

Artículo

# Monitoreo de la fermentación del yogurt griego mediante cartas de control $\bar{X}$ y R

## Monitoring of Greek yogurt fermentation using $\bar{X}$ and R control charts

Ofelia Alexandra Granda Morocho <sup>1\*</sup>, Luisa Gabriela González González <sup>2</sup>, Ana Lucia Guamán Guamán <sup>3</sup> y Edison Marcelo Mancheno Padilla <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Machala, Ecuador, Machala;  
<https://orcid.org/0000-0001-8850-8180>

<sup>2</sup> Instituto Superior Tecnológico Loja, Ecuador, Loja;  
<https://orcid.org/0000-0001-7356-5262>; [luisag37@gmail.com](mailto:luisag37@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo,  
<https://orcid.org/0009-0000-8730-6173>; [aguamang4@uteq.edu.ec](mailto:aguamang4@uteq.edu.ec)

<sup>4</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo,  
<https://orcid.org/0000-0002-5892-1799>; [emanchenop@uteq.edu.ec](mailto:emanchenop@uteq.edu.ec)

**Cita:** Granda Morocho, O. A., González González, L. G., Guamán Guamán, A. L., & Mancheno Padilla, E. M. (2026). Monitoreo de la fermentación del yogurt griego mediante cartas de control  $\bar{X}$  y R. *Horizon Nexus Journal*, 4(1), 112-124. <https://doi.org/10.70881/hnj/v4/n1/102>

\* **Correspondencia:** [ogranda@utmachala.edu.ec](mailto:ogranda@utmachala.edu.ec)

 <https://doi.org/10.70881/hnj/v4/n1/102>

**Recibido:** 20/11/2025  
**Revisado:** 28/12/2025  
**Aceptado:** 03/01/2026  
**Publicado:** 05/02/2026



**Copyright:** © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

**Resumen:** En esta investigación se estableció la calidad del yogurt griego mediante la medición de acidez titulable y pH, utilizando cartas de control  $\bar{X}$  y R para monitorear la estabilidad del proceso de fermentación. Se tomaron muestras durante 10 días seguidos y se midió la acidez para identificar cambios en la media y varianza entre lotes. Los resultados mostraron que en su mayoría el proceso se mantuvo dentro de control; por lo tanto, el proceso fue estable y se mantuvo en el tiempo. Pero hubo tres muestras (3, 5 y 9) que superaron el LCS, lo que indica que existen causas especiales de variación. Estos cambios pueden deberse a cambios en las condiciones de proceso, tales como temperatura, tiempo de incubación o cambios en la materia prima. En cuanto al rango (carta R), la dispersión de los datos fue pequeña en la mayoría de los lotes, lo que indicó poca variabilidad entre lotes. Sin embargo, en la muestra 9 se elevó el rango, lo que muestra que los valores de acidez son más variables en ese lote. Esto demostró que la fermentación en ese lote no fue homogénea y debe ser controlada para prevenir alteraciones en la calidad final.

**Palabras clave:** yogurt griego; acidez titulable; fermentación; cartas de control  $\bar{X}$  y R; control estadístico de procesos

**Abstract:** In this study, the quality of Greek yogurt was assessed by measuring titratable acidity and pH, using  $\bar{X}$  and R control charts to monitor the stability of the fermentation process. Samples were taken for 10 consecutive days, and acidity was measured to identify changes in the mean and variance between batches. The results showed that, for the most part, the process remained in control; therefore, it was stable and consistent over time. However, three samples (3, 5, and 9) exceeded the UCL, indicating that special causes of variation are present. These changes may be due to variations in process conditions, such as temperature, incubation time, or raw materials. Regarding the range (R chart), the data spread was small in most batches, indicating little variability among them. However, in sample 9 the

range increased, indicating that the acidity values are more variable in that batch. This demonstrated that fermentation in that batch was not uniform and must be controlled to prevent alterations in the final quality.

**Keywords:** greek yogurt; titratable acidity; fermentation;  $\bar{X}$  and R control charts; statistical process control

## 1. Introducción

El yogurt griego es un alimento fermentado lácteo que se vuelve cada vez más popular por su valor nutricional, su textura firme y los cambios bioquímicos que producen las bacterias ácido lácticas durante la fermentación, los cuales alteran la composición y las características sensoriales del producto final (Yang & Yoon, 2022). La fermentación del yogurt utiliza bacterias ácido lácticas, principalmente *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, que metabolizan la lactosa en ácido láctico, disminuyen el pH y permiten la coagulación proteica característica de los productos fermentados lácteos (Ichimura, 2024). Este descenso del pH también se relaciona estrechamente con aspectos de seguridad microbiana y vida útil del yogurt, además de influir en su textura y sabor (Li et al., 2025).

La acidez titulable y el pH son parámetros fisicoquímicos que permiten establecer la calidad del yogurt, ya que reflejan la producción de ácido láctico y el avance de la fermentación. La acidez titulable se determina mediante titulación ácido–base hasta un punto final predefinido y se utiliza de forma tradicional para controlar la fermentación y comparar la eficiencia de los cultivos iniciadores (Alvarado et al., 2025).

