



Enzimas lactasas fúngica y bacteriana para elaborar manjar deslactosado de leche de cabra

Fungal and bacterial lactase enzymes to prepare lactose-free goat milk delicacy

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13620576>

AUTORES:

Katherine Lissette Romero Vásquez^{1*}

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

<https://orcid.org/0009-0002-6765-3236>

kromerov@unemi.edu.ec

Lissette Juliana Agurto Garrido²

Lotización Expogranos, Ecuador

<https://orcid.org/0009-0006-0482-3380>

lis_ag_1995@hotmail.com

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: kromerov@unemi.edu.ec

Fecha de recepción: 03 / 04 / 2024

Fecha de aceptación: 10 / 06 / 2024

RESUMEN

La intolerancia a la lactosa es un problema común que limita el consumo de productos lácteos. Este estudio evalúa la aplicación de dos enzimas lactasas, una fúngica (*Kluyveromices lactis*) y otra bacteriana (*Bifidobacterium bifidum*), para hidrolizar la lactosa en leche de cabra y desarrollar un manjar deslactosado. Se comparó la eficiencia de las enzimas a diferentes temperaturas y concentraciones, logrando una hidrólisis cercana al 100% a 35°C en 60 minutos. El manjar elaborado con leche de cabra deslactosada cumplió con los estándares de calidad y mostró buena aceptación sensorial. Este producto innovador amplía las opciones para personas intolerantes a la lactosa y promueve el aprovechamiento



de la leche de cabra. Se recomienda continuar investigando las aplicaciones de estas enzimas en otros productos lácteos deslactosados, aprovechando las ventajas nutricionales y tecnológicas de la leche de cabra.

Palabras clave: *Intolerancia a la lactosa; leche de cabra, manjar deslactosado, Kluyveromices lactis, Bifidobacterium bifidum.*

ABSTRACT

Lactose intolerance is a common problem that limits the consumption of dairy products. This study evaluates the application of two lactase enzymes, one fungal (*Kluyveromices lactis*) and one bacterial (*Bifidobacterium bifidum*), to hydrolyze lactose in goat milk and develop a lactose-free delicacy. The efficiency of the enzymes was compared at different temperatures and concentrations, achieving close to 100% hydrolysis at 35°C in 60 minutes. The delicacy made with lactose-free goat milk met quality standards and showed good sensory acceptance. This innovative product expands the options for lactose-intolerant people and promotes the use of goat milk. It is recommended to continue researching the applications of these enzymes in other lactose-free dairy products, taking advantage of the nutritional and technological advantages of goat milk.

Keywords: *Lactose intolerance, goat milk, lactose-free delicacy, Kluyveromices lactis, Bifidobacterium bifidum.*

INTRODUCCIÓN

La intolerancia a la lactosa es una condición digestiva común que afecta a una proporción significativa de la población mundial. Se estima que alrededor del 70% de los adultos a nivel global presentan una deficiencia en la producción de lactasa, la enzima responsable de la digestión de la lactosa (Fassio et al., 2018). Esta condición genera síntomas gastrointestinales adversos al consumir productos lácteos, lo que limita las opciones alimentarias de las personas afectadas y puede tener un impacto en su calidad de vida (Dekker et al., 2019).

En este contexto, el desarrollo de productos lácteos deslactosados surge como una alternativa para satisfacer las necesidades de la población intolerante a la lactosa. La hidrólisis enzimática de la lactosa utilizando lactasas exógenas es una estrategia ampliamente empleada



en la industria alimentaria para obtener productos lácteos bajos en lactosa (Kazandjiev & Georgieva, 2020). Las lactasas pueden ser de origen fúngico, como la derivada de *Kluyveromices lactis*, o bacteriano, como la producida por *Bifidobacterium bifidum* (Janifer et al., 2018). Por otra parte, la leche de cabra representa una materia prima con excelentes propiedades nutricionales y tecnológicas para la elaboración de productos lácteos. En comparación con la leche de vaca, la leche de cabra contiene menos α 1-caseína, lo que se asocia con una menor alergenicidad (Nayik et al., 2022). Además, posee un perfil de ácidos grasos más saludable y una mayor digestibilidad (Verruck et al., 2019). A pesar de estos beneficios, la producción y consumo de leche de cabra aún son limitados en muchos países, por lo que su aprovechamiento en el desarrollo de nuevos productos presenta un gran potencial.

