

Bebida Probiótica de lactosuero con pulpa liofilizada de tomate de árbol: optimización antioxidante y sostenible.**Probiotic whey Beverage with lyophilized tree tomato pulp: antioxidant and sustainable optimization.**

Ing. Guisella Elizabeth Pincay Aguirre, Mgtr.; Ing. Héctor Aníbal Espinoza Vaca, Mgtr. & Ing. Raul Clemente Murillo Loor, Mgtr.

PUNTO CIENCIA

Julio - diciembre, V°6 - N°2; 2025

Recibido: 29-07-2025

Aceptado: 31-07-2025

Publicado: 30-12-2025

PAIS

- Ecuador - Santo Domingo
- Ecuador - Santo Domingo
- Ecuador - Portoviejo

INSTITUCION

- Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
- Investigador independiente
- Investigador independiente

CORREO:

- ✉ guisellapincay@tsachila.edu.ec
- ✉ hector_espinoza@sherydan.com
- ✉ raul.murilloloor@gmail.com

ORCID:

-  <https://orcid.org/0000-0001-8755-8194>
-  <https://orcid.org/0000-0003-3927-0465>
-  <https://orcid.org/0009-0007-4026-6857>

FORMATO DE CITA APA.

Pincay, G., Espinoza, H. & Murillo, R. (2025). *Bebida Probiótica de lactosuero con pulpa liofilizada de tomate de árbol: optimización antioxidante y sostenible*. Revista G-ner@ndo, V°6 (N°2). Pág. 674 - 696.

Resumen

Esta investigación evaluó el efecto de diferentes proporciones de lactosuero dulce (40% y 50%) y pulpa liofilizada de tomate de árbol (0%, 2% y 4%) sobre las propiedades fisicoquímicas y la capacidad antioxidante de una bebida láctea fermentada probiótica. El diseño experimental factorial 2x3 permitió identificar interacciones significativas entre los factores en variables clave como °Brix, acidez titulable, sinéresis, viscosidad y capacidad antioxidante. Los resultados mostraron que el tratamiento con 40% de lactosuero y 4% de pulpa (T3) alcanzó los valores más altos en sólidos solubles (19.03 °Brix), acidez (1.46%), viscosidad (4672 cP) y capacidad antioxidante (62.3 mg EAA/kg), junto con la menor sinéresis (31%). La inclusión de pulpa liofilizada de tomate de árbol potenció las propiedades funcionales de la bebida, atribuido a su riqueza en compuestos fenólicos, vitaminas y carotenoides. Además, se evidenció que un mayor contenido de lactosuero incrementa la sinéresis y reduce la viscosidad. Se concluye que la combinación de ingredientes agroindustriales subutilizados como el lactosuero dulce y la pulpa de tomate de árbol puede generar un producto funcional con alto valor agregado, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo el desarrollo de alimentos sostenibles.

Palabras clave: Lactosuero dulce, tomate de árbol, bebida probiótica, capacidad antioxidante.

Abstract

This study evaluated the effects of different proportions of sweet whey (40% and 50%) and freeze-dried tamarillo pulp (0%, 2%, and 4%) on the physicochemical properties and antioxidant capacity of a fermented probiotic dairy beverage. A 2x3 factorial design revealed significant interactions between the factors on key variables such as °Brix, titratable acidity, syneresis, viscosity, and antioxidant activity. Results showed that the treatment with 40% whey and 4% pulp (T3) yielded the highest values in soluble solids (19.03 °Brix), acidity (1.46%), viscosity (4672 cP), and antioxidant capacity (62.3 mg TE/kg), along with the lowest syneresis (31%). The addition of freeze-dried tamarillo pulp enhanced the beverage's functional profile, attributed to its rich content of phenolic compounds, vitamins, and carotenoids. Additionally, increasing the whey content resulted in higher syneresis and lower viscosity. The study concludes that integrating underutilized agro-industrial by-products such as sweet whey and tamarillo pulp offers a promising approach to develop high-value functional products, reduce environmental impact, and support sustainable food production systems.

Keywords: Sweet whey, tamarillo, probiotic beverage, antioxidant capacity.

Introducción

La industria láctea global enfrenta importantes desafíos ambientales y económicos debido a la generación de grandes volúmenes de lactosuero, un subproducto de la producción de queso. Anualmente se producen aproximadamente entre 180 y 190 millones de toneladas de lactosuero, lo que representa cerca del 90% de la leche procesada en la fabricación de queso (Mieles et al., 2018; Campaña & Aguilar, 2011). El lactosuero, particularmente el lactosuero dulce, es rico en proteínas, lactosa y otros nutrientes, ofreciendo un considerable potencial nutricional.

Sin embargo, su alta carga orgánica, que aporta aproximadamente 3.5 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y 6.8 kg de demanda química de oxígeno (DQO) por cada 100 kg de lactosuero líquido, representa una significativa amenaza ambiental cuando se desecha inadecuadamente en sistemas de alcantarillado o cuerpos de agua (Mieles et al., 2018). En Ecuador, donde el 47% del lactosuero dulce se descarta como agua residual, la necesidad de estrategias de utilización sostenible es crucial para mejorar la rentabilidad de las operaciones de queserías y mitigar la contaminación ambiental (Pintado et al., 2018; Atavardo, 2018).

Para abordar este problema, el desarrollo de productos de valor agregado, como bebidas lácteas fermentadas, ha surgido como un enfoque prometedor para reutilizar el lactosuero mientras se mejoran sus perfiles nutricionales y sensoriales (Montesdeoca et al., 2017). La incorporación de ingredientes de origen vegetal, como el tomate de árbol (*Solanum betaceum*), también conocido como tamarillo, ofrece una oportunidad para mejorar las propiedades funcionales de estas bebidas.

El tomate de árbol, un fruto nativo de Sudamérica y un cultivo importante en Ecuador con una producción anual de aproximadamente 39.7 millones de toneladas, es rico en vitaminas, aminoácidos esenciales, compuestos fenólicos y carotenoides, lo que le confiere una alta capacidad antioxidante (Ficaon, 2016; Cobo, 2021). A pesar de sus beneficios nutricionales, solo

el 21.7% del tomate de árbol procesado en Ecuador se transforma en productos como jugo, pulpa o formas deshidratadas, destinándose la mayoría a la exportación, lo que evidencia un potencial subutilizado para la industrialización local (Moreno et al., 2022).

