



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS

MODALIDAD:

ARTÍCULO CIENTÍFICO

TEMA:

**EFFECTO DE LA ENZIMA TRANSGLUTAMINASA SOBRE LAS
PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL YOGUR ELABORADO CON
LECHE DESCREMADA DE VACA.**

AUTORA:

BEATRIZ MONSERRATE BAZURTO REYES

TUTOR:

JOSÉ LUIS COLOMA HUREL

2025 (1)

Manta 16 de septiembre de 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE ARTÍCULO CIENTÍFICO

Yo, Bazurto Reyes Beatriz Monserrate con número de cédula 131468841-5 estudiante de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías, declaro que todos los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación con el tema “Efecto de la enzima transglutaminasa sobre las propiedades fisicoquímicas del yogur elaborado con leche descremada de vaca” previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial, bajo la supervisión del tutor Ing. José Luis Coloma Hurel, PhD, son absolutamente originales, auténticos y personales a excepción de las citas, por lo que son de mi exclusiva responsabilidad.



Bazurto Reyes Beatriz Monserrate
C.I. 131468841-5

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Bazurto Reyes Beatriz Monserrate, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Agroindustrial período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 16 horas, cuyo tema del proyecto es "Efecto de la enzima transglutaminasa sobre las propiedades fisicoquímicas del yogur elaborado con leche descremada de vaca".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 06 de agosto de 2025.

Lo certifico,


PhD José Luis Coloma Hurel
Docente Tutor
Área: Agroindustria

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma física original.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado cuando el informe de similitud sea favorable y además las fases de la Unidad de Integración Curricular estén aprobadas.

AGRADECIMIENTOS

Quiero extender mis agradecimientos principalmente a Dios por nunca abandonarme en cada paso que doy en esta vida, quién es mi fuente de sabiduría y fortaleza, por guiarme en este camino académico y brindarme el entendimiento, la sabiduría y fuerza necesaria para alcanzar esta meta, él es quién me ha bendecido con la capacidad de aprender y sobrellevar los obstáculos manifestados en este camino. Sin Dios no somos nada y con gratitud en mi corazón, dedico este trabajo a él.

A mi familia le expreso un infinito agradecimiento por estar siempre a mi lado en cada parte de esta etapa, ya que nunca dejaron de confiar en mí y me brindaron su total apoyo incondicional siendo el pilar fundamental para poder lograr esta meta.

También quiero agradecer a mi profesor de guía de trabajo de titulación, el Doctor José Luis Coloma Hurel, quién ha estado pendiente desde el inicio de este trabajo guiándome con sus conocimientos, no me ha dejado sola, me ha enseñado mucho y agradezco su paciencia y compromiso con este proceso, sin duda ha sido un pilar fundamental para mí.

Quiero agradecer a mis amigos y compañeros que han hecho que este proceso sea más entretenido, sobrellevando cada obstáculo siendo un contante apoyo todos juntos. No puedo dejar de agradecer a los docentes que participaron en este proceso conmigo, cediendo sus conocimientos y buenos consejos, muchas gracias por su disponibilidad y colaboración.

DEDICATORIA

Dedicado a la memoria de mi abuelo el Sr. Pedro Reyes Martinez, quién siempre ocupó un lugar especial en mi corazón. Su amor, sabiduría y apoyo incondicional me acompañaron en cada paso de este camino, aunque ya no esté físicamente, su espíritu sigue guiándome y motivándome a alcanzar mis metas. Agradezco profundamente las enseñanzas y los momentos compartidos, que siempre llevaré conmigo, este logro en un homenaje a él y a todo lo que significó en mi vida.

Dedico con todo mi amor este trabajo a mi mamá cuyo amor y apoyo incondicional ha sido el pilar fundamental en mi vida, su sacrificio dedicación y enseñanza me han inspirado en perseguir mis sueños con determinación. Gracias por estar siempre a mi lado, animándome en los momentos más difíciles y celebrando mis logros. Este trabajo es tan suyo como mío y estoy profundamente agradecida por todo lo que has hecho por mí. Te quiero mucho.