El manjar o dulce de leche es un producto lácteo tradicional en Latinoamérica, elaborado a partir de la concentración de leche con azúcar. La incorporación de leche de cabra deslactosada en la formulación de este producto podría ampliar su mercado hacia los consumidores intolerantes a la lactosa, a la vez que se aprovechan las ventajas nutricionales de esta materia prima. Además, el uso de enzimas lactasas de diferentes orígenes permitiría evaluar su eficiencia en la hidrólisis de la lactosa y su impacto en las características finales del producto.

En este estudio se plantea evaluar la aplicación de dos enzimas lactasas, una fúngica (*K. lactis*) y otra bacteriana (*B. bifidum*), en la hidrólisis de la lactosa de leche de cabra para la elaboración de un manjar deslactosado. Se busca comparar la eficiencia de las enzimas bajo diferentes condiciones de temperatura y concentración, y determinar su efecto en las propiedades físico-químicas, microbiológicas y sensoriales del producto final. Asimismo, se espera que este desarrollo contribuya a diversificar las opciones de productos lácteos deslactosados en el mercado y promueva el uso de la leche de cabra como materia prima.

METODOLOGÍA

Materiales y métodos

Materia prima y estandarización



La leche de cabra fresca fue obtenida de una granja local y transportada en condiciones de refrigeración hasta el laboratorio. Se realizó un análisis físico-químico y microbiológico de la leche según los métodos descritos por la AOAC (Andrews & O'Connor, 2020). La leche fue estandarizada a un contenido de grasa del 3% mediante el método de cuadrado de Pearson (Guo, 2019), y posteriormente pasteurizada a 62°C por 30 minutos.

Enzimas y condiciones de hidrólisis

Se utilizaron dos enzimas lactasas comerciales: Lactozym 6500L (Novozymes) derivada de *Kluyveromices lactis*, y Saphera 2600L (Novozymes) proveniente de *Bifidobacterium bifidum*. La hidrólisis enzimática se llevó a cabo en la leche estandarizada bajo diferentes condiciones de temperatura (10°C y 35°C) y concentración de enzima (0.06% y 0.09%) durante 30 y 60 minutos. Se tomaron muestras a los tiempos indicados y se inactivaron las enzimas calentando a 85°C por 5 minutos (Liu et al., 2019).

Determinación del porcentaje de hidrólisis

El grado de hidrólisis de la lactosa se determinó mediante dos métodos: crioscopia y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). El punto crioscópico de las muestras se midió usando un crioscopio digital (Funke Gerber) y el porcentaje de hidrólisis se calculó según la fórmula descrita por Goff et al. (2022). Para el análisis por HPLC, las muestras fueron desproteinizadas con ácido tricloacético, filtradas y analizadas en un equipo HPLC (Agilent Technologies) con una columna Hi-Plex Ca y detección por índice de refracción, siguiendo la metodología de Akyüz et al. (2021).

Elaboración del manjar deslactosado

El manjar se elaboró a partir de leche de cabra deslactosada (35°C, 60 min, 0.09% Saphera) siguiendo una formulación tradicional (Leite et al., 2020). La leche se mezcló con sacarosa (20% p/p) y glucosa (5% p/p), y se concentró hasta 70°Brix por evaporación a presión reducida. Se envasó en caliente (85°C) en frascos de vidrio y se almacenó a temperatura ambiente hasta su análisis.

Análisis del producto final

El manjar deslactosado fue caracterizado en términos físico-químicos (humedad, cenizas, proteína, grasa, hidratos de carbono, actividad de agua), microbiológicos (recuento total, mohos y levaduras, coliformes) y sensoriales (apariencia, color, olor, sabor, textura), según



los métodos oficiales (Andrews & O'Connor, 2020; Ferrari et al., 2023; ISO 4833-1, 2013) y utilizando un panel entrenado de 8 jueces (Wolf, 2020). Los resultados fueron comparados con los requisitos establecidos por la norma INEN 700:2011 para manjar o dulce de leche (Alfredo & Carbo, 2022).

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de las diferentes condiciones de hidrólisis (temperatura, concentración de enzima y tiempo) sobre el porcentaje de hidrólisis de lactosa. Las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$, utilizando el software Infostat (Barrantes, 2019). Todos los ensayos se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como media \pm desviación estándar.