La liofilización, una técnica de conservación que prolonga la vida útil manteniendo la integridad fisicoquímica y nutricional, es particularmente adecuada para incorporar pulpa de tomate de árbol en bebidas lácteas fermentadas (Hipo, 2021). Este enfoque se alinea con las tendencias globales hacia sistemas alimentarios sostenibles y el desarrollo de alimentos funcionales con beneficios para la salud, como bebidas probióticas con propiedades antioxidantes. Estudios previos han demostrado la integración exitosa de lactosuero con ingredientes de origen vegetal para producir bebidas lácteas nutricionalmente mejoradas (Mieles et al., 2018). Sin embargo, la investigación sobre la combinación de lactosuero dulce y pulpa liofilizada de tomate de árbol para optimizar las propiedades fisicoquímicas y la capacidad antioxidante de bebidas probióticas es limitada.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes proporciones de lactosuero dulce y pulpa liofilizada de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en las características fisicoquímicas y la capacidad antioxidante de una bebida probiótica fermentada. La metodología incluyó la formulación de bebidas con diferentes proporciones de lactosuero y pulpa liofilizada de tomate de árbol, seguida de fermentación con cultivos probióticos. Se analizaron parámetros fisicoquímicos y la actividad antioxidante para determinar la formulación óptima.

Este estudio contribuye al estado del arte al abordar el desafío ambiental del desecho de lactosuero mediante el desarrollo de una bebida probiótica sostenible de alto valor con propiedades nutricionales y funcionales mejoradas, aprovechando la abundante producción de tomate de árbol en Ecuador. Este estudio no solo contribuye a la sostenibilidad, sino que también alinea la producción alimentaria con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS),

particularmente el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) y el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura).

El artículo está estructurado de la siguiente manera: La Introducción describe el problema, los objetivos y la fundamentación científica. La sección de Materiales y Métodos detalla el diseño experimental, incluyendo la preparación de materias primas, la formulación de la bebida y los métodos analíticos. La sección de Resultados y Discusión presenta los hallazgos sobre las propiedades fisicoquímicas y la capacidad antioxidante, comparándolos con la literatura existente. Las Conclusiones resumen los resultados clave y sus implicaciones para la producción alimentaria sostenible. Finalmente, la sección de Referencias enumera todas las obras citadas, siguiendo las directrices de formato de la revista.

Métodos y Materiales

Materias primas

El lactosuero dulce (6.23% sólidos totales, 0.48% cenizas, 6.55 pH, 0.3% materia grasa), se recolectó de procesos agroindustriales en la planta de procesos del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, Santo Domingo, Ecuador. El tomate de árbol fue adquirido en Santo Domingo y el proceso de liofilización fue realizado en los laboratorios de investigación de alimentos en la Facultad de Ciencias Agrpopecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabi, utilizan un liofilizador Labconco de -42°C y una presión de 0.520 mBar por un tiempo de 48 horas, para posteriormnete ser molido finamente (molino BioBase MD 120) hasta pasar por un tamiz de diametro 0.125 mm #8.

Diseño experimental

Este estudio empleó un diseño experimental factorial para evaluar los efectos de dos variables independientes sobre las propiedades fisicoquímicas y la capacidad antioxidante de

una bebida láctea fermentada. Las variables fueron el porcentaje de lactosuero dulce (Factor A) y el porcentaje de pulpa liofilizada de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) (Factor B). Se utilizó un arreglo factorial 2×3 , que generó seis tratamientos con tres repeticiones cada uno, dando un total de 18 unidades experimentales. El diseño experimental siguió una estructura completamente aleatorizada para evaluar la significancia de los factores y sus interacciones, como se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Esquema del ANOVA factorial del diseño 2×3 .

Fuente de Variación	gL
Total	17
Factor A (Lactosuero dulce)	1
Factor B (Pulpa liofilizada de tomate de árbol)	2
Interacción (A×B)	2
Error	12

Fuente: *Elaboración propia*

Factores y niveles

Los niveles para el Factor A (lactosuero dulce) se establecieron en 40% (a1) y 50% (a2), basados en estudios preliminares y en cumplimiento con la norma ecuatoriana NTE INEN 2395:2011. El Factor B (pulpa liofilizada de tomate de árbol) se evaluó en tres niveles: 0% (b1), 2% (b2) y 4% (b3), determinados por investigaciones previas y directrices normativas. Las combinaciones de estos factores dieron lugar a los tratamientos detallados en la tabla 2.

Tabla 2. Tratamientos.

Tratamientos	Códigos	Descripción	
		Lactosuero	Pulpa liofilizada de tomate de árbol
T1	a ₁ b ₁	40%	0%
T2	a ₁ b ₂	40%	2%
T3	a ₁ b ₃	40%	4%
T4	a ₂ b ₁	50%	0%
T5	a ₂ b ₂	50%	2%
T6	a ₂ b ₃	50%	4%

Fuente: *Elaboración propia*

Manejo del experimento

Preparación de la bebida

Recepción y almacenamiento de materias primas: El lactosuero dulce, obtenido como subproducto de la producción artesanal de queso criollo, se recolectó y almacenó a 4 °C en recipientes estériles, cumpliendo con los requisitos fisicoquímicos de la norma NTE INEN 2594:2011-08. La pulpa liofilizada de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) se obtuvo de frutos maduros, liofilizados y pulverizados, y se almacenó en condiciones secas y protegidas de la luz para preservar sus propiedades antioxidantes.

Mezclado: El lactosuero dulce se mezcló con la pulpa liofilizada de tomate de árbol en las proporciones especificadas para cada tratamiento (Tabla 2). La mezcla se realizó en un tanque de acero inoxidable con agitación constante a 25 °C para garantizar homogeneidad.

Pasteurización: La mezcla se pasteurizó a 65 °C durante 30 minutos en un pasteurizador de placa, para eliminar microorganismos patógenos y garantizar la seguridad alimentaria.

Inoculación con cultivos probióticos: Se enfrió la mezcla a 42 °C y se inoculó con un cultivo mixto de bacterias lácticas probióticas (*Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium bifidum*) a una concentración de 10^7 UFC/mL. La inoculación se realizó bajo condiciones asépticas para evitar contaminación.

Fermentación: La mezcla inoculada se incubó a 42 °C durante 6 horas en un fermentador controlado, hasta alcanzar un pH de aproximadamente 4.5, indicando una fermentación adecuada. Se monitoreó el pH cada hora utilizando un pH-metro calibrado.

Homogeneización: Después de la fermentación, la bebida se homogeneizó a 15 MPa en un homogeneizador de alta presión para mejorar la textura y estabilidad del producto, reduciendo la separación de fases.