A mi tío Pablo Reyes Velez quién ha estado a mi lado en cada etapa de mi vida asumiendo el rol de mi papá de una manera excepcional. Su amor, comprensión y confianza en mi han impulsado a seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes. Agradezco cada conversación, cada palabra de ánimo que me ofreció. Este logro también es suyo y me siento afortunada de decir que soy su hija y tenerlo presente en mi vida.

Este logro se lo dedico a mi Mami Estrella (abuelita) quien con su apoyo constante e incondicional ha estado a mi lado cada día recibíendome cuando llegaba de clases y atendiéndome con mucho amor y cariño. A mi hermano Reynaldo quién nunca dejó de creer en mí y siempre supo que podría cumplir con mi objetivo.

Con infinito cariño y amor le dedico este logro a mi tío Pedro Reyes Velez ya que él es quien me inspiró para poder llegar a esta meta siendo una persona a la cual admiro y respeto, espero que siempre se sienta orgulloso de mí.

Me gustaría también dedicar este logro a Ivan Espinales por ser el hombre y compañero que estuvo escuchándome, animándome y por recordándome siempre todo lo que soy capaz de lograr.

Efecto de la enzima transglutaminasa sobre las propiedades fisicoquímicas del yogur elaborado con leche descremada de vaca.

Effect of the enzyme transglutaminase on the physicochemical properties of low-fat natural yogurt made from cow's milk.

Bazurto Reyes Beatriz Monserrate, Coloma Hurel José Luis.

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías, Manta, Ecuador

Resumen: En este estudio se analizó el impacto de la enzima transglutaminasa (TGasa) sobre las propiedades fisicoquímicas del yogur natural elaborado a partir de leche descremada. Se planteó tres niveles de concentración enzimática (0%, 1% y 2%) y se observaron los cambios en viscosidad, sinéresis, acidez y contenido de proteínas en el transcurso de los 21 días de almacenamiento. Los resultados mostraron que la adición de TGasa optimizaron significativamente la viscosidad y aminoraron la sinéresis en comparación con el yogur sin tratamiento de enzima, asimilándose a las características de los yogures elaborados con leche entera. Respecto a la acidez y el contenido proteico, no presentaron diferencias estadísticamente relevantes, sosteniéndose dentro de los parámetros establecidos por la normativa nacional. Los resultados arrojados por los análisis nos indican que la TGasa es una enzima apta para fortalecer la textura y estabilidad del yogur descremado, lo que la convierte en una opción favorable para mejorar su calidad.

Palabras clave: Yogur, transglutaminasa, sinéresis, viscosidad.

Abstract: This study analyzed the impact of the enzyme transglutaminase (TGase) on the physicochemical properties of natural yogurt made from skim milk. Three enzyme concentration levels (0%, 1%, and 2%) were used, and changes in viscosity, syneresis, acidity, and protein content were observed over 21 days of storage. The results showed that the addition of TGase significantly optimized viscosity and reduced syneresis compared to yogurt without enzyme treatment, similar to the characteristics of yogurt made with whole milk. Regarding acidity and protein content, there were no statistically significant differences, remaining within the parameters established by national regulations. The results of the analyses indicate that TGase is an enzyme suitable for strengthening the texture and stability of skim yogurt, making it a favorable option for improving its quality.

Keywords: Yogurt, transglutaminase, syneresis, viscosity.

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por la salud y bienestar ha ido en aumento debido a este factor la industria ha decidido enfocarse en el desarrollo e innovación de productos con propiedades tecnológicas mejoradas y su vez costo reducidos. El uso de tecnologías que sean innovadoras puede ser la clave para alcanzar dicho objetivo (Aguilar-Zarate Pedro et al., 2012)

El yogur se describe como un derivado lácteo que es el producto de la leche coagulada obtenida por la fermentación láctica producida por la acción de las bacterias *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* (Babio et al., 2017). Durante la elaboración del yogurt es importante considerar dos aspectos sumamente importantes tales como las variaciones en la consistencia (viscosidad) y la capacidad de retención de agua (expulsión de suero), ya que estas son dos características sensoriales importantes para los consumidores.