Además, se aplicó un ANOVA para comparar las características físico-químicas y sensoriales de las dos formulaciones de manjar elaboradas (101 y 325). Los datos del análisis sensorial obtenidos de 50 panelistas no entrenados fueron evaluados mediante estadística descriptiva y ANOVA, considerando un nivel de significancia de $p < 0.05$. En la Tabla 1 se presenta el porcentaje de hidrólisis de lactosa obtenido con las enzimas Lactozym y Saphera a diferentes condiciones de temperatura (10°C y 35°C), concentración de enzima (0.06% y 0.09%) y tiempo (30 y 60 minutos).

Enzima	Temperatura (°C)	Concentración (%)	Tiempo (min)	Hidrólisis (%)
Lactozym	10	0.06	30	24.7 \pm 4.2 ^{^b}
			60	33.8 \pm 2.8 ^{^c}
	35	0.09	30	28.9 \pm 8.3 ^{^b}
			60	34.1 \pm 9.2 ^{^c}
		0.06	30	31.6 \pm 0.2 ^{^c}
			60	69.3 \pm 1.7 ^{^e}
Saphera	10	0.06	30	28.9 \pm 8.3 ^{^b}
			60	33.4 \pm 1.6 ^{^c}
	35	0.09	30	28.9 \pm 8.3 ^{^b}
			60	46.8 \pm 16.2 ^{^d}
		0.06	30	48.1 \pm 12.1 ^{^d}
			60	100.0 \pm 0.0 ^{^f}



		0.09	30	49.1 ± 16.8 ^d
			60	96.7 ± 2.8 ^f

Tabla 1. Porcentaje de hidrólisis de lactosa en leche de cabra tratada con enzimas lactasas

Nota: Los valores representan la media ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (p<0.05).

La Tabla 2 muestra los resultados del análisis sensorial de las formulaciones de manjar 101 y 325, donde se observó una diferencia significativa únicamente en el atributo de textura.

Atributo	Formulación 101	Formulación 325
Color	5.32 ± 1.04 ^a	5.42 ± 1.34 ^a
Sabor	7.04 ± 1.52 ^a	7.16 ± 1.63 ^a
Grumosidad	2.74 ± 2.47 ^a	2.50 ± 2.28 ^a
Textura	7.30 ± 1.54 ^b	5.80 ± 1.69 ^a
Aroma	8.90 ± 1.68 ^a	8.44 ± 1.96 ^a
Aceptabilidad	8.90 ± 1.46 ^a	8.72 ± 1.64 ^a

Tabla 2. Evaluación sensorial de las formulaciones de manjar deslactosado

Nota: Los valores representan la media ± desviación estándar (n=50). Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (p<0.05).

RESULTADOS

Eficiencia de hidrólisis de las enzimas lactasas

Los resultados del porcentaje de hidrólisis de lactosa en leche de cabra tratada con las enzimas Lactozym y Saphera a diferentes condiciones de temperatura, concentración y tiempo se presentan en la Tabla 1. Se observó que ambas enzimas fueron capaces de hidrolizar efectivamente la lactosa, alcanzando porcentajes superiores al 95% en las condiciones óptimas de 35°C, 0.09% de enzima y 60 minutos de incubación. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Leddomado et al. (2021), quienes obtuvieron una hidrólisis del 99% de lactosa en leche de vaca utilizando β-galactosidasa de *K. lactis* en condiciones similares.

El análisis estadístico reveló que tanto la temperatura como la concentración de enzima tuvieron un efecto significativo (p<0.05) en el grado de hidrólisis alcanzado. A 35°C, ambas



enzimas mostraron una mayor eficiencia en comparación con los tratamientos a 10°C, lo cual se atribuye a que esta temperatura se encuentra cercana al óptimo reportado para la actividad de estas β -galactosidasas (Kolev et al., 2022; Roy et al., 2021). Además, se evidenció que al aumentar la concentración de enzima de 0.06% a 0.09%, se obtuvieron mayores porcentajes de hidrólisis en menor tiempo, lo que indica que la velocidad de reacción es dependiente de la concentración de enzima (Bener et al., 2018).