Enfriamiento: La bebida fermentada se enfrió rápidamente a 4 °C en un intercambiador de calor para detener la actividad microbiana y preservar las características sensoriales.

Envasado: La bebida se envasó en botellas de polietileno de alta densidad (HDPE) de 250 mL, selladas herméticamente bajo condiciones asépticas para prevenir contaminación.

Almacenamiento: Las botellas se almacenaron a 4 °C en cámaras de refrigeración hasta su análisis.

Métodos y técnicas de análisis

Análisis fisicoquímicos

En la tabla 3 se presentan los análisis fisicoquímicos aplicados a los tratamientos

Tabla 3. *Análisis fisicoquímicos aplicados a la bebida (tratamientos).*

Análisis	Descripción	Unidad	Método de ensayo
Brix	Se utilizó un refractómetro digital el cual indica el % en peso del azúcar de la bebida láctea	%	NTE INEN - ISO 2173:2013
Acidez	Basado en la neutralización de los ácidos orgánicos presentes en la bebida láctea, expresados como ácido láctico, mediante el método volumétrico con NaOH y un indicador como fenolftaleína	%	NTE INE 0013
Viscosidad	Se utilizó un viscosímetro colocando el husillo N° 2 con una rotación de 60 rpm midiendo la fuerza de torsión a temperatura de $25 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$, expresada en m.Pa. s	g/mL	(Montesdeoca, 2020).
Sinéresis	Se separó el lactosuero utilizando una centrifuga analítica con una velocidad fija de 3200 rpm a un tiempo de 10 minutos	%	Montesdeoca, 2020).

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis funcional

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se determinó utilizando el ensayo ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)), según la metodología de Montesdeoca (2020). Se construyó una curva de calibración con Trolox como estándar, y los resultados se expresaron como Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC, $\mu\text{M/g}$).

Análisis de Resultados

Propiedades fisicoquímicas de la bebida láctea fermentada

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk evidenció que las variables °Brix y acidez titulable presentaron distribución normal (Sig. > 0.05), mientras que sinéresis y viscosidad mostraron distribuciones significativamente diferentes de la normalidad (Sig. ≤ 0.05), por lo que

estas últimas fueron analizadas mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Por otro lado, la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene indicó que las variables °Brix y acidez titulable no presentaron diferencias significativas en su varianza (Sig. > 0.05), permitiendo su análisis mediante ANOVA.

°Brix

En la tabla 4 se aprecia diferencias estadísticas significativa (Sig. ≤ 0.05) en los efectos principales del modelo estadístico (ANOVA), donde el factor A (Porcentajes de lactosuero dulce) y el factor B (Porcentajes de pulpa liofilizada de tomate de árbol), en sus niveles, tuvieron un efecto significativo sobre la variable °brix, (Sig. ≤ 0.05). En cuanto a la interacción de ambos factores, se evidenció un nivel crítico altamente significativo (Sig. ≤ 0.05), indicando diferencias entre las medias de los tratamientos.

Tabla 4. *Análisis de varianza (ANOVA) para la variable °Brix.*

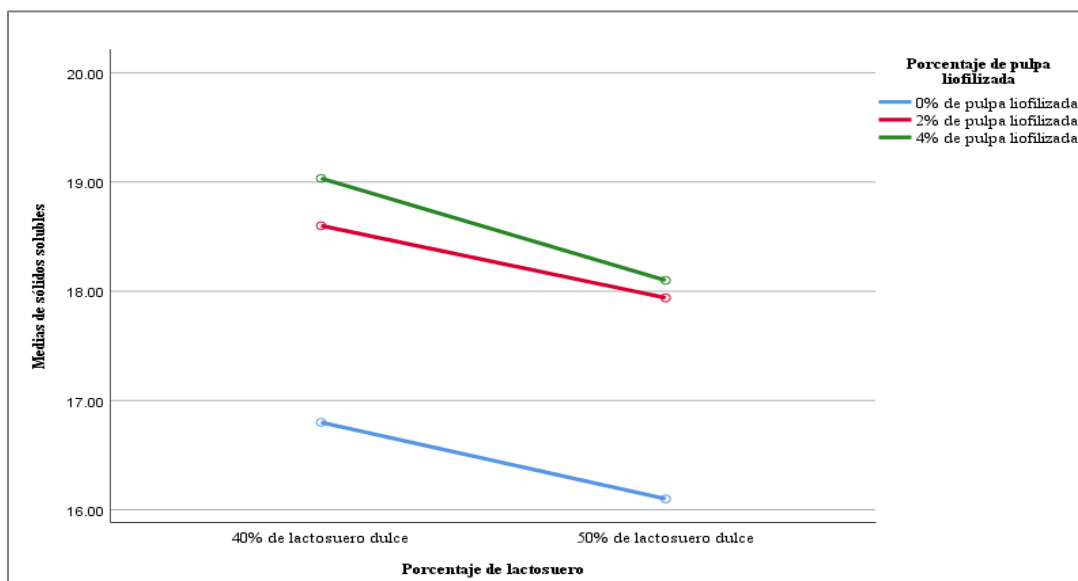
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Factor A	0.347	1	0.347	5.787	0.03
Factor B	14.281	2	7.141	119.009	0
Interacción:	2.654	2	1.327	22.12	0
Error	0.72	12	0.06		
Total	5632.47	18			
a. R al cuadrado = .960 (R al cuadrado ajustada = .943)					

Fuente: *Elaboración propia*

Para el factor A, el nivel a1 (40% de lactosuero) generó el mayor contenido de sólidos solubles (17.8%) en la bebida, atribuible a la mayor proporción de leche y otros ingredientes con contenido de azúcares, en comparación con el nivel a2 (50% de lactosuero), que mostró un valor promedio inferior (17.52%).