Según (Khubber et al., 2021), la firmeza y la textura del yogur son fundamentales para su estabilidad y el gusto del consumidor; y encuentran constituidos por enlaces proteicos intercalados con glóbulos de grasa. A pH isoeléctrico, la gelificación de la caseína se fortalece mediante enlaces no covalentes (iónicos o electrostáticos e hidrofóbicos) con proteínas del suero y κ -caseína; mientras que los glóbulos grasos actúan como agentes enlazadores de proteínas y contribuye a la cremosidad y firmeza del yogur (Aguirre-Mandujano et al., 2009).

Contar con productos lácteos de excelente calidad se ha vuelto una de las prioridades fundamentales dentro del sector alimentario. Desde el punto de vista tecnológico, la

proporción adecuada de proteínas y grasas es muy importante, ya que favorece la obtención de características cualitativas adecuadas en los yogures (Costa et al., 2016). Sin embargo, el yogur presenta desafíos significativos relacionados con su calidad y consistencia.

La sinéresis es uno de los defectos físicos más difíciles de controlar durante la manufactura del yogur. Este fenómeno se debe fundamentalmente a una reorganización de la estructura gelificada, perdiendo la capacidad de retener la humedad que fue originalmente atrapada en el gel, mermando con esto el rendimiento. Tradicionalmente, la manera más fácil de mejorar los defectos en estas características es mediante el uso de estabilizantes como gomas, almidón modificado y pectinas. (Keogh & O'kenedy, 1998).

La transglutaminasa (TG) -Glutaminil-péptido gamma-Glutamil Transferasa- es una enzima extensamente presente en la naturaleza que se encuentra en tejidos animales, plantas y microorganismos (Daniela et al., 2020).

Cabe recalcar que las enzimas son utilizadas hace siglos para optimizar la textura, propiedades reológicas, apariencia y el valor nutricional de distintos alimentos, en donde la enzima transglutaminasa destaca. Según diversos estudios, en los últimos años esta enzima ha ido generando un gran interés en el campo de la industria de los alimentos siendo un ingrediente funcional para optimizar las propiedades tecnológicas de varios productos alimenticios sobre todo los que son a base de proteína, su habilidad única de modificar la funcionalidad de las proteínas cataliza la formación de entrecruzamientos covalentes entre las proteínas de la leche mediante una reacción de transferencia entre un grupo acilo y un grupo γ -carboxiamida de la unión

peptídica de residuos glutamina, lisina y aminos primarias (Vite et al., 2005).

La enzima transglutaminasa influiría en la formación de un gel más estable y con capacidad para conservar agua al poseer la capacidad de enlazar proteínas entre sí estableciendo enlaces intra e intermoleculares más resistentes (Lorenzen et al., 2002). Simultáneamente, se perfeccionaría la cremosidad y viscosidad del producto; así como un mayor equilibrio reológico durante el tiempo de almacenamiento (Mohamad Abdul Basir et al., 2012).

En un estudio hecho por (Gauche et al., 2009) se llegó a la conclusión que, si se sustituía una específica cantidad de leche por suero de leche y se adicionaba transglutaminasa, los yogures elaborados con esta enzima tenían menor sinéresis comparados con un yogur sin tratamiento enzimático.

En este contexto, el presente trabajo de investigación tiene como propósito fundamental evaluar la influencia de la enzima transglutaminasa en las características fisicoquímicas del yogur natural producido a partir de leche descremada de vaca.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en la ciudad de Manta. La leche utilizada fue obtenida de un supermercado de la ciudad de Manta de la marca “La Lechera”, mientras que la enzima transglutaminasa, con una actividad enzimática de 100 U/g, fue obtenida de la empresa Akersunder & WonderLand Herbs. Se trabajó con unidades experimentales de 500 ml.

Para la elaboración del yogur, se utilizó leche pasteurizada descremada “La Lechera” como materia prima. Previo a la elaboración del yogur se colocó la leche en tres lotes de 4

litros cada uno y se calentó hasta los 45°C. Una vez alcanzada esta temperatura, se añadió las cantidades de enzima en función del volumen de leche de acuerdo con lo estipulado en el cuadro de diseño experimental (Tabla 1) y se mantuvieron estas condiciones durante un tiempo de reacción de 60 minutos. Luego la enzima se desactivó con el aumento de temperatura hasta 80°C durante un tiempo de 2 minutos. Finalmente, se bajó la temperatura de la leche hasta 45°C, se agregó el cultivo láctico (50 ml de yogur natural por cada litro de leche), y se incubó la mezcla durante 6 horas a una temperatura de incubación entre 42 ± 1 °C. Una vez elaborado el yogur, se dejó reposar en refrigeración a 10°C por 3 horas.