Al comparar el desempeño de las enzimas Lactozym y Saphera, se observó que a 35°C y 0.09% de enzima, ambas alcanzaron porcentajes de hidrólisis similares (99.6% y 96.7%, respectivamente) en 60 minutos, sin diferencias significativas entre ellas ($p>0.05$). Estos resultados sugieren que, en las condiciones óptimas, tanto la enzima fúngica como la bacteriana son igualmente efectivas para hidrolizar la lactosa en leche de cabra. Estos hallazgos concuerdan con los reportados por Selvarajan et al. (2019), quienes no encontraron diferencias significativas en la eficiencia de hidrólisis de lactosa entre β -galactosidasas de *K. lactis* y *B. bifidum* en leche de vaca.

Caracterización del manjar deslactosado

El manjar elaborado con leche de cabra deslactosada mediante el tratamiento enzimático con Saphera (35°C, 0.09%, 60 min) cumplió con los requisitos físico-químicos y microbiológicos establecidos por la norma INEN 700:2011 para dulce de leche o manjar. El producto presentó un contenido de humedad de $30.2 \pm 0.5\%$, grasa de $7.5 \pm 0.3\%$, proteína de $5.8 \pm 0.2\%$ y azúcares totales de $55.8 \pm 1.2\%$, valores que se encuentran dentro de los rangos permitidos por la legislación ecuatoriana (INEN, 2011). Además, los recuentos microbiológicos de aerobios mesófilos, mohos y levaduras, y coliformes estuvieron por debajo de los límites máximos establecidos, indicando una adecuada calidad higiénico-sanitaria del producto.

En cuanto a las propiedades sensoriales, la Tabla 2 muestra los resultados de la evaluación de las formulaciones de manjar 101 y 325 realizada por 50 panelistas no entrenados. No se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) entre las formulaciones para los atributos de color, sabor, grumosidad, aroma y aceptabilidad general. Ambos manjares presentaron un color caramelo claro, sabor dulce característico, ausencia de grumos, aroma agradable y una alta aceptabilidad por parte de los consumidores. Estos resultados indican que el uso de leche de cabra deslactosada no afectó negativamente las características sensoriales típicas del



manjar, lo cual concuerda con lo reportado por otros autores para dulce de leche elaborado con leche de cabra (Buran et al., 2021; Ribeiro et al., 2024).

Sin embargo, se encontró una diferencia significativa ($p < 0.05$) en la textura de las formulaciones, siendo la 101 percibida como más firme que la 325. Esta diferencia podría atribuirse a variaciones en la composición de las materias primas o en los parámetros de procesamiento, factores que se ha demostrado influyen en la textura final del dulce de leche (Costa et al., 2023; Dekker et al., 2019).

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que es posible obtener un manjar de buena calidad sensorial y fisicoquímica a partir de leche de cabra deslactosada mediante el uso de enzimas β -galactosidasas. Este desarrollo amplía las alternativas de productos lácteos bajos en lactosa en el mercado y brinda una opción saludable para los consumidores intolerantes a este azúcar. Además, promueve el aprovechamiento de la leche de cabra, una materia prima con excelentes propiedades nutricionales pero subutilizada en muchos países (Gebremichael et al., 2019; Ranadheera et al., 2019).

CONCLUSIONES

Las enzimas lactasas de *Kluyveromices lactis* y *Bifidobacterium bifidum* demostraron ser eficientes para hidrolizar la lactosa presente en la leche de cabra, alcanzando porcentajes de hidrólisis superiores al 95% en las condiciones óptimas de 35°C, 0.09% de enzima y 60 minutos de incubación. Ambas enzimas mostraron un desempeño similar en estas condiciones.

Es tecnológicamente viable elaborar un manjar deslactosado a partir de leche de cabra hidrolizada enzimáticamente. El producto obtenido cumplió con los requisitos físico-químicos y microbiológicos establecidos por la norma INEN 700:2011 para dulce de leche o manjar, y presentó características sensoriales adecuadas y una alta aceptabilidad por parte de los consumidores.

El desarrollo de este manjar deslactosado de leche de cabra satisface una necesidad del mercado al brindar una alternativa saludable para las personas intolerantes a la lactosa. Además, agrega valor a la leche de cabra, una materia prima con excelentes propiedades nutricionales pero subutilizada en muchos países.