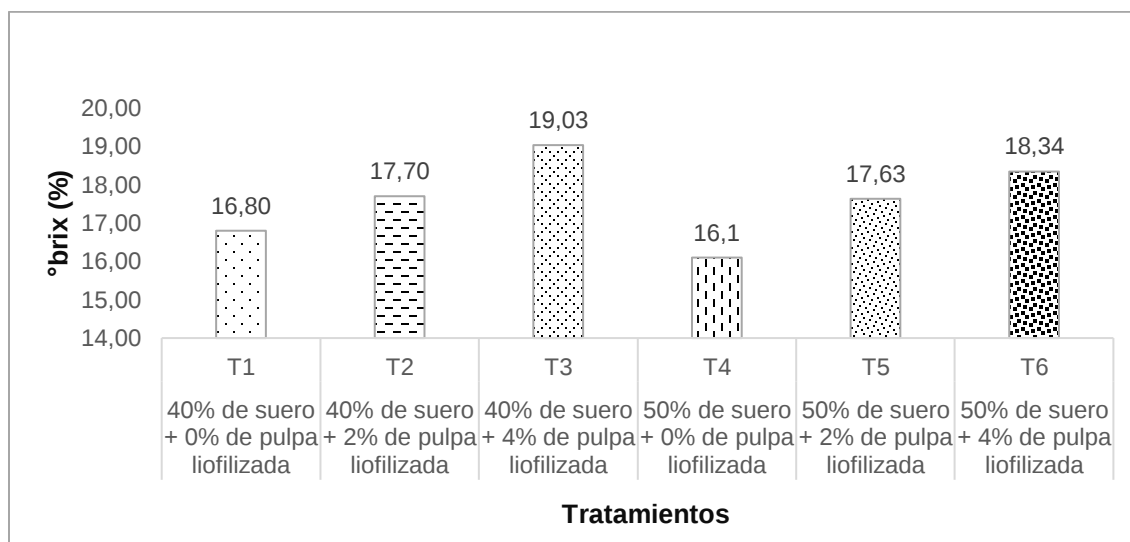
En cuanto a los efectos del factor B (porcentajes de pulpa liofilizada) y atendiendo al número de niveles (3), para demostrar las diferencias ejercidas sobre la variable respuesta ($^{\circ}$ brix), se aplicó la prueba de Tukey al 5% de error, donde se evidenció que los niveles difieren entre sí, donde el nivel b3 (4% de pulpa liofilizada), otorgó la mayor media de $^{\circ}$ brix a la bebida láctea (18.56%), demostrando que, mayores porcentajes de pulpa liofilizada de tomate de árbol, conceden mayores sólidos solubles al producto final. En el gráfico de perfil (figura 1), se aprecia que no hubo interacción entre los niveles de los factores en estudio, no obstante, se evidenció un mayor efecto del factor B sobre la variable respuesta. En este contexto, a menor proporción de lactosuero dulce y un mayor porcentaje de pulpa liofilizada de tomate de árbol, se obtuvo mayores concentraciones de sólidos solubles.

Figura 1. Interacción de los factores en estudio sobre la variable $^{\circ}$ brix.



Entre los tratamientos, se pudo evidenciar que el T3 (40% de suero y 4% de pulpa) presentó la mayor media de $^{\circ}$ brix, mientras que aquellos que no poseían pulpa liofilizada de tomate de árbol se posesionaron con las medias más bajas, siendo el caso del T1 (40% de suero y 0% de pulpa) y T2 (50% de suero y 0% de pulpa), lo cual se evidencia en la figura 2.

Figura 2. Medias de °brix para los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia

Acidez titulable

El análisis de varianza (ANOVA) para los datos de la variable acidez titulable (tabla 5), demostró diferencias estadísticas significativas para los efectos principales del modelo estadístico ($\text{sig.} \leq 0.05$), indicando que tanto el factor A (porcentajes de lactosuero dulce), B (porcentajes de pulpa liofilizada) y la interacción de ambos, presentó un efecto asociado a un nivel crítico altamente significativo ($\text{Sig.} \leq 0.05$).

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable acidez titulable.

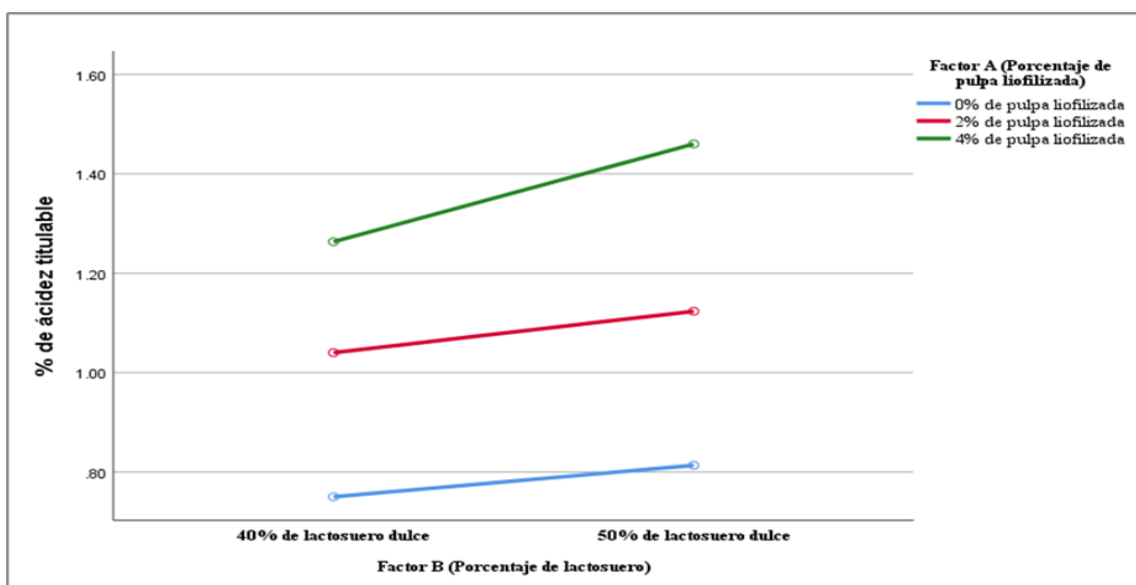
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Factor A	0.059	1	0.059	126.298	0.00
Factor B	1.01	2	0.505	1081.714	0.00
Interacción	0.016	2	0.008	16.619	0.00
Error	0.006	12	0		
Total	21.891	18			

a. R al cuadrado = .995 (R al cuadrado ajustada = .993)

Fuente: Elaboración propia

El nivel a_1 (40% de lactosuero) presentó un promedio de acidez de 1.02% de ácido láctico, mientras que a_2 (50% de lactosuero) mostró un valor mayor (1.13%). En cuanto al factor B, la prueba de Tukey confirmó que b_3 (4% de pulpa) produjo la mayor media de acidez (1.36%). La figura 3 muestra que el efecto del factor B fue más determinante.