El control de calidad en productos lácteos fermentados no se basa únicamente en mediciones aisladas de parámetros fisicoquímicos, sino también en metodologías estadísticas que permiten evaluar la estabilidad y la variabilidad del proceso productivo. En este sentido, las cartas de control y otras herramientas de control estadístico de procesos se aplican en la industria alimentaria para dar seguimiento a tendencias y variaciones, y diferenciar entre variaciones aleatorias y variaciones por causas asignables (Lim, Antony, & Albliwi, 2014).

Además, la literatura científica indica que las condiciones de elaboración (tipo de leche, temperatura y tiempo de fermentación) determinan las características fisicoquímicas del yogurt. Estudios recientes demuestran que cambios en estos parámetros modifican la acidez, el pH y otras características finales que influyen en la textura y la aceptabilidad del consumidor (Hoxha, Evstatieva, & Nikolova, 2023). De igual manera, se investigan nuevas tecnologías para el monitoreo en tiempo real del pH y la acidez con el propósito de mejorar el control de procesos en la industria (Alvarado et al., 2025).

En este contexto, combinar mediciones fisicoquímicas relevantes (pH, acidez) con métodos estadísticos y procedimientos normalizados de control de calidad

contribuye a asegurar productos lácteos uniformes y seguros. Por ello, el presente trabajo plantea el uso de cartas de control  $\bar{X}$  y R como instrumento principal para analizar la estabilidad del proceso productivo del yogurt griego a partir de los cambios en la acidez titulable, fortaleciendo la gestión de la calidad en procesos fermentativos susceptibles.

## **2. Materiales y Métodos**

### **2.1 Establecer la calidad del yogurt mediante la medición de parámetros físico químicos.**

El yogurt griego es un alimento fermentado lácteo que se ha vuelto popular por su valor nutricional, su textura firme y los cambios bioquímicos que las bacterias ácido lácticas producen durante la fermentación, alterando la composición y las características sensoriales del producto final (Yang & Yoon, 2022).

La fermentación del yogurt utilizó bacterias ácido lácticas (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) que metabolizaron la lactosa en ácido láctico, disminuyendo el pH y permitiendo la coagulación proteica típica de los productos fermentados lácteos (Ichimura, 2024). Este descenso de pH también estuvo estrechamente relacionado con aspectos de seguridad microbiana y vida útil del yogurt, además de influir en su textura y sabor (Li et al., 2025).

#### **2.1.1 Medición de la acidez titulable y el pH**

La acidez titulable y el pH fueron parámetros fisicoquímicos que permitieron establecer la calidad del yogurt, ya que reflejaron la producción de ácido láctico y el progreso de la fermentación. La acidez titulable específica se midió por titulación ácido-base a un punto final predefinido y se usó tradicionalmente para controlar la fermentación y comparar la eficiencia de cultivos iniciadores (Alvarado et al., 2025).

### **2.2 Aplicar metodología estadística para el control de calidad del yogurt**

El control de calidad en productos lácteos fermentados no se basó únicamente en mediciones aisladas de parámetros fisicoquímicos, sino también en metodologías estadísticas para determinar la estabilidad y variabilidad del proceso productivo. Las cartas de control y otras herramientas de control estadístico de procesos se aplicaron en la industria alimentaria para hacer seguimiento a tendencias y variaciones y diferenciar entre variaciones aleatorias y variaciones por causas asignables (Lim, Antony & Albliwi, 2014).

### **2.3 Estudiar los efectos de las condiciones de elaboración en las características fisicoquímicas del yogurt**

La literatura científica informó que las condiciones de elaboración (tipo de leche, temperatura y tiempo de fermentación) determinaron las características fisicoquímicas del yogurt. Estudios recientes demostraron que cambios en estos

parámetros modificaron la acidez, los cambios de pH y otras características finales que influyeron en la textura y la aceptabilidad del consumidor (Hoxha, Evstatieva & Nikolova, 2023). También se investigaron nuevas tecnologías para el monitoreo en tiempo real de pH y acidez, con el objetivo de mejorar el control de procesos en la industria (Alvarado et al., 2025).

Finalmente, combinar mediciones fisicoquímicas de importancia (pH, acidez) con métodos estadísticos y procedimientos normalizados de control de calidad aseguró productos lácteos uniformes y seguros. En tal contexto, el presente trabajo planteó el uso de cartas de control  $\bar{X}$  y R como principal instrumento para analizar la estabilidad del proceso productivo de yogurt griego a partir de los cambios en la acidez titulable, reforzando la gestión de la calidad en procesos fermentativos susceptibles.