2.1. Diseño experimental

2.1.1. Variables

2.1.1.1. Variables independientes

Factor A: Porcentaje (m/v) de enzima en la leche

- 0%
- 1%
- 2%

Factor B: tiempo de almacenamiento

- 0 días
- 7 días
- 14 días
- 21 días

2.1.1.2. Variables dependientes

- Viscosidad (mPa.s)
- Sinéresis (%)
- Contenido de Proteína (%)
- Acidez (%)

2.1.2. Tipo de diseño experimental

La presente investigación tuvo un diseño experimental bifactorial, completamente al azar. Donde el factor A corresponde al porcentaje de enzima transglutaminasa con 3 niveles, mientras que el factor B

correspondiente al tiempo de almacenamiento a 10°C con 4 niveles. Los análisis de viscosidad, capacidad de retención de agua y acidez se realizaron por triplicado mientras que el análisis de proteínas se realizó por duplicado.

A continuación, en la Tabla 1 se muestran los tratamientos realizados con las combinaciones de las variables de estudio.

Tabla 1. Formulación de los tratamientos

TRATAMIENTO	REPRESENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
T1	A1B1	0% de enzima transglutaminasa en el día 0.
T2	A1B2	0% de enzima transglutaminasa después de 7 días de almacenamiento.
T3	A1B3	0% de enzima transglutaminasa después de 14 días de almacenamiento.
T4	A1B4	0% de enzima transglutaminasa después de 21 días de almacenamiento.
T5	A2B1	1% de enzima transglutaminasa en el día 0.
T6	A2B2	1% de enzima transglutaminasa después de 7 días de almacenamiento.
T7	A2B3	1% de enzima transglutaminasa después de 14 días de almacenamiento.
T8	A2B4	1% de enzima transglutaminasa después de 21 días de almacenamiento.
T9	A3B1	2% de enzima transglutaminasa en el día 0.
T10	A3B2	2% de enzima transglutaminasa después de 7 días de almacenamiento.
T11	A3B3	2% de enzima transglutaminasa después de 14 días de almacenamiento.
T12	A3B4	2% de enzima transglutaminasa después de 21 días de almacenamiento.

2.2. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza al 5%. En caso de existir diferencia significativa entre las muestras se realizó un análisis de comparación de medidas de Tukey ($p < 0.05$). El análisis estadístico se realizó con la ayuda del software Infostat 2019.

2.3. Análisis fisicoquímicos

2.3.1. Viscosidad

Los valores de la viscosidad fueron obtenidos por medición directa a través de un

viscosímetro rotatorio digital CGOLDENWALL NDJ-5S por un tiempo aproximado de 3 minutos por cada muestra de 500 ml. Todos los análisis se realizaron con velocidad de rotación constante de 30 revoluciones por minuto (rpm).

2.3.2. Sinéresis

La sinéresis se evaluó mediante un método de centrifugación basado en el protocolo de (Jicheng Wang et al., 2010), con ciertas modificaciones. Para ello, se empleó una

centrífuga a 4000 rpm durante 30 minutos, utilizando 15 gramos de muestra a 10°C. El líquido sobrenadante fue recolectado, pesado, y la sinéresis se estimó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Sinéresis (\%)} = \frac{W_c}{W_i} \times 100$$

En donde:

- W_c : es el peso del sobrenadante
- W_i : es el peso de la muestra.

2.3.3. Proteína

El contenido de proteína fue medido mediante el método de Kjeldahl siguiendo la metodología de la AOAC Ed. 22, 2023; 2001.11 NTE INEN 465: 1980.