Se recomienda continuar investigando las aplicaciones de estas enzimas lactasas en el desarrollo de otros productos lácteos deslactosados, como quesos, yogures y helados, aprovechando las ventajas tecnológicas y nutricionales de la leche de cabra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akyüz, E., Bácskan, K., Tütem, E., & Apak, R. (2021). High performance liquid chromatographic method with post-column detection for quantification of reducing sugars in foods. *Journal of Chromatography A*, 1660(1), 462664. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.462664>
- Alfredo, M., & Carbo, M. (2022). Estudio de mercado para la producción y comercialización de un dulce de leche sabor a cacao en el Cantón Chone Market study for the production and commercialization of a cocoa-flavored dulce de leche in the Chone Canton Estudio de mercado para a produção e. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, 7(9), 1213–1221. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i9>
- Andrews, R., & O'Connor, P. F. (2020). NIOSH manual of analytical methods (NMAM), 5th edition. National Institute for Occupational Safety and Health. Division of Physical Sciences and Engineering, 1(5), 1–935.
- Barrantes, L. (2019). Diferencias en la estimación del coeficiente de curtosis en diferentes softwares estadísticos. *Revista E-Agronegocios*, 5(2), 1–14. <https://doi.org/10.18845/rea.v5i2.4456>
- Bener, M., Akyüz, E., Sen, F., Başkan, K., Tütem, E., & Apak, R. (2018). A simple automated microplate method for determining reducing sugars in food extracts and synthetic serum using cupric-neocuproine as reductant. *Turkish Journal of Chemistry*, 42(3), 794–807. <https://doi.org/10.3906/kim-1707-30>
- Buran, Lí., Akal, C., Ozturkoglu, S., & Yetisemiyen, A. (2021). Rheological, sensorial and volatile profiles of synbiotic kefir produced from cow and goat milk containing varied probiotics in combination with fructooligosaccharide. *LWT*, 148(1), 111591. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111591> Obtener derechos y contenidos



- Costa, A., Oliveira, M., De, D., Oliveira, E., De, A., Silva, Á., Da, F., Feitosa, B., Araújo, J., & Fernandes, M. (2023). Cappuccino-flavored dulce de leche: Development, characterization and correlation analysis. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14(September), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100784>
- Dekker, P., Koenders, D., & Bruins, M. (2019). Lactose-free dairy products: Market developments, production, nutrition and health benefits. *Nutrients*, 11(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/nu11030551>
- Fassio, F., Facioni, M., & Guagnini, F. (2018). Lactose maldigestion, malabsorption, and intolerance: a comprehensive review with a focus on current management and future perspectives. *Nutrients*, 10(11), 1–12. <https://doi.org/10.3390/nu10111599>
- Ferrari, S., Ástvaldsson, Á., Jernberg, T., Stingl, K., Messelhäuser, U., & Skarin, H. (2023). Validation of PCR methods for confirmation and species identification of thermotolerant *Campylobacter* as part of EN ISO 10272 - Microbiology of the food chain - Horizontal method for detection and enumeration of *Campylobacter* spp. *International Journal of Food Microbiology*, 388(August 2022), 110064. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.110064>
- Gebremichael, B., Girmay, S., & Gebru, M. (2019). Camel milk production and marketing: Pastoral areas of Afar, Ethiopia. *Pastoralism*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13570-019-0147-7>
- Goff, H., Hynes, E., Perotti, M., Kelly, P., Hogan, S., Goff, H., Hynes, E., Perotti, M., Kelly, P., & Hogan, S. (2022). Significance of Lactose in Dairy Products. In *Advanced Dairy Chemistry: Volume 3: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents* (pp. 39–104). Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-92585-7_3
- Guo, M. (2019). *Whey protein production, chemistry, functionality, and applications*. John Wiley & Sons. [https://books.google.es/books?id=AymFDwAAQBAJ&lpg=PP11&ots=WixTICJ0UV&dq=Guo%2C M. \(2019\). Whey Protein Production%2C Chemistry%2C Functionality and Applications \(1st ed.\). Wiley.&lr&hl=es&pg=PP12#v=onepage&q=Guo, M. \(2019\). Whey Protein Production, Chemistry, Functionality and Applications \(1st ed.\). Wiley.&f=false](https://books.google.es/books?id=AymFDwAAQBAJ&lpg=PP11&ots=WixTICJ0UV&dq=Guo%2C%20M.%20(2019).%20Whey%20Protein%20Production%2C%20Chemistry%2C%20Functionality%20and%20Applications%20(1st%20ed.).%20Wiley.&lr&hl=es&pg=PP12#v=onepage&q=Guo,%20M.%20(2019).%20Whey%20Protein%20Production,%20Chemistry,%20Functionality%20and%20Applications%20(1st%20ed.).%20Wiley.&f=false)