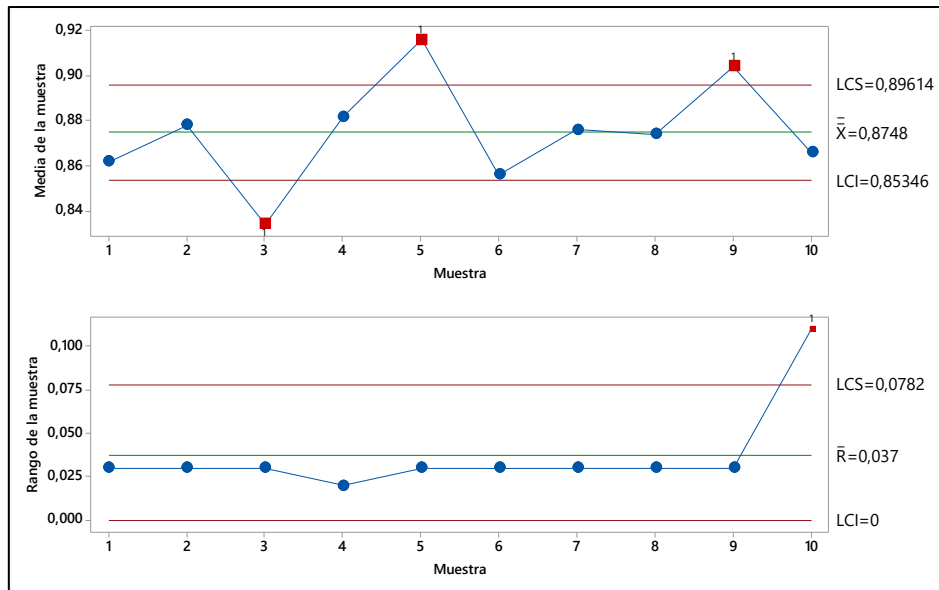
### 3. Resultados

#### 3.1 Análisis de la acidez titulable utilizando la carta de control $\bar{X}$ (media de la acidez titulable)

Se muestran los resultados de la medición de la acidez titulable durante la elaboración de yogurt griego, usando cartas de control  $\bar{X}$  y R para el seguimiento de la variabilidad y estabilidad del proceso de fermentación en diferentes lotes. En la gráfica se representa la media de la acidez de las muestras y la dispersión de los rangos de medición durante 10 días seguidos de producción. Se definieron límites superiores (LCS) e inferiores de control (LCI) para detectar cualquier desviación que señale irregularidades en el proceso de fermentación y, por ende, en la calidad del yogurt. Los resultados se muestran en la Figura 1, se pudieron observar dos puntos importantes del control de calidad en la elaboración del yogurt griego. En la carta  $\bar{X}$  (media de la acidez titulable), la media de la acidez se mantuvo generalmente dentro de los límites de control, a excepción de las muestras 3, 5 y 9, que superaron el límite superior de control (LCS). Estos puntos fuera de control sugirieron cambios en el proceso de fermentación, los cuales se pueden atribuir a cambios en las condiciones de operación, como la temperatura o el tiempo de incubación.

#### Figura 1.

Análisis de la acidez titulable del yogurt



### 3.2 Análisis de la variabilidad de la acidez titulable utilizando la carta de control R (rango de acidez titulable)

En la carta R (rango de acidez titulable), la dispersión de los datos fue pequeña en la mayoría de los subgrupos, lo que indicó poca variabilidad entre los lotes, sin embargo, en la muestra 9 aumentó el rango, lo que demostró mayor dispersión de los valores de acidez en ese lote de producción. Este comportamiento indicó que había fluctuaciones en la fermentación que debían ser controladas para prevenir alteraciones en la uniformidad del producto final.

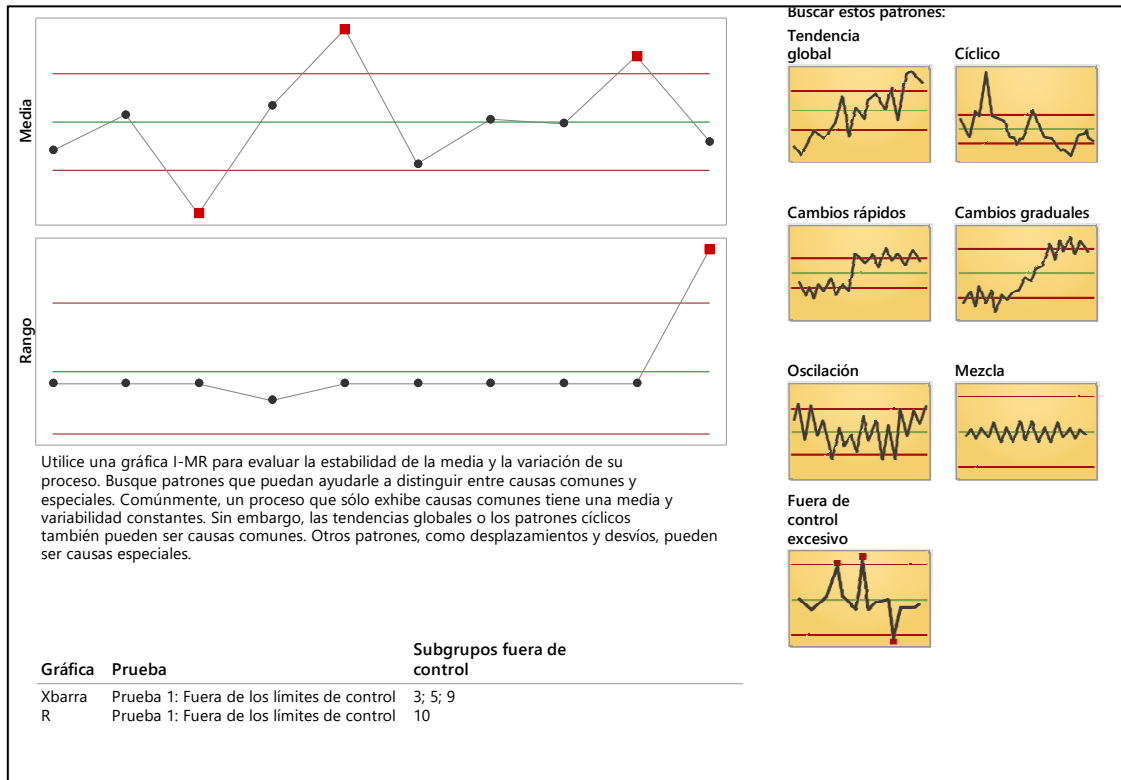
### 3.3 Informe de estabilidad del proceso y análisis de desviaciones fuera de control

