones pueden asociarse con percepciones sensoriales más favorables, debido a que generan productos con mayor consistencia y cremosidad.

La existencia de una interacción significativa entre el tipo de leche y el nivel de avena indicó que el efecto del nivel de avena sobre la aceptación sensorial dependió del tipo de leche utilizado. Las interacciones entre polisacáridos y proteínas pueden modificar la organización tridimensional del gel fermentado, con efectos variables según la composición del sistema (Anli et al., 2023; Qu et al., 2021; Sarantis et al., 2021). Esta posible dependencia estructural pudo contribuir a explicar por qué las formulaciones elaboradas con diferentes tipos de leche respondieron de manera distinta ante incrementos equivalentes en el nivel de avena.

La respuesta observada coincidió con investigaciones recientes que describieron mejoras sensoriales asociadas a la incorporación de avena en productos fermentados, aunque la magnitud del efecto dependió de la formulación empleada (Khrundin & Nikitina, 2024; Wulansari et al., 2023; Ziarno et al., 2025). La evidencia disponible indicó que concentraciones elevadas de β -glucanos pueden generar estructuras excesivamente densas y afectar negativamente algunos atributos sensoriales (Qu, 2021). Sin embargo, dentro del intervalo de avena evaluado en este estudio no se identificaron indicios de deterioro de la aceptación, lo que sugirió que las concentraciones utilizadas fueron compatibles con una respuesta sensorial favorable.

La estrecha relación observada entre aceptación, viscosidad y textura reveló que la percepción global del producto estuvo asociada principalmente con atributos relacionados con la consistencia y la sensación en boca. Este comportamiento podría indicar una mayor relevancia de las características asociadas con la estructura física del producto frente a los atributos aromáticos. Resultados similares se han descrito para yogures y otras leches fermentadas, en los que la textura constituye uno de los principales determinantes de la preferencia (Gupta et al., 2022; Mehta et al., 2023; Savaiano & Hutkins, 2021; Sukhova et al., 2020).

La asociación entre la viscosidad y la aceptación pudo explicarse por la influencia de la estructura del gel sobre la percepción de cremosidad y cuerpo. La organización de la red proteica determina propiedades mecánicas que el consumidor puede interpretar como atributos de calidad sensorial (Sukhova et al., 2020). Modificaciones relativamente pequeñas en estas propiedades pueden generar cambios apreciables en la aceptación del producto (Mehta et al., 2023).

La contribución de la avena a estos atributos resultó coherente con la capacidad de los β -glucanos para incrementar la viscosidad, la retención de agua y la consistencia, así como para estabilizar sistemas fermentados (Bankole et al., 2023; Wulansari et al., 2023). La interacción entre estos polisacáridos y las proteínas lácteas favorece la formación de estructuras más consistentes y homogéneas, lo que puede mejorar la percepción de textura y cremosidad (Mykhalevych et al., 2022; Sarantis et al., 2021; Zhao et al., 2023). Este mecanismo podría contribuir a explicar la fuerte asociación observada entre la textura, la viscosidad y la aceptación global.

La ausencia de correlaciones significativas del pH y de los sólidos disueltos totales con la aceptación global sugirió que estas variables no estuvieron directamente asociadas con ella. Aunque el pH y los sólidos disueltos totales influyen en características tecnológicas y de estabilidad de las bebidas fermentadas, su percepción directa por parte del consumidor suele ser limitada cuando los valores se encuentran dentro de rangos aceptables de consumo (Khrundin & Nikitina, 2024). El olor tampoco mostró una correlación significativa con la aceptación global en las condiciones evaluadas.

Una de las limitaciones del estudio fue no haber determinado instrumentalmente propiedades reológicas que pudieran relacionarse con la aceptación de las bebidas fermentadas enriquecidas con avena. La ausencia de determinaciones complementarias, como la acidez, el contenido de grasa y las características microbiológicas de las bebidas fermentadas, limitó la caracterización integral de los tratamientos. Estas limitaciones restringieron el alcance de la interpretación de los resultados. En futuras investigaciones, convendría complementar la evaluación sensorial con determinaciones de viscosidad, acidez, sólidos totales y viabilidad microbiana, así como evaluar la estabilidad de las bebidas durante el almacenamiento.