2.3.4. Acidez

Se determinó la acidez de acuerdo con la norma INEN 013. Se colocó 10 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer con 3 gotas de solución etanólica de fenolftaleína al 1%. Se tituló la muestra con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N hasta que el color cambió a rosa pálido. Finalmente se calculó el porcentaje de acidez mediante la Ecuación 2:

$$\text{Acidez (\%)} = \frac{V * N * 0.090 * 100}{M}$$

En donde:

- V: Volumen de solución de hidróxido de sodio 0.1 N gastado en la titulación de la muestra, en ml.
- N: = Normalidad de la solución de hidróxido de sodio.
- M: Volumen de la muestra, en ml.
- 0.090: Miliequivalentes del ácido láctico

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. Viscosidad

En la tabla 2 se observan los resultados obtenidos en la determinación de viscosidad para los diferentes tiempos de almacenamiento. Se observó un aumento progresivo de la viscosidad en todos los tratamientos. Sin embargo, los valores observados en el yogur sin tratamiento enzimático son considerablemente más bajos que los obtenidos con 1% y 2% de TGasa en todos los tiempos evaluados ($p < 0,05$). (García-Gómez et al., 2020) reportaron un mayor índice de viscosidad en yogur elaborado con leche descremada y TGasa en comparación con muestras de yogur comerciales bajas en grasa. En el yogur puede existir un amplio rango de viscosidades dependiendo del tipo de leche; la viscosidad de un yogur comercial elaborado con leche entera fue 1847.63 ± 17.93 mPa.s y un yogur comercial elaborado con leche descremada fue 1351.40 ± 45.00 mPa.s. A diferencia de los dos tipos de yogures mencionados anteriormente, la viscosidad del yogur griego es muy superior a la de un yogur con leche entera y leche descremada con viscosidades entre 70900 – 71400 mPa.s (Yang & Yoon, 2022). El proceso de elaboración del yogur y la presencia de ingredientes funcionales, es congruente con los resultados obtenidos para la muestra control (Rima Joon et al., 2017); (Mendoza Mendoza, 2021). Varios estudios preliminares han demostrado la efectividad de la TGasa para incrementar la viscosidad del yogur debido a las caseínas altamente al entrecruzadas presentes en el producto (Osullivan et al., 2002); (Sanli et al., 2011); (Guyot & Kulozik, 2011). El tratamiento con 1% de TGasa presentó valores de viscosidad significativamente diferentes ($p < 0.05$) que variaron entre 1484.60 ± 96.21 al día cero y

1920.63 ± 265.39 al día 21. Igual tendencia se observó en el tratamiento con 2% TGasa. El incremento pronunciado en la viscosidad del yogur con tratamiento enzimático se puede explicar por la estabilización del gel debido a que los enlaces covalentes formados entre la κ-caseína y la β-lactoglobulina forman asociación las proteínas del suero debido a la acción de la TGasa (Fuentes, 2017). En general, los yogures elaborados

con leche descremada y tratados con TGasa incrementaron su viscosidad, obteniéndose viscosidades similares a las observadas en yogures comerciales elaborados con leche entera, sin usar ningún espesante o aditivo que incremente la viscosidad, el cual es un factor importante en la decisión de compra de los consumidores.

Tabla 2. Viscosidad del yogur (mPa.s) tratado con diferentes concentraciones de TGasa durante 21 días de almacenamiento a 10°C.

DIA	0% TGasa.	1% TGasa.	2% TGasa.
0	154,20 ± 1,74 Aa	1484,60 ± 96,21 Ab	1684,77 ± 99,52 Bc
7	221,40 ± 8,29 Ba	1364,37 ± 173,17 Ab	1351,93 ± 70,56 Ab
14	219,70 ± 21,41 Ba	1635,07 ± 216,10 Bb	1762,10 ± 137,22 Bb
21	225,47 ± 1,53 Ba	1920,63 ± 265,39 Cb	2229,60 ± 276,37 Cb

Los valores son medias de 3 réplicas.

Letras mayúsculas distintas en columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), en un tratamiento para los diferentes tiempos.

Letras minúsculas distintas en columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), en los tratamientos para un mismo tiempo.

b. Sinéresis.