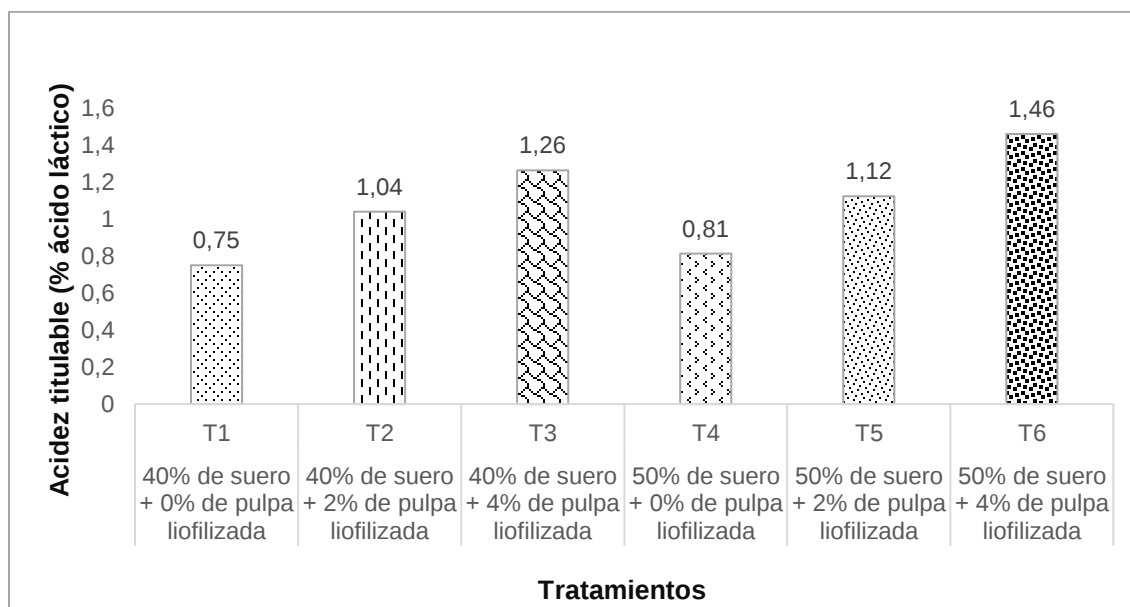
Figura 3. Interacción de los factores sobre acidez titulable.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se presentan las medias de acidez titulable reportadas para los tratamientos donde se aprecia que los menores promedios de esta variable se dieron para los tratamientos que no poseían pulpa liofilizada de tomate de árbol (T1 y T4), mientras que aquellos con mayor porcentaje (T3 y T6) presentaron mayor acidez.

Figura 4. Medias de acidez titulable para los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia

Sinéresis

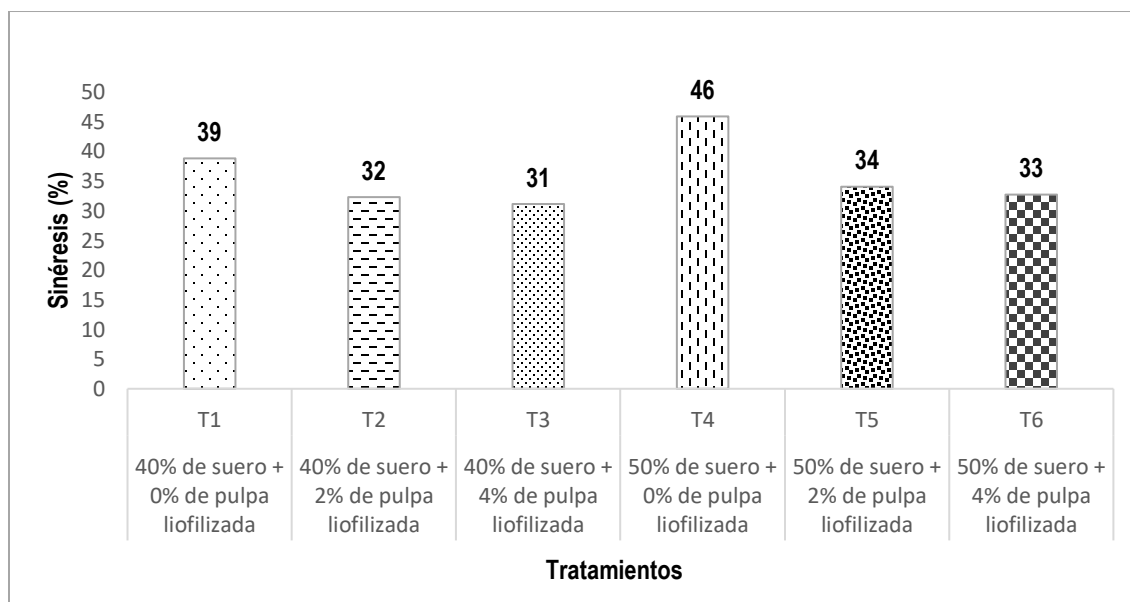
La prueba U de Mann-Whitney aplicada a los niveles del factor A (porcentajes de lactosuero), indicó que no existen diferencias estadísticas significativas ($\text{Sig.} > 0.05$), demostrando que los dos porcentajes de lactosuero dulce utilizados, no incidieron sobre el porcentaje de sinéresis en la bebida láctea fermentada, reteniendo la hipótesis nula de igualdad de medias. En cuanto a los niveles del factor B (porcentajes de pulpa liofilizada de tomate de árbol) la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis indicó que la distribución de los porcentajes de sinéresis es distinta para cada uno de los porcentajes de pulpa liofilizada utilizados ($\text{Sig.} \leq 0.05$), rechazando la hipótesis nula y aceptando la alternativa.

Para demostrar la incidencia de los niveles del factor B (porcentajes de pulpa liofilizada de tomate de árbol) sobre la variable repuesta, se aplicó la prueba de subconjuntos homogéneos de Kruskal Wallis, la cual categorizó a los niveles del factor B, de acuerdo a las medias de sinéresis aportadas por cada nivel. Así, el análisis ubicó al nivel b3 (4% de pulpa liofilizada) en

el subconjunto uno con la mayor media de sinéresis, seguido del b2 (2% de pulpa liofilizada) con un promedio de 33% compartiendo categorías, mientras que el b1 (0% de pulpa liofilizada) se posicionó en el subconjunto dos con la mayor media porcentual (42%).

En la figura 5 se puede apreciar las medias porcentuales de sinéresis aportadas por los tratamientos, donde el T3 presentó la menor media, explicado por el porcentaje de pulpa liofilizada de tomate de árbol utilizado (4%), misma que al estar en estado de polvo, otorgó sólidos totales a la bebida láctea, generando mayor estabilidad en el producto.