En la Figura 2, la carta de control  $\bar{X}$ -R demostró que la media de la acidez titulable fue cambiando en los días de producción, con puntos fuera de control en las muestras 3, 5 y 10. Este comportamiento señaló que la fermentación sufrió fallos localizados que alteraron la acidez en relación a lo esperado, en el que probablemente fluctuaron las temperaturas o el tiempo real de fermentación en esos días. Puntos fuera de control indicaron la presencia de causas especiales de variación, es decir, factores inusuales que perturbaron el patrón normal del proceso.

En la carta R, la variabilidad intragrupo fue baja en general, lo que indicó consistencia entre las mediciones diarias; sin embargo, se observó mayor variabilidad en la muestra 5, lo que sugirió inconsistencias dentro del lote, posiblemente debido a problemas de fermentación o rendimiento de cultivos bacterianos. Todas estas señales fuera de control combinadas revelaron la presencia de causas especiales que debieron ser investigadas para mejorar la homogeneidad del producto final y garantizar la calidad del yogurt.

**Figura 2.**

**Informe de estabilidad del yogurt**



**3.4 Resumen y recomendaciones para mejorar la consistencia y calidad del yogurt**

En la figura 3 se observó que el proceso de elaboración del yogurt sufrió cambios, ya que 3 muestras (3, 5 y 7) salieron de los límites de control, demostrando que la media de la acidez titulable se desvió. Estos puntos fuera de control indicaron que en esos días hubo cambios en las condiciones de fermentación (temperatura, tiempo, etc.) que alteraron la acidez en relación a lo previsto.

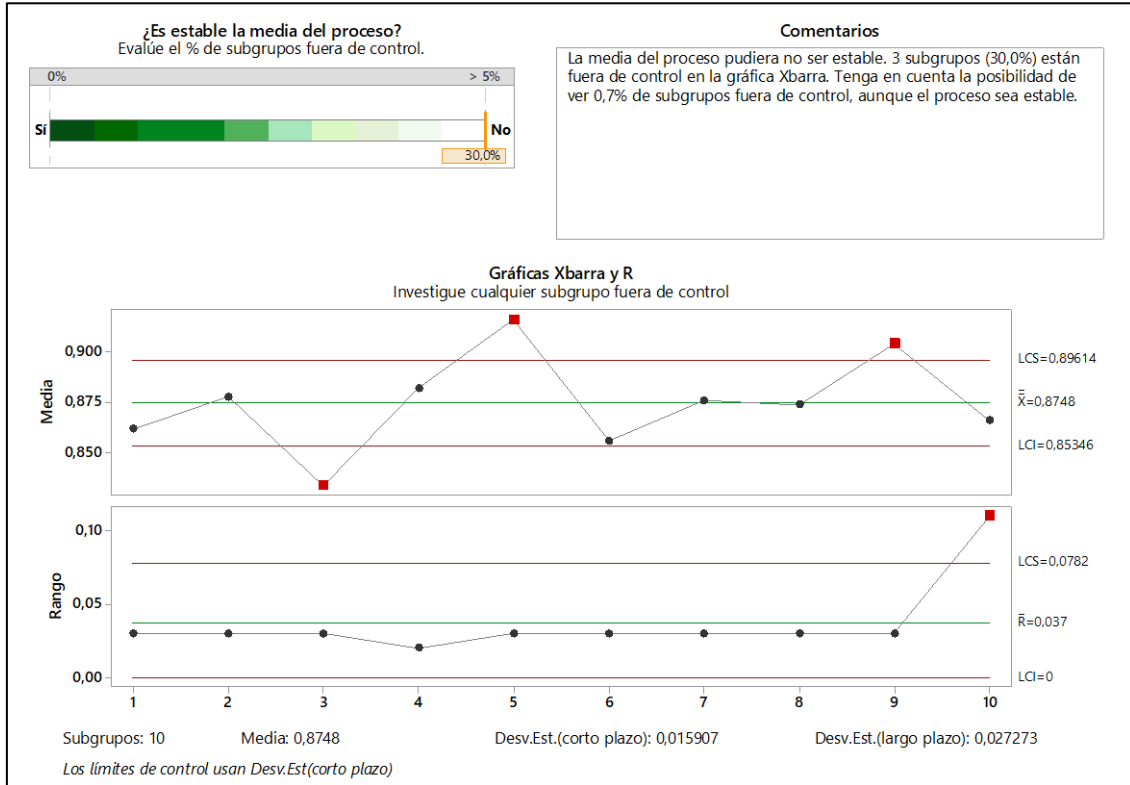
Además, en la figura se observó que la dispersión de la acidez fue mayor en las muestras 3 y 5, lo que indicó inconsistencias en la elaboración y sugirió irregularidades en el proceso de fermentación. En conjunto, estos resultados confirmaron que el proceso no se mantuvo totalmente estable en el tiempo y que era necesario analizar las condiciones particulares de los días en que se presentaron desviaciones. En el informe resumen también se señaló que el 30% de los subgrupos se halló fuera de control, lo que demostró que el proceso no se mantuvo estable en el tiempo.