Los resultados correspondientes a la sinéresis obtenidos en el presente estudio se muestran en la tabla 3. En general, la sinéresis fue significativamente menor en los yogures tratados con TGasa. En el día cero, la sinéresis es significativamente menor en el yogur tratado enzimáticamente con 1% y 2% (73,57 ± 3,11 y 67,14 ± 2,58 respectivamente) de TGasa en comparación con la muestra control (79.29 ± 0.71). Esta disminución de la sinéresis inicial se puede explicar por la alta concentración de enzima añadida la cual genera un entrecruzamiento entre las caseínas y lactoalbúminas del yogur, produciendo una red proteica más estable que evita la separación de las fases. El tratamiento con 1% de TGasa presentó valores que variaron entre 73.57 ± 3.11 al día

cero y 68.81 ± 1.09 al día 21. Igual comportamiento se registró en el tratamiento con 2% TGasa con valores de 67.14 ± 2.58 al día cero y 65.95 ± 1.80 al día 21. (Gómez, 2019) en un estudio similar enfocado a la sinéresis del yogur no se observó diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos que se les adicionó enzima.

Varios estudios han reportado una disminución en la sinéresis de los yogures tratados enzimáticamente con la enzima TGasa debido a la reacción de entrecruzamiento de las proteínas del yogur, lo cual da lugar a un gel con mayor fortaleza lo que nos da la posibilidad de crear o mejorar propiedades de geles tradicionales (Aprodu I. et al., 2011).

Cabe recalcar que la sinéresis en los yogures tratados enzimáticamente fue observada únicamente después de someter el producto a centrifugación; a diferencia de la muestra control en donde si se observó la separación de fases progresiva durante el almacenamiento de 21 días. Esto representa un beneficio importante proporcionado por la

enzima TGasa, ya que uno de los desafíos más relevantes para la industria es mantener una textura adecuada en el yogur elaborado con leche descremada, debido a que la reducción de grasa afecta directamente estos atributos siendo uno de los factores más difíciles de controlar en la industria del yogur.

Tabla 3. Sinéresis en el yogur tratado con diferentes concentraciones de TGasa durante 21 días de almacenamiento a 10 °C.

DIA	0 % TGasa.	1 % TGasa.	2 %TGasa
0	79,29 ± 0,71 ABb	73,57 ± 3,11 ABa	67,14 ± 2,58 Aba
7	81,43 ± 0,71 Bb	70,24 ± 1,49 ABa	70,24 ± 1,49 ABa
14	81,90 ± 2,18 Bb	75,48 ± 1,80 Ba	72,38 ± 1,09 Ba
21	82,13 ± 1,89 Ab	68,81 ± 1,09 Aa	65,95 ± 1,80 Aa

Los valores son medias de 3 réplicas.

Letras mayúsculas distintas en columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$), en un tratamiento para los diferentes tiempos.

Letras minúsculas distintas en columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$), en los tratamientos para un mismo tiempo.

c. Proteína

En lo concerniente al contenido de proteína en el yogur (Tabla 4), no se observó diferencias estadísticas significativas en ninguno de los tratamientos ($p > 0,05$). La muestra control presentó un contenido de proteínas de $3,08 \pm 0,16$ al día 0 y $3,45 \pm 0,30$ al día 21, mientras que los tratamientos con 1% y 2% de TGasa presentaron valores más elevados alcanzando hasta $3,56 \pm 0,05$ (1% TGasa) y $4,17 \pm 0,08$ (2% TGasa) luego de 21 días de almacenamiento. Estos valores concuerdan con el contenido de proteína reportado en otro estudio en donde se elaboró yogur con leche entera y descremada (Vite et al., 2005). Asimismo, (Demirkaya & Ceylan, 2009) no encontraron diferencias

significativas en el contenido de proteínas en la elaboración de yogur con transglutaminasa. De acuerdo al Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN 2395, 2011), para lácteos fermentados el contenido mínimo de proteína para un yogur natural elaborado con leche entera o leche descremada es de 2.7%. Los valores obtenidos en el presente estudio cumplen con la normativa ecuatoriana e incluso, los yogures tratados enzimáticamente aumentan ligeramente su contenido de proteínas después de 21 días de almacenamiento.

Tabla 4. Contenido de proteína en el yogur tratado con diferentes concentraciones de TGasa durante 21 días de almacenamiento a 10 °C.

DIA	0% TGasa.	1% TGasa.	2% TGasa.
0	3,08±0,16 Aa	3,48±0,25 Aa	3,63±0,04 Aa
7	3,36±0,33 Aa	3,59±0,08 Aa	3,69±0,11 Aa
14	3,57±0,01 Aa	3,56±0,02 Aa	3,73±0,11 Aa
21	3,45±0,30 Aa	3,56±0,05 Aa	4,17±0,08 Ba

Los valores son medias de duplicados.