Figura 5. Medias de sinéresis para los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

Viscosidad

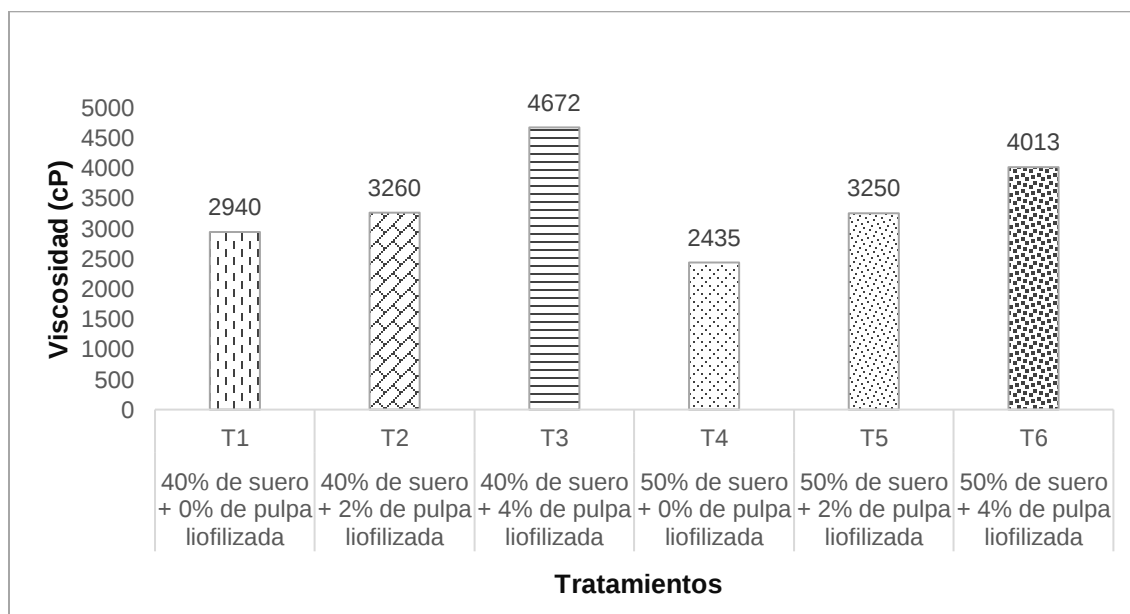
El análisis no paramétrico de U de Mann-Whitney para los niveles del factor A (porcentajes de lactosuero dulce) reveló que no existen diferencias estadísticas significativas (Sig. > 0.05), es decir, el lactosuero dulce no influyó sobre la viscosidad de la bebida láctea fermentada, razón por lo que se retuvo la hipótesis nula. Por otra parte, el análisis de Kruskal Wallis el análisis para los niveles del factor B (porcentajes de pulpa liofilizada de tomate de árbol),

indicó diferencias altamente significativas ($\text{Sig.} \leq 0.05$), demostrando que, las medias de viscosidad son distintas para cada uno de los niveles del factor, rechazando la hipótesis de igualdad.

Para demostrar la incidencia de los niveles del factor B sobre la variable respuesta, se aplicó el test de subconjuntos homogéneos no paramétrico, donde el nivel b1 (0% de pulpa) y b2 (2% de pulpa), se posicionaron en el subconjunto uno, con las menores medias de viscosidad (cP), mientras que el nivel b3 (4% de pulpa) se ubicó en el subconjunto dos con la mayor media de viscosidad (4343 cP).

En la figura 6 se aprecia los promedios de viscosidad obtenidos por cada tratamiento, donde se observa que, a mayor porcentaje de pulpa liofilizada de tomate de árbol, la viscosidad aumente. Esto debido a que la pulpa al estar en estado sólido (en polvo), le proporcionó mayor estabilidad al gel de la bebida láctea, otorgándole mayor espesor.

Figura 6. Medias de viscosidad para los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia

Capacidad antioxidante

La tabla 6 presenta las medias de capacidad antioxidante. Se observa que T1 y T4, sin pulpa liofilizada, compartieron los valores más bajos, mientras que los tratamientos con 4% de pulpa (T3 y T6) alcanzaron los valores más altos, destacando la influencia directa de la pulpa sobre esta propiedad.

Tabla 6. *Medias de capacidad antioxidante para los tratamientos en estudio.*

Tratamientos	Resultados
T1 (40% de suero + 0% de pulpa liofilizada)	50.2 ± 2.0 mg EAA/Kg
T2 (40% de suero + 2% de pulpa liofilizada)	52.8 ± 2.5 mg EAA/Kg
T3 (40% de suero + 4% de pulpa liofilizada)	62.3 ± 3.0 mg EAA/Kg
T4 (50% de suero + 0% de pulpa liofilizada)	50.20 ± 2.0 mg EAA/Kg
T5 (50% de suero + 2% de pulpa liofilizada)	54.5 ± 2.4 mg EAA/Kg
T6 (50% de suero + 4% de pulpa liofilizada)	72.7 ± 2.8 mg EAA/Kg
Método de ensayo: FRAP (Espectrofotetría) Incertidumbre U (K=2) (-)	

Comparación de los tratamientos con los testigos

Esta investigación manejó dos testigos generados de la experimentación, los cuales correspondieron a los tratamientos T1 (40% de lactosuero + 0% de pulpa liofilizada de tomate de árbol) y T4 (50% de lactosuero + 0% de pulpa de liofiliza), los cuales se compararon con los tratamientos T2, T3, T5 y T6 que en su composición presentaban pulpa liofilizada de tomate de árbol. Esta comparación se llevó a cabo mediante la prueba paramétrica de Dunnett.

En primera instancia se realizó una prueba bilateral de Dunnett, utilizando el T1 (40% de Se utilizaron dos controles: T1 y T4. En la prueba de Dunnett bilateral con T1 como testigo, se observaron diferencias significativas (Sig. ≤ 0.05) para °Brix y acidez titulable en todos los

tratamientos. No se hallaron diferencias en sinéresis, y solo T3 difirió en viscosidad respecto al testigo. Al aplicar el mismo análisis con T4 como control, se encontraron diferencias significativas ($\text{Sig.} \leq 0.05$) en °Brix, acidez titulable y sinéresis. Para viscosidad, solo T3 mostró diferencia significativa.

Discusión

En esta investigación se reportaron medias de °brix entre 16.10 y 19.03% (figura 3); sin embargo, Cedeño y Zambrano (2019), quienes elaboraron una bebida láctea con pulpa de mago y aloe vera, declaran que los sólidos solubles deben estar entre 14 y 16%; no obstante, aclaran que esta variable también estará en dependencia de la formulación utiliza, lo cual coincide con Zambrano y Romero (2016) quienes afirman que los sólidos solubles varían de acuerdo a la materia prima utilizada en cada investigación.