Este resultado indicó que existían fuentes singulares de variación que debían ser localizadas e investigadas (cambios en el rendimiento de los cultivos bacterianos, diferencias en las condiciones de incubación, variables ambientales no controladas, etc.). Como resultado, se determinó que era necesario

estandarizar y controlar más el proceso de fermentación para disminuir la variabilidad entre lotes y mejorar la consistencia y la calidad del yogurt resultante.

**Figura 3.**

Control X-R para el análisis de acidez



### 3.5 Control de acidez y variabilidad con cartas $\bar{X}$ -R: Análisis de la efectividad del monitoreo





El informe señaló que la estabilidad del proceso no se garantizó, ya que el 30% de los subgrupos (muestras) se localizó fuera de los límites de control en la carta  $\bar{X}$ , lo que demostró cambios en la media de la acidez. Este comportamiento se relacionó con alteraciones en el proceso fermentativo, las cuales pueden ser provocadas por factores específicos, como cambios ambientales o fallas en el control y rendimiento de los cultivos bacterianos. Por lo tanto, fue necesario investigar qué elementos específicos causaron estas desviaciones.

Además, el informe advirtió que la cantidad de datos fue pequeña y esto puede haber influido en la exactitud de los límites de control estimados. Se sugirió utilizar al menos 70 puntos de datos para estimar límites con mayor confianza. La correlación encontrada ( $r = 0.6$ ) indicó una moderada relación en la manera en que fluctuaron las mediciones, pero no lo suficiente para establecer conclusiones definitivas sin aumentar el tamaño de la muestra. Finalmente, se sugirió comparar el proceso antes y después de los cambios a través de gráficas

de control para ajustar los límites, mejorar la interpretación y entender mejor el comportamiento de la fermentación.

**Figura 4.**

Control de acidez y variabilidad con cartas X-R

Verificar	Estado	Descripción
Estabilidad		La media y la variación del proceso pudieran no ser estables. 3 subgrupo (30,0%) está fuera de control en la gráfica Xbarra. 1 subgrupo (10,0%) está fuera de control en la gráfica R, lo cual podría afectar la validez de los límites de control en la gráfica Xbarra. Hay la posibilidad de que vea 0,7% de subgrupos fuera de control en la gráfica Xbarra y 0,5% de subgrupos fuera de control en la gráfica R, aunque el proceso sea estable. Debe investigar los subgrupos fuera de control y omitir de los cálculos aquellos con causas especiales.
Cantidad de datos		Es posible que usted no tenga suficientes datos para estimar límites de control precisos. Por lo menos 70 puntos de datos se deberían incluir en los cálculos.
Datos correlacionados		Hay un grado moderado de correlación ( $r = 0,6$ ) entre los puntos de datos consecutivos dentro de cada subgrupo. Usted puede ver un número mayor de falsas alarmas. Si usted tiene muchos subgrupos fuera de control, busque ayuda para corregir el problema. Seguir utilizando una gráfica de control que muestre señales con mucha frecuencia podría ser contraproducente debido a que es posible que una señal real se ignore y se considere "simplemente otra falsa alarma".
Gráficas alternativas		Esta gráfica sirve para supervisar el control del proceso. Si su principal objetivo es explorar sus datos o comparar su proceso antes y después de un cambio, utilice las Gráficas de control disponibles en Análisis gráfico o las Gráficas de control de antes/después.