Otra limitación, desde el punto de vista estadístico, estuvo relacionada con la evaluación sensorial. Aunque cada lote fue evaluado por 20 consumidores, las calificaciones individuales se promediaron para evitar la pseudorreplicación. En consecuencia, el tamaño de muestra inferencial correspondió a cinco réplicas por tratamiento y no al número total de evaluaciones sensoriales realizadas. Este enfoque permitió mantener la independencia experimental, aunque redujo el tamaño efectivo de la muestra disponible para la inferencia estadística. A pesar de ello, se detectaron efectos significativos del tipo de leche, del nivel de avena y de su interacción. No obstante, la variabilidad asociada a las diferencias individuales entre consumidores no pudo estimarse de forma independiente debido a la composición variable de los paneles entre sesiones.

Conclusiones

El tipo de leche y el nivel de avena influyeron en la aceptación sensorial de las bebidas fermentadas, con una interacción significativa entre ambos factores. El efecto del nivel de avena sobre la aceptación dependió del tipo de leche empleado, por lo que las formulaciones presentaron respuestas sensoriales diferenciadas ante la incorporación de avena. La viscosidad y la textura mostraron las asociaciones más estrechas con la aceptación global del producto. Estos resultados evidenciaron que el tipo de leche y el nivel de avena deben considerarse de manera conjunta en la formulación de bebidas fermentadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los profesores de la Especialidad en Métodos Estadísticos de la Universidad Veracruzana por su asesoría durante el análisis e interpretación de los datos. Agradecen especialmente a Lisseth Valdés Monteagudo por su colaboración en la organización y ejecución de las evaluaciones sensoriales, y a quienes participaron voluntariamente en dichas evaluaciones.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses relacionados con este estudio.

Referencias

- Alongi, M., & Anese, M. (2021). Re-thinking functional food development through a holistic approach. *Journal of Functional Foods*, 81, Artículo 104466. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104466>
- Anika, T. T., Al Noman, Z., Rahman, A. K. M. A., Sultana, N., Ashraf, M. N., Pervin, M., Islam, M. A., Hossain, M. M., & Khan, M. A. H. N. A. (2023). Electrical conductivity and total dissolved solid of raw milk for the detection of bovine subclinical mastitis. *Veterinary World*, 16(12), 2521-2525. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.2521-2525>
- Anli, E. A., Gursel, A., Gursoy, A., & Mert, B. (2023). Assessment of the quality attributes of oat β -glucan fortified reduced-fat goat milk yogurt supported by microfluidization. *Foods*, 12(18), Artículo 3457. <https://doi.org/10.3390/foods12183457>
- Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R., & Weiber, T. (2025). *Multivariate analysis: an application-oriented introduction* (3.^a ed.). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-47931-2>
- Bankole, A. O., Ironi, E. A., Awoyale, W., & Ajani, E. O. (2023). Application of natural and modified additives in yogurt formulation: types, production, and rheological and nutraceutical benefits. *Frontiers in Nutrition*, 10, Artículo 1257439. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1257439>
- Baptista, N. T., Dessalles, R., Illner, A. K., Ville, P., Ribet, L., Anton, P. M., & Durand-Dubief, M. (2024). Harnessing the power of resistant starch: a narrative review of its health impact and processing challenges. *Frontiers in Nutrition*, 11, Artículo 1369950. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1369950>
- Bintsis, T., & Papademas, P. (2022). The evolution of fermented milks, from artisanal to industrial products: a critical review. *Fermentation*, 8(12), Artículo 679. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120679>
- Blanca, M. J., Arnau, J., García-Castro, F. J., Alarcón, R., & Bono, R. (2023). Non-normal data in repeated measures ANOVA: impact on Type I error and power. *Psicothema*, 35(1), 21-29. <https://doi.org/10.7334/psicothema2022.292>
- Britos, S., Katz, M., Flax-Marco, F., Torresani, M. E., & Vinderola, G. (2025). Impacto de la fermentación de la leche en las características microbiológicas, fisicoquímicas y nutricionales del yogur. *Actualización en Nutrición*, 26(1), 27-35. <https://doi.org/10.48061/SAN.2024.26.1.27>
- Byeon, Y. S., Oh, J., Ku, K.-H., Kim, M. J., & Kim, S. S. (2024). Physicochemical attributes related to sensory characteristics of long-term aged Korean traditional soy sauce (ganjang). *Foods*, 13(20), Artículo 3326. <https://doi.org/10.3390/foods13203326>