Las medias de °brix reportados en la presente investigación resultaron ser incluso más elevadas que las obtenidas por Gavilanes et al. (2018), quienes elaboraron una bebida láctea a base de camote, obteniendo promedios entre 12.87 y 14,97%. Esto se ve explicado por las características fisicoquímicas de la pulpa de tomate de árbol, misma que según Torres (2012) podría llegar a poseer hasta 10.51 °brix, recordando que la pulpa de este fruto fue liofilizada, proceso que concentró aún más los azúcares al eliminar el agua libre, obteniendo así una pulpa con altos contenidos de sólidos solubles, lo que explica que a mayor porcentaje de pulpa se obtuvieron las mayores medias de °brix para los tratamientos (T3 y T6).

Por otra parte, las medias de acidez reportadas para la bebida láctea fermentada, fueron entre 0.75 y 1.46% de ácido láctico (figura 5), rangos que estuvieron dentro de los establecido por la norma NTE INEN 2395 (2011), misma que especifica promedios entre 0.6% – 1.5%. En la misma línea Romero y Fajardo (2016), quienes elaboraron una bebida láctea, reportaron 0,71% de acidez titulable como mayor promedio, mientras que Gavilanes et al. (2018), en su

investigación donde llevaron a cabo bebida láctea fermentada con camote, presentaron acidez entre 0,63% - 0,78%. Aunque los valores presentados por estos dos últimos autores no coinciden con los de la presente investigación es importante aclarar que a la bebida láctea de tomate de árbol se le midió este parámetro 36 horas después, sufriendo un alza en la generación de ácido láctico debido a la estabilización.

Esto último mocionado coincide con lo reportado por Rodríguez y Hernández (2017), quien, en su investigación de similares indoles, obtuvo un porcentaje de acidez titulable de 0,48% a las 24 horas de culminado el proceso; sin embargo, transcurrido 48 horas, el mismo producto indicó una acidez de 0,71%, mencionando que durante el almacenamiento este parámetro sufre una estabilización. Además, la adición de pulpa de fruta en la obtención de estos productos (bebidas lácteas) es un precursor en estas fluctuaciones. De igual manera, Reyes y Ludeña (2015), puntualizan que esta propiedad es cambiante durante los procesos de almacenamiento.

En cuanto a la sinéresis, se encontró que el tratamiento T4 (50% suero + 0% pulpa) presentó el valor más alto, mientras que el T3 (40% suero + 4% pulpa) registró el más bajo (Figura 8). Según Vera y Manzaba (2019), un valor adecuado de sinéresis en bebidas lácteas debe ser inferior al 42%. Factores como la cantidad de lactosuero, una inadecuada homogenización, insuficiencia de cultivo iniciador o excesiva acidez podrían contribuir a valores fuera del límite. Cedeño y Zambrano (2019) también sostienen que la presencia de minerales y errores en las condiciones de proceso, como agitado a alta temperatura, pueden comprometer la estructura del gel e incrementar la sinéresis. La mayor estabilidad observada en T3 se atribuye al aporte de sólidos totales por parte de la pulpa liofilizada, que refuerza la matriz del producto.

De la misma manera, Cedeño y Zambrano, (2019) mencionan que cuando el porcentaje de sinéresis llega a ser mayor al 42%, la formación de la estructura del gel no es muy buena debido a que se ve afectada por la presencia de minerales que aumenta el porcentaje de

sinéresis producto de la incorrecta ejecución de ciertas variables de proceso: agitación excesiva a altas temperaturas, tiempos de fermentación y cantidad de cultivo iniciador. En la presente investigación el T4 presentó una media de 46%, estando fuera de lo establecido, lo cual se debió principalmente a que poseía mayor porcentaje de lactosuero (50%) y que no contenía pulpa liofilizada de tomate de árbol, la cual, a los demás tratamientos, al estar en estado sólido (polvo), le otorgó más sólidos totales al producto dándole mayor estabilidad a la estructura del gel de la bebida láctea fermentada.

En relación con la viscosidad, se obtuvieron valores entre 2940 y 4672 cP, dependientes de la proporción de lactosuero y pulpa. Los tratamientos con 40% de suero mostraron mayor viscosidad. Montesdeoca (2020) indica que este parámetro varía según la formulación, y que las bebidas lácteas, al ser fluidos no newtonianos, presentan una viscosidad que fluctúa con la temperatura y fuerza aplicada (Rodríguez et al., 2019). En este contexto, el T3 destacó como el tratamiento con mejor comportamiento reológico.

Finalmente, respecto a la capacidad antioxidante, los tratamientos con mayor proporción de pulpa liofilizada (T3 y T6) presentaron los valores más altos. Esta propiedad depende de factores como el tipo y cantidad de compuestos bioactivos presentes en la fruta, que están vinculados con el índice de madurez. Navarro et al. (2018) y Arboleda et al. (2013) destacan que el tomate de árbol es rico en compuestos con capacidad antioxidante como carotenoides, flavonoides, antocianinas, vitaminas A, B, C, E y K, y minerales como el potasio. Además, León (2019) señala que el ácido rosmarínico, presente en esta fruta, actúa como un antioxidante potente con potenciales efectos hipolipemiantes y moduladores del metabolismo de la glucosa.

En estudios comparativos, Montesdeoca (2020) y Barreto (2021) reportaron capacidades antioxidantes menores en bebidas elaboradas con pulpa liofilizada de mango (14.88 a 27.81 $\mu\text{M/g}$) y guayaba (5.84 a 15.32 $\mu\text{M/g}$), respectivamente. En contraste, los valores obtenidos en

la presente investigación oscilaron entre 50.2 ± 2.0 y 72.7 ± 2.8 mg EAA/kg, lo que reafirma el elevado potencial antioxidante del tomate de árbol liofilizado.

Conclusiones

La incorporación de pulpa liofilizada de tomate de árbol en la formulación de bebidas lácteas fermentadas mejoró significativamente las propiedades fisicoquímicas del producto, destacándose un aumento en el contenido de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), acidez titulable, viscosidad y capacidad antioxidante. En particular, el tratamiento con 40% de lactosuero y 4% de pulpa (T3) presentó el mejor desempeño integral, evidenciando una matriz más estable y funcional.

El porcentaje de lactosuero influyó inversamente en la estabilidad y viscosidad de la bebida, observándose que niveles más bajos de lactosuero (40%) favorecen una menor sinéresis y mayor viscosidad. La adición de pulpa liofilizada, además de mejorar la textura y estructura del gel, actuó como fuente concentrada de compuestos bioactivos, lo que le confirió al producto características funcionales superiores en comparación con bebidas similares reportadas en la literatura.