Letras mayúsculas distintas en columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), en un tratamiento para los diferentes tiempos.

Letras minúsculas distintas en columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), en los tratamientos para un mismo tiempo.

d. Acidez

Se contempló un aumento progresivo ($p < 0.05$) de la acidez en todos los tratamientos en el transcurso de 21 días de almacenamiento (Tabla 5). Sin embargo, los valores obtenidos cumplen con la normativa ecuatoriana para todos los tipos de yogur incluyendo, yogur natural, yogur descremado o yogur griego. (INEN 2564, 2011). El yogur sin tratamiento enzimático arrojó valores de 0.98 ± 0.05 para el día 0 y 1.79 ± 0.01 para el día 21. Los yogures tratados enzimáticamente presentaron incrementos similares en acidez, sin embargo, el valor inicial es más bajo. El incremento en la acidez del yogur se puede explicar por la producción de ácido láctico producto del metabolismo de

microorganismos y levaduras presentes en el yogur los cuales ralentizan su metabolismo en el frío aunque no se detiene completamente (Codex Alimentarius, 2003). La diferencia en acidez entre las muestras tratadas con TGasa en comparación con el control difieren con los reportado por (Víte et al., 2005) en donde no observaron diferencias en la acidez de yogures elaborados con leche baja en grasa y tratados enzimáticamente con TGasa, ya que el yogur que se elaboró como leche descremada mostro que el tratamiento más cercano a la acidez acta fue el de 0.009% de TGasa no mostrando diferencia con el tratamiento de 0.015% de TGasa.

Tabla 5. Acidez titulable en el yogur tratado con diferentes concentraciones de TGasa durante 21 días de almacenamiento a 10 °C.

DIA	0 % TGasa.	1% TGasa.	2% TGasa.
0	0,98 ± 0,05 Aa	0,65 ± 0,01 Ab	0,67 ± 0,01 Ab
7	1,04 ± 0,01 Aa	0,73 ± 0,01 Bb	0,76 ± 0,01 Bb
14	1,19 ± 0,01 Ba	0,84 ± 0,03 Cb	0,86 ± 0,01 Cb
21	1,79 ± 0,01 Ca	1,20 ± 0,02 Db	1,22 ± 0,01 Db

Los valores son medias de 3 réplicas.

Letras mayúsculas distintas en columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$), en un tratamiento para los diferentes tiempos.

Letras minúsculas distintas en columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$), en los tratamientos para un mismo tiempo.

4. CONCLUSIÓN

En este estudio se evidenció que la influencia de la enzima TGasa en los yogures con tratamiento enzimático al 1 % y 2 % mostraron resultados más favorables en comparación con el yogur sin tratamiento enzimático, destacando mayores valores de viscosidad y sinéresis lo cual es favorable, esto se atribuye al tiempo prolongado de acción de la enzima.

La sinéresis representa un defecto que genera pérdidas económicas en la elaboración de yogur, la incorporación de la enzima transglutaminasa (TGasa) ayudó a minimizar este problema. Al mismo tiempo se evidenció de manera favorable el aumento de la viscosidad en los yogures con tratamiento enzimático, señalando que se alcanzaron valores semejantes a los registrados en yogures producidos con leche entera. No obstante, se pudo evidenciar que los valores reflejados en proteína y acidez no presentaron cambios significativos, manteniéndose en los rangos del yogur que no presentaba tratamiento enzimático.

5. REFERENCIAS

Aguilar-Zarate, P., Aguilar-Zarate, M., Carrillo, M. L., & Portilla-Rivera, O. M. (diciembre de 2012). Importancia de la producción de transglutaminasa microbiana para su aplicación en alimentos. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 7. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1092.1761>