- Cartuche, L., Vallejo, E., Balarezo, E., & Cortez-Latorre, J. D. (2025). Relationship between geographic factors and milk composition in Holstein cows production in Ecuador. *Archivos de Zootecnia*, 74(286), 100-106. <https://doi.org/10.21071/az.v74i286.6008>
- Castellanos-Duarte, F. A., Esteban-Bautista, E. Y., & Castellanos-Solano, J. M. (2024). Calidad fisicoquímica y microbiológica de la leche cruda bovina en García Rovira, Santander: factores que limitan su viabilidad comercial. *Spei Domus*, 20(2), 1-20. <https://doi.org/10.16925/2382-4247.2024.02.02>
- Civille, G. V., Carr, B. T., & Osdoba, K. E. (2024). *Sensory evaluation techniques* (6.^a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003352082>
- Comisión del Codex Alimentarius. (2024). *Norma para leches fermentadas (CXS 243-2003)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Organización Mundial de la Salud. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B243-2003%252FCXS_243s.pdf
- Demir, H., Aydemir, L. Y., Özel, M. Ş., Koca, E., & Şimşek Aslanoğlu, M. (2023). Application of plant-based proteins for fortification of oat yogurt storage stability and bioactivity. *Journal of Food Science*, 88(20), 4079-4096. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16729>
- Djorgbenoo, R., Hu, J., Hu, C., & Sang, S. (2023). Fermented oats as a novel functional food. *Nutrients*, 15(16), Artículo 3521. <https://doi.org/10.3390/nu15163521>
- Fontecha, J., & Juárez, M. (2024). Tecnología para la producción de leches fermentadas. En Fundación Española de la Nutrición (Ed.), *Libro blanco de los lácteos* (pp. 52-57). Fundación Española de la Nutrición. <http://hdl.handle.net/10261/373132>
- García-García, J., Gil, M. Á., & Lubiano, M. A. (2025). On some properties of Cronbach's α coefficient for interval-valued data in questionnaires. *Advances in Data Analysis and Classification*, 19, 831-854. <https://doi.org/10.1007/s11634-024-00601-w>
- Granato, D., Santos, J. S., Escher, G. B., Ferreira, B. L., & Maggio, R. M. (2018). Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: a critical perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 72, 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.006>
- Gupta, M. K., Torrico, D. D., Ong, L., Gras, S. L., Dunshea, F. R., & Cottrell, J. J. (2022). Plant and dairy-based yogurts: a comparison of consumer sensory acceptability linked to textural analysis. *Foods*, 11(3), Artículo 463. <https://doi.org/10.3390/foods11030463>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8.^a ed.). Cengage.
- Hurlbert, S. H. (1984). Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54(2), 187-211. <https://doi.org/10.2307/1942661>
- International Organization for Standardization. (2020). *Sensory analysis — Methodology — General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area — Amendment 1* (ISO 11136:2014/Amd 1:2020). <https://www.iso.org/standard/73557.html>
- Jumbo Narváez, A. M., & Sinaluisa Sinaluisa, J. D. (2024). *Elaboración de una bebida fermentada de Avena sativa y Amaranthus usando granos de kéfir* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional ESPOCH. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/23338>