## 4. Discusión

### 4.1 Comportamiento del proceso de fermentación y uso de cartas $\bar{X}$ -R

El comportamiento que se aprecia, con las medias dentro de los límites en general, pero con las muestras 3, 5 y 9 por encima del LCS, es típico de un proceso en control estadístico la mayor parte del tiempo, pero afectado por causas especiales en algunos días. En control estadístico, los puntos fuera de control en cartas tipo Shewhart indican cambios no aleatorios que exigen revisar las variables del proceso (tiempo/temperatura de incubación, dosis del cultivo, condiciones de enfriamiento/almacenamiento). Esta razón apoya la utilización de cartas  $\bar{X}$ -R como un indicador temprano de inestabilidad (Sałaciński et al., 2023).

### 4.2 Causas especiales detectadas en la carta $\bar{X}$

En la carta  $\bar{X}$ , los sobrepasos del LCS (muestras 3, 5 y 9) señalan causas especiales en relación con alteraciones puntuales de la cinética de fermentación (desviaciones de temperatura, tiempo efectivo de incubación, dosis/estado del cultivo o modificaciones en la composición de la leche). Esta variación concuerda con la evidencia actual de que la acidificación del yogurt se puede acelerar o alterar por cambios en las condiciones del proceso e intervenciones tecnológicas que alteran la actividad metabólica de las bacterias ácido-lácticas, generando pendientes de acidificación distintas entre lotes (Kim et al., 2025).

En el yogurt, la acidez titulable está determinada por la cinética de fermentación, el consorcio microbiano convierte la lactosa en ácido láctico y la velocidad de acidificación es muy sensible a la temperatura y a las condiciones del proceso. En ese caso, cuando la carta  $\bar{X}$  sobrepasa el LCS, una explicación técnicamente posible es una acidificación acelerada por fallos de temperatura o cambios en el

régimen de incubación. Esto coincide con estudios que simulan/controlan pH y acidez en fermentaciones y muestran cómo variables operacionales influyen en perfiles de acidificación (Alvarado et al., 2025).

Además, la acidificación y su persistencia en el tiempo dependen en gran medida de la ruta metabólica de los cultivos y su control (por ejemplo, desvío de piruvato, equilibrio redox, metabolismo de aminoácidos y ácidos grasos). Por lo cual, los picos de acidez en días específicos pueden deberse a alteraciones en: 1) potencia del cultivo (viabilidad/dosis), 2) temperatura efectiva del tanque, 3) tiempo real de incubación o 4) composición del sustrato (sólidos totales/proteína) (Pei et al., 2025).

### **4.3 Variabilidad observada en la carta R**

Para la carta R, la dispersión es pequeña en la mayoría de los subgrupos, pero aumentó en rango en la muestra 9, lo que sugiere que no sólo cambió el nivel promedio de acidez, sino también la uniformidad del lote (variación intralote). Las técnicas de monitoreo en tiempo real de fermentación revelan que los cambios en las condiciones de incubación y/o en la concentración de cultivo no solo influyen en el punto final, sino también en la reproducibilidad (por ejemplo, la cinética de gelificación relacionada con la fermentación) (Ramezani et al., 2021).

### **4.4 Herramientas de monitoreo en tiempo real y control del proceso**

En el control actual, medidas indirectas como la conductividad eléctrica o el color se correlacionan con el pH/acidez titulable y pueden revelar desviaciones intralote en un tiempo más temprano (Chopde et al., 2025). Cuando la carta  $\bar{X}$ -R tiene puntos fuera de control (muestras 3, 5 y 10), se fortalece la hipótesis de que hubo un cambio específico en el proceso en lugar de una variación aleatoria del sistema. En la fermentación de yogur, la estabilidad depende de la interacción de los microorganismos del cultivo y su actividad metabólica. Variaciones en la cantidad de inóculo o en la actividad del cultivo pueden modificar el curso de la acidificación y producir post-acidificación durante el almacenamiento. Y esto es relevante, ya que un lote puede "caer" por un pequeño cambio (dosis real para el cultivo, viabilidad, rehidratación, etc.) que desplace la acidez final y/o su dispersión (Ge et al., 2024).

### **4.5 Implicaciones del valor elevado de rango (R) en subgrupos**

Un valor elevado de rango (R) en un subgrupo dado es señal de inconsistencias (por ejemplo, mezcla insuficiente, gradientes térmicos, inoculación inconsistente o diferencias en el tiempo real de incubación entre unidades). Esta manera de leer se adapta a las maneras contemporáneas de control: las cartas no sólo "dicen si está bien o mal", sino que definen cuándo hay que aumentar el muestreo o cambiar el esquema de control ante los primeros signos (Sałaciński et al., 2023).