Referencias bibliográficas

- Alvarado, P. (2018). Desarrollo de un bioprocesado para la obtención de una bebida funcional a partir de lactosuero en polvo y gránulos de kéfir. Ibarra. Recuperado el 20 de mayo de 2022, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/>
- Arboleda, L., Duque, M., y Urrea, J. (2013). Significados del consumo de frutas y hortalizas en dos comunidades de zona rural del municipio de Turbo, Urabá Antioqueño. *Revista Saúde Sociedad*, 22, 36 - 42.
- Asas, C., Llanos, C., & Matavaca, J. y. (2021). El lactosuero: impacto ambiental, usos y aplicaciones vía mecanismos de la. Guaranda: Agroindustrial Science. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8085141>
- Barreto, a. (2021). Evaluación de diferentes dosis de lactosuero dulce y pulpa liofilizada de guayaba (*Psidium guajava*) en una bebida láctea fermentada funcional. Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Manabí, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/>
- Campaña, X., y Aguilar, P. (2021). Estudio de mercado N° SCPM-IGT-INAC-002-2019. "Sector Lácteo". Informe Público. "Sector Lácteo", Superintendencia de Control del Poder de Mercado. Abogacía de la Competencia, Quito. Obtenido de <https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp>
- Carranza, C., & Luna, Y. (2020). Evaluación del lactosuero dulce y pulpa liofilizada. Calceta: ESPAM. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1276/1/TTAI02D.pdf>
- Cedeño, H., & Zambrano, J. (2019). Tesis de pregrado. Efecto de la pulpa de mango y aloe vera en la composición fisicoquímica de una bebida láctea fermentada. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Manabí, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1133/1/TTAI24.pdf>
- Cedeño, H., & Zambrano, J. (2019). Tesis de pregrado. Efecto de la pulpa de mango y aloe vera en la composición fisicoquímica de una bebida láctea fermentada. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Manabí, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1133/1/TTAI24.pdf>
- Cobo, L. y. (2021). Elaboración de una bebida instantánea a base de suero de leche, pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y harina de maíz, mediante secado por aspersión. Cuenca: Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/37648/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>
- Feican, C. (2016). Descripción agronómica del cultivo de tomate de árbol. *Rev. Agrocienc*, 9, 78 - 86. doi:10.13140/RG.2.2.18036.35208
- Gavilanes, P., Zambrano, Á., Romero, C., & Moro, A. (2018). Evaluación de una bebida láctea fermentada novel a base de lactosuero y harina de camote. *Revista de las Agrociencias*, 50 - 57.
-

- Hipo, P. (2021). Estudio de una mezcla de sacarosa más mora (*Rubus glaucus*) liofilizada para su aplicación en la industria alimentaria. Riobamba-Ecuador: ESPOCH. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15529/1/27T00482.pdf>
- Leon, P. (2019). Diseño de una bebida de lactosuero y tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) estabilizada con linaza (*Linum usitatissimum*). Tesis de pregrado. Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud, Carrera De Ingeniería En Alimentos, Machala, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14262/1/T->
- Mieles, M., Yépez, L., & Ramírez, L. (2018). Elaboración de una bebida utilizando subproductos de la industria láctea. *Revista Enfoque UTE*, 9(2), 59 - 69. Obtenido de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v9n2/1390-6542-enfoqueute-9-02-00059.pdf>
- Mieles, M., Yépez, L., y Ramírez, L. (2018). Elaboración de una bebida utilizando subproductos de la industria láctea. *Enfoque UTE*, IX (2), 59-69.
- Montesdeoca, María. (2020). Evaluación del lactosuero dulce y pulpa liofilizada de mango (*Mangifera indica* L.) en una bebida láctea fermentada funcional. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta - Bolívar - Manabí.
- Montesdeoca, R., Benítez, I., Guevara, R., y Guevara, G. (2017). Procedimiento para la producción de una bebida láctea fermentada utilizando lactosuero. *Revista Chilena de Nutrición*, 44(1), 39 - 45. doi:DOI 10.4067/S0717-75182017000100006
- Moreno, C., Molina, J., Ortiz, J., Peñafiel, C., y Moreno, R. (2020). Cadena de valor en la red de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en Ecuador. *revista Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 2 - 18. doi: <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36887>
- Navarro, A., Guzmán, D., y Gonzales, E. (2018). Influencia de las zonas de crecimiento en la composición físico química del fruto de *Solanum betaceum* Cav. *Revista Soc Quím Perú*, 84(1), 68 - 75.
- NTE INEN 2395 (Instituto Ecuatoriano de Normalización). (2011). Leches Fermentadas. Requisitos. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-2395-2r.pdf>
- Pintado, P., Sarabia, D., Matute, F., y Sarabia, D. (2018). Utilización de tres niveles de lactosuero en la elaboración de manjar de leche, en Ecuador. *Investigación Agropecuaria*, XV (1), 13-25
- Reyes, j., y Ludeña, F. (2015). Evaluación de las Características Físico Químicas, Microbiológicas y Sensoriales de un Yogur Elaborado con Sucralosa y Estevia. *Revista Politécnica*, Vol. 36(No. 2).
- Rodríguez, D., Hernández, A., y Rodríguez, J. (2019). Caracterización de una bebida fermentada de lactosuero con la adición de jugo de sábila (*aloe vera*.) Y pulpa de mora (*Rubus glaucus* bent). *Revista Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 29(1), 7 - 14.
- Rodríguez, D., y Hernández, A. (2017). Desarrollo de una bebida fermentada de suero con la adición de jugo de Aloe vera y pulpa de fruta. *Revista Tecnología Química*, 37(1), 40 - 50. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n1/rtq05117.pdf>
- Romero, G., & Fajardo, M. (2016). Uso De Suero Para La Obtención De Bebida Láctea Fermentada. Guayaquil. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/>
-

- Vera, A., & Manzaba, M. (2021). Efecto de los compuestos fenólicos de melón amargo silvestre en un recubrimiento para la conservación de filetes de cerdo. [Tesis para la obtención del título de Magister en agroindustria, ESPAM M.F.L].
- Zambrano, A., & Romero, C. (2016). Influencia del lactosuero dulce y harina de camote (*Ipomoea batatas*) en la calidad fisicoquímica y sensoriales de una bebida láctea fermentada. Tesis de pregrado. ESPAM MFL. Calceta, Manabí, Ecuador.