- Khrundin, D. V., & Nikitina, E. V. (2024). Chemical, textural and antioxidant properties of oat-fermented beverages with different starter lactic acid bacteria and pectin. *BioTech*, 13(4), Artículo 38. <https://doi.org/10.3390/biotech13040038>
- Lazic, S. E. (2022). Genuine replication and pseudoreplication. *Nature Reviews Methods Primers*, 2, Artículo 23. <https://doi.org/10.1038/s43586-022-00114-w>
- Li, X., Wu, Y., Duan, R., Yu, H., Liu, S., & Bao, Y. (2024). Research progress in the extraction, structural characteristics, bioactivity, and commercial applications of oat β -glucan: a review. *Foods*, 13(24), Artículo 4160. <https://doi.org/10.3390/foods13244160>
- Mehta, A., Kumar, L., Serventi, L., Schlich, P., & Torrico, D. D. (2023). Exploring the textural dynamics of dairy and plant-based yoghurts: a comprehensive study. *Food Research International*, 171, Artículo 113058. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113058>
- Montesdeoca Párraga, R. R., Piloso Chávez, K. J., Véliz Pinargote, C. G., & Álcivar Giler, C. W. (2020). Efecto de tipos de estabilizantes y porcentajes de grasa en las características fisicoquímicas de un yogur. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 10(2), 79-96. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v10i2.10555>
- Montgomery, D. C. (2019). *Design and analysis of experiments* (10.^a ed.). Wiley.
- Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Nassar, K., Osmak, T., & Buniowska-Olejnik, M. (2022). β -glucan as a techno-functional ingredient in dairy and milk-based products—a review. *Molecules*, 27(19), Artículo 6313. <https://doi.org/10.3390/molecules27196313>
- Osorio-Oviedo, A. A. (2019). Pruebas de análisis sensorial para el desarrollo de productos de cereales infantiles en Venezuela. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 13(2), 27-37. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21791.51361>
- Pérez García, A. (2021). *Caracterización de leches mediante ATR FT-IR combinado con técnicas quimiométricas* [Tesis de fin de grado, Universidad de Valladolid]. Repositorio Documental de la Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/48015>
- Qu, X. (2021). The impact of storage on the sensory, viscosity and chemical characteristics of yogurt fortified with oat β -glucan. *Animal Science and Food Technology*, 12(3), 96-104. <https://doi.org/10.31548/animal2021.03.009>
- Qu, X., Nazarenko, Y., Yang, W., Nie, Y., Zhang, Y., & Li, B. (2021). Effect of oat β -glucan on the rheological characteristics and microstructure of set-type yogurt. *Molecules*, 26(16), Artículo 4752. <https://doi.org/10.3390/molecules26164752>
- Radhakrishnan, M., & Rajan, A. (Eds.). (2025). *Engineering innovations in sensory science*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032724690>
- Ray, A., Sinha, C., Sharma, A. K., Khamrui, K. K., Hussain, S. A., Dabas, J. K., & Mohanty, T. K. (2026). AI-driven real-time monitoring and predictive control system for yoghurt fermentation. *Food Control*, 182, Artículo 111857. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111857>
- Risueño Nunes, J. L. (2024). *Asociación entre el consumo de leches fermentadas, como el yogur, enriquecidas con fibras dietéticas y la mejora de los indicadores metabólicos: revisión sistemática* [Trabajo de fin de grado, Universidad de Valladolid]. Repositorio Documental de la Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/69358>
- Rivero Chávez, C., Hernández Monzón, A., & Duarte García, C. (2023). Leche fermentada con ingredientes vegetales. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 32(3), 59-64. <https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/403>