#### 4.6 Intervención planificada para mejorar la estabilidad del proceso

El informe indica que el 30% de los subgrupos fuera de control es una evidencia de que el proceso no es estable, es decir, que se repiten las causas especiales y no es un evento aislado. En el control estadístico moderno, esto exige una intervención planificada: definición de variables clave, procedimiento operativo estándar (SOP), control metrológico y refuerzo del plan de muestreo hasta restablecer la estabilidad (Sałaciński et al., 2023). Desde un punto de vista tecnológico, que la variabilidad sea mayor en ciertos subgrupos también es consistente con lo que ocurre cuando la fermentación y el almacenamiento no están controlados; el tiempo de fermentación y las condiciones de almacenamiento impactan la acidez (y otras características fisicoquímicas), creando oscilaciones entre días/lotos si estos parámetros "se mueven" en la práctica (Anwar et al., 2025).

Se nota que los datos eran limitados y que sería necesario aumentar la muestra para obtener límites más fuertes. Metodológicamente, con pocos datos, los límites se podían volver sensibles y dar falsos positivos o, por el contrario, no detectar cambios reales con suficiente potencia. La literatura actual de SPC (control estadístico de procesos) hace notar que en las primeras etapas de aprendizaje o en entornos cambiantes es preferible utilizar esquemas más adaptativos (ajuste de muestreo o de intervalos) o complementarlos con herramientas modernas para disminuir errores en la toma de decisiones (Sałaciński et al., 2023). Además, en fermentaciones a escala real se echan de menos herramientas de control que reduzcan la incertidumbre en los procesos. En ese sentido, han surgido métodos "no destructivos" o de monitoreo en tiempo real (por ejemplo, control instrumental de avance de fermentación) para homogeneizar y detectar desviaciones antes de que impacten en el producto final (Ramezani et al., 2021; Alvarado et al., 2025).

Los datos muestran que las cartas  $\bar{X}$ -R están detectando correctamente la inestabilidad verdadera del proceso. La controversia hace hincapié en que no se deben ajustar estadísticamente los puntos fuera de control, sino que se deben buscar las causas especiales que los provocan. Además, es importante fortalecer el control permanente del proceso para detectar y corregir cualquier desviación que pueda alterar la calidad del producto final (Ray et al., 2025; Minz et al., 2025).

#### 5. Conclusiones

El control estadístico de la acidez titulable del yogur griego usando cartas de control  $\bar{X}$  y R reveló patrones significativos en el proceso de fermentación. En general, la media de la acidez se mantuvo dentro de los límites de control, aunque hubo desviaciones en las muestras 3, 5 y 9, que sobrepasaron el límite superior de control (LCS). Esto sugirió la existencia de fuentes especiales de

variación, posiblemente debidas a cambios en las condiciones de operación (temperatura, tiempo de incubación, etc.) que desestabilizaron el proceso.

Para el rango (carta R), la dispersión de los datos fue pequeña en la mayoría de los casos, lo que demostró que la variabilidad entre lotes fue pequeña. Pero en la muestra 9, el rango se disparó, indicando que las mediciones de acidez en ese lote variaron mucho. Este comportamiento indicó cambios en la fermentación que deben ser controlados para prevenir alteraciones en la uniformidad del producto final.

En conclusión, las cartas  $\bar{X}$  y R fueron útiles para identificar desviaciones y variabilidad en el proceso productivo. Es recomendable controlar siempre parámetros importantes como la temperatura y el tiempo de fermentación, y analizar las causas de las desviaciones encontradas para mejorar la consistencia y el resultado del yogurt griego en las próximas elaboraciones.

**Contribución de los autores:** Conceptualización, A.L.G.G y L.G.G.G.; metodología, O.A.G.M.; análisis formal, L.G.G.G Y E.M.M.P.; investigación, O.A.G.M y L.G.G.G.; recursos, E.M.M.P y L.G.G.G.; redacción del borrador original, O.A.G.M y A.L.G.G.; redacción, revisión y edición, E.M.M.P y O.A.G.G.; visualización, A.L.G.G y L.G.G.G.; supervisión, O.A.G.M y E.M.M.P. Todas las autoras han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

**Financiamiento:** Esta investigación no ha recibido financiación externa

**Declaración de disponibilidad de datos:** Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: [ogranda@utmachala.edu.ec](mailto:ogranda@utmachala.edu.ec)

**Conflicto de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

### Referencias Bibliográficas

- Abdul Halim Lim, S., Antony, J., & Albliwi, S. (2017). A systematic review of statistical process control implementation in the food manufacturing industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, 28(1–2), 176–189. <https://doi.org/10.1080/14783363.2015.1050181>
- Alvarado, U., Tacuri, J., Coloma, A., Gallegos, E. R., Callo, H., Valencia-Sullca, C., Curasi Rafael, N., & Castillo, M. (2025). Development of a hybrid system based on the CIELAB colour space and artificial neural networks for monitoring pH and acidity during yogurt fermentation. *Dairy*, 6(4), 41. <https://doi.org/10.3390/dairy6040041>
- An M, Zhao Z, Zhao L, Yang J, Gao H, Zhang L, et al. Metabolic Modulation of Yogurt Fermentation Kinetics and Storage Stability by Lactobacillus-Starter Culture Interactions. *Foods* [Internet]. 22 de agosto de 2025;14(17):2935. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods14172935>