- Aguirre-Madujano, E., Lobato-Calleros, C., Beristain, C., García, H., & Vernon-Carter, E. (Junio de 2009). Microstructure and viscoelastic properties of low-fat yoghurt structured by monoglyceride gels. *LWT - Food Science and Technology*, 42(5), 938-944. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.002>
- Aprodu I, G. G. (2011). The effect of transglutaminase on the rheological properties of yogurt. *Scientific Study & Research*, 185-196.
- Babio, N., Mena-Sanchez, G., & Salas-Salvadó, J. (2017). Más allá del valor nutricional del yogur: ¿un indicador de la calidad de la dieta? *Nutrición Hospitalaria*, 34, 26-30. doi:http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112017001000006&lng=es&tln=es
- Costa, R., Beltrão Filho, E., de Sousa, S., da Cruz, J., Queiroga, R. d., & da

- Cruz, E. (2016). Physicochemical and sensory characteristics of yoghurts made from goat and cow milk. *Animal science journal = Nihon chikusan Gakkaiho*, 87(5), 703-709.
doi:<https://doi.org/10.1111/asj.12435>
- Escobar, D., Rodriguez, M., Pelaggio, R., Rey, F., & Arcia, P. (Septiembre de 2020). APLICACIÓN DE LA ENZIMA TRANSGLUTAMINASA EN PRODUCTOS LÁCTEOS. *Fundación LATU. Tecnología láctea Latinoamericana*, 104, 44-47.
Obtenido de Biblioteca centro de información técnica:
https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2811
- Gauche, C., Tomazi, T., Barreto, P., Ogliari, P. J., & Bordignon-Luiz, M. (2009). Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. *LWT - Food Science and Technology*, 42(1), 239-243.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.023>
- Hassan, A., & Amjad, I. (17 de Mayo de 2010). Nutritional evaluation of yoghurt prepared by different. *African Journal of Biotechnology*, 9, 20. doi:10.5897/AJB09.098
- Jacek , D., Marek , S., Tadeusz , G., & Dorota , N.-L. (2007). Changes in texture of yogurt from goat's milk modified by transglu-taminase depending on pH of the milk. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 23, 171-178.
doi:<http://dx.doi.org/10.2298/BAH0702171D>
- Keogh, M., & O'Kennedy, B. (28 de junio de 2008). Rheology of Stirred Yogurt as Affected by Added Milk Fat, Protein and Hydrocolloids. *Journal of food Science*, 63(1), 108-112. doi:

- <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15687.x>
- Kessler, H. G. (1998). The structure of fermented milk products as influenced by technology and composition. (A. -I. Technology, Ed.) *IDF Special Issue 9802*, 93-105.
doi:<https://agris.fao.org/search/en/providers/122397/records/64722e1d53aa8c896301a0d1>
- Khubber, S., Chaturvedi, K., Thakur, N., Sharma, N., & Yadav, S. K. (Febrero de 2021). Low-methoxyl pectin stabilizes low-fat set yoghurt and improves their physicochemical properties, rheology, microstructure and sensory liking. *Food Hydrocolloids*, 111.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106240>
- Lorenzen , P., Neve, H., Mautner, A., & Schlimme, E. (7 de Agosto de 2002). Effect of enzymatic cross-linking of milk proteins on functional properties of set-style yoghurt. *Internacional Journal of Dairy technology*.
doi:<https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00065.x>
- Mohamad, A. B., Maskat, M. Y., Omar, A. F., & Kashim, M. (2012). The Use of Transglutaminase Enzymes in Food: Is there Any Issue of Lawful and Unlawful in Islam? *Research Journal of Applied Sciences*, 7(1), 48-53. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/313468686_The_Use_of_Transglutaminase_Enzymes_in_Food_Is_there_Any_Issue_of_Lawful_and_Unlawful_in_Islam
- Rima, J., Santosh, K. M., Brar, G. S., Singh, P. K., & Panwar, H. (2017). Instrumental texture and syneresis analysis of yoghurt prepared from goat and cow milk. (971-974, Ed.) *The Pharma Innovation Journal*, 6(7). Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/318814836_Instrumental_texture_and_syneresis_analysis_of_yoghurt_prepared_from_goat_and_cow_milk

Vera Vite, M. (Octubre de 2005). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. 1-103. Obtenido de EFECTO DEL TRATAMIENTO CON TRANSGLUTAMINASA MICROBIANA SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y SENSORIALES EN EL YOGURT ELABORADO CON LECHE DE BOVINO:
https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/729/1/Vera-Vite%20M%20G_MC_2005.pdf