- Rodríguez Sánchez, D. S. (2021). *Efecto de la adición de harinas no convencionales para la producción y enriquecimiento de bebidas fermentadas (yogurt)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional de Acceso Abierto de la Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33641>
- Sarantis, S. D., Eren, N. M., Kowalczyk, B., Jimenez-Flores, R., & Alvarez, V. B. (2021). Thermodynamic interactions of micellar casein and oat β -glucan in a model food system. *Food Hydrocolloids*, 115, Artículo 106559. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106559>
- Sarita, B., Samadhan, D., Hassan, M. Z., & Kovaleva, E. G. (2025). A comprehensive review of probiotics and human health-current prospective and applications. *Frontiers in Microbiology*, 15, Artículo 1487641. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1487641>
- Savaiano, D. A., & Hutkins, R. W. (2021). Yogurt, cultured fermented milk, and health: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 79(5), 599-614. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa013>
- Secretaría de Economía. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2012, leche-denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. <https://sidof.segob.gob.mx/notas/5254842>
- Setyaedhi, H. S. (2024). Comparative test of Cronbach's alpha reliability coefficient, KR-20, KR-21, and split-half method. *Journal of Education Research and Evaluation*, 8(1), 47-57. <https://doi.org/10.23887/jere.v8i1.68164>
- Singla, A., Gupta, O. P., Sagwal, V., Kumar, A., Patwa, N., Mohan, N., Ankush, Kumar, D., Vir, O., Singh, J., Kumar, L., Lal, C., & Singh, G. (2024). Beta-glucan as a soluble dietary fiber source: origins, biosynthesis, extraction, purification, structural characteristics, bioavailability, biofunctional attributes, industrial utilization, and global trade. *Nutrients*, 16(6), Artículo 900. <https://doi.org/10.3390/nu16060900>
- Son, J. K., Jo, Y. J., Jung, Y. J., Lee, Y. R., Lee, J., & Jeong, H. S. (2023). Fermentation and quality characteristics of yogurt treated with *Bifidobacterium longum*. *Nutrients*, 15(15), Artículo 3490. <https://doi.org/10.3390/nu15153490>
- Stone, H., & Bleibaum, R. N. (2025). History and importance of sensory science. En M. Radhakrishnan & A. Rajan (Eds.), *Engineering innovations in sensory science* (pp. 1-17). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032724690-1>
- Sukhova, I., Romanova, T., Korosteleva, L., Baimishev, R., & Dolgosheva, E. (2020). The effect of hydrated oatmeal on quality of the symbiotic fermented milk product. *BIO Web of Conferences*, 17, Artículo 00052. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700052>
- Tikka, S., Kopra, J., Heinäniemi, M., López-Pernas, S., & Saqr, M. (2024). Introductory statistics with R for educational researchers. En M. Saqr & S. López-Pernas (Eds.), *Learning analytics methods and tutorials* (pp. 121-150). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54464-4_5
- Tipanquiza Rubio, M. A. (2023). *Afectación de las pruebas de comparación de medias ante alteraciones de la homocedasticidad* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional ESPOCH. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b9793167-f5ec-40bf-8849-f1a316acb126/content>
- Ullah, I., Nasir, A., Kashif, M., Sikandar, A., Sajid, M., Adil, M., Rehman, A. U., Iqbal, M. U., & Ullah, H. (2023). Incidence of aflatoxin M₁ in cows' milk in Pakistan, effects on milk quality and evaluation of therapeutic management in dairy animals. *Veterinarni Medicina*, 68(6), 238-245. <https://doi.org/10.17221/18/2023-VETMED>

- Vinderola, G., Cotter, P. D., Freitas, M., Gueimonde, M., Holscher, H. D., Ruas-Madiedo, P., Salminen, S., Swanson, K. S., Sanders, M. E., & Cifelli, C. J. (2023). Fermented foods: a perspective on their role in delivering biotics. *Frontiers in Microbiology*, 14, Artículo 1196239. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1196239>
- World Health Organization. (2025, 25 de septiembre). *Noncommunicable diseases*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Wulansari, P. D., Widodo, Sunarti, & Nurliyani. (2023). Physicochemical, microbiological, and sensory evaluation of kefir produced from goat milk containing *Lactocaseibacillus casei* AP and/or oat milk during storage. *Food Science and Technology*, 43, Artículo e127322. <https://doi.org/10.5327/fst.127322>
- Yao, D., Sun, L.-C., Zhang, L.-J., Chen, Y.-L., Miao, S., Cao, M.-J., & Lin, D. (2024). Emulsion structural remodeling in milk and its gelling products: a review. *Gels*, 10(10), Artículo 671. <https://doi.org/10.3390/gels10100671>
- Zhao, P., Li, N., Chen, L., Guo, Y., Huang, Y., Tong, L., Wang, L., Fan, B., Wang, F., & Liu, L. (2023). Effects of oat β -glucan on the textural and sensory properties of low-fat set-type pea protein yogurt. *Molecules*, 28(7), Artículo 3067. <https://doi.org/10.3390/molecules28073067>
- Ziarno, M., Zaręba, D., Kowalska, E., & Florowski, T. (2025). The effect of varying oat beverage ratios on the characteristics of fermented dairy–oat beverages. *Applied Sciences*, 15(6), Artículo 3219. <https://doi.org/10.3390/app15063219>