- Anwar, M., et al. (2025). *Influence of Fermentation Time and Storage Conditions on the Physicochemical Properties of Different Yogurt Varieties*. *Processes*, 13(3), 759. <https://doi.org/10.3390/pr13030759>
- Ayivi, R. D., & Ibrahim, S. A. (2022). *Lactic acid bacteria: An essential probiotic and starter culture for the production of yoghurt*. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(11), 7008–7025. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16076>
- Chanant C, Areepong Y, Sukparungsee S. On Designing a Moving Average-Range Control Chart for Enhancing a Process Variation Detection. *Applied Science And Engineering Progress* [Internet]. 9 de junio de 2023; Disponible en: <https://doi.org/10.14416/j.asep.2023.06.001>
- Chopde SS, Minz PS, Sinha C, Sharma AK, Kumari K, Hussain SA. Novel approach to monitor yoghurt fermentation process using selected color parameters. *Food Control* [Internet]. 9 de junio de 2025;178:111480. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111480>
- Ge, Y., Yu, X., Zhao, X., Liu, C., Li, T., Mu, S., Zhang, L., Chen, Z., Zhang, Z., Song, Z., Zhao, H., & Yao, S. (2024). Fermentation characteristics and postacidification of yogurt by *Streptococcus thermophilus* CICC 6038 and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* CICC 6047 at optimal inoculum ratio. *Journal of Dairy Science*, 107(1), 123–140. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23817>
- Hoxha, R., Evstatieva, Y., & Nikolova, D. (2023). Physicochemical, rheological, and sensory characteristics of yogurt fermented by lactic acid bacteria with probiotic potential and bioprotective properties. *Foods*, 12(13), 2552. <https://doi.org/10.3390/foods12132552>
- Ichimura, T. (2024). Yogurt production. In *Methods in Molecular Biology* (Vol. 2851, pp. 63–74). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-4096-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-4096-8_5)
- Kim YW, Shim JB, Kwon YJ, Park SH. Yogurt fermentation through ohmic heating and electrical conductivity based process monitoring. *Food Bioscience* [Internet]. 27 de febrero de 2025;66:106242. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106242>
- Li B, Ye L, Zhao Y, Liu Y, Chen Y, Zhang H. A comprehensive review of probiotic yogurt: nutritional modulation, flavor improvement, health benefits, and advances in processing techniques. *Agricultural Products Processing And Storage* [Internet]. 28 de julio de 2025;1(1). <https://doi.org/10.1007/s44462-025-00023-7>
- Lim, S. A. H., Antony, J., & Albliwi, S. (2014). Statistical process control in the food industry – A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 37, 137–151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.03.010>

- Minz, P. S., Chopde, S. S., Sinha, C., & Sharma, R. (2025). *Electrical characterisation of fermentation process from milk to yogurt and its correlation with pH and titratable acidity for monitoring purposes*. Journal of Food Science and Technology. <https://doi.org/10.1007/s13197-025-06504-8>
- Pei X, Jia S, Li D, Zhang N, Zhao W, Wang M, et al. Integrated multi-omics reveals niacin's regulatory mechanism in suppressing post-acidification to enhance yogurt stability. LWT [Internet]. 7 de junio de 2025b;227:118006. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118006>
- Ploskas, N., & Al Khalil, M. (2023). Statistical process control using control charts with variable sample sizes. *Processes*, 11(9), 2744. <https://doi.org/10.3390/pr11092744>
- Ramezani, M., Ferrentino, G., Morozova, K., & Scampicchio, M. (2021). *Multiple Light Scattering Measurements for Online Monitoring of Milk Fermentation*. *Foods*, 10(7), 1582. <https://doi.org/10.3390/foods10071582>
- Ray, A., Sinha, C., Sharma, A. K., Khamrui, K., Hussain, S. A., Dabas, J. K., & Mohanty, T. K. (2025). *AI-driven real-time monitoring and predictive control system for yoghurt fermentation*. *Food Control*. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111857>
- Salaciński, T., Chrzanowski, J., & Chmielewski, T. (2023). *Statistical Process Control Using Control Charts with Variable Parameters*. *Processes*, 11(9), 2744. <https://doi.org/10.3390/pr11092744>
- Santos, C., Raymundo, A., Moreira, J. B., & Prista, C. (2025). *Exploring the potential of lactic acid bacteria fermentation as a clean label alternative for use in yogurt production*. *Applied Sciences*, 15(5), 2686. <https://doi.org/10.3390/app15052686>
- Yang, S., Yan, D., Zou, Y., Mu, D., Li, X., Shi, H., ... Wu, J. (2021). Fermentation temperature affects yogurt quality: A metabolomics study. *Food Bioscience*, 42, 101104. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101104>
- Yang, S.-Y., & Yoon, K.-S. (2022). Effect of probiotic lactic acid bacteria (LAB) on the quality and safety of Greek yogurt. *Foods*, 11(23), 3799. <https://doi.org/10.3390/foods11233799>