- INEN, N. T. E. N. T. E. (2011). 700.(2011). Manjar o dulce de leche. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1(1), 8.
- ISO 4833-1. (2013). Horizontal method for the enumeration of microorganisms Part 1: Colony count at 30 °C by the pour plate technique. International Standard, 1(June), 1–14. <https://www.sis.se/std-916561> ISO
- Janifer, X., Karna, R., & Rakesh, S. (2018). β -galactosidase: Biotechnological applications in food processing. *Journal of Food Biochemistry*, 42(5), e12564. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfbc.12564>
- Kazandjiev, V., & Georgieva, V. (2020). Changes in the Agro-Climatic Conditions in Bulgaria at the End of the 20th and the Beginning of the 21st Century. In *Agrometeorology* (pp. 43–56). IntechOpen. [https://books.google.es/books?id=b74zEAAAQBAJ&lpg=PA43&ots=n8itIxuPhX&dq=Zárate%2C G.%2C Rodríguez%2C V.%2C Nogués%2C E.%2C Reyes Maldonado%2C E.%2C %26 Samaniego Vaesken%2C M. de L. \(2020\). Lactose-Free Products%3A Technological Aspects and Health Benefits. In J. del Castillo-Santaella \(Ed.\)%2C Lactose. IntechOpen. https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.5772%2Fintechopen.93808&lr&hl=es&pg=PA43#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=b74zEAAAQBAJ&lpg=PA43&ots=n8itIxuPhX&dq=Zárate%2C G.%2C Rodríguez%2C V.%2C Nogués%2C E.%2C Reyes Maldonado%2C E.%2C %26 Samaniego Vaesken%2C M. de L. (2020). Lactose-Free Products%3A Technological Aspects and Health Benefits. In J. del Castillo-Santaella (Ed.)%2C Lactose. IntechOpen. https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.5772%2Fintechopen.93808&lr&hl=es&pg=PA43#v=onepage&q&f=false)
- Kolev, P., Rocha, D., Ruiz, S., Ortega, J., Jiménez, R., & García, I. (2022). Screening and characterization of β -galactosidase activity in lactic acid bacteria for the valorization of acid whey. *JDS Communications*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0145>
- Ledomado, L., Silva, R., Guimarães, J., Balthazar, C., Ramos, G., Freitas, M., Duarte, M., Neto, R., Tavares, M., & Pimentel, T. (2021). Technological benefits of using inulin and xylooligosaccharide in dulce de leche. *Food Hydrocolloids*, 110(1), 106158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106158>
- Liu, P., Xie, J., Liu, J., & Ouyang, J. (2019). A novel thermostable β -galactosidase from *Bacillus coagulans* with excellent hydrolysis ability for lactose in whey. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 9740–9748. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16654>



- Nayik, G., Jagdale, Y., Gaikwad, S., Devkate, A., Dar, A., & Ansari, M. (2022). Nutritional Profile, Processing and Potential Products: A Comparative Review of Goat Milk. *Dairy*, 3(3), 622–647. <https://doi.org/10.3390/dairy3030044>
- Ranadheera, C., Evans, C., Baines, S., Balthazar, C., Cruz, A., Esmerino, E., Freitas, M., Pimentel, T., Wittwer, A., & Naumovski, N. (2019). Probiotics in goat milk products: delivery capacity and ability to improve sensory attributes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 867–882. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12447>
- Ribeiro, A., Magnani, M., Baú, T., Esmerino, E., Cruz, A., & Pimentel, T. (2024). Update on emerging sensory methodologies applied to investigating dairy products. *Current Opinion in Food Science*, 1(1), 101135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101135>
- Roy, D., Ye, A., Moughan, P., & Singh, H. (2021). Structural changes in cow, goat, and sheep skim milk during dynamic in vitro gastric digestion. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1394–1411. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18779>
- Selvarajan, E., Nivetha, A., Subathra, C., & Mohanasrinivasan, V. (2019). Nanoimmobilization of β -galactosidase for lactose-free product development. *Nanoscience and Biotechnology for Environmental Applications*, 1(1), 199–223. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-97922-9_7
- Verruck, S., Dantas, A., & Prudencio, E. S. (2019). Functionality of the components from goat's milk, recent advances for functional dairy products development and its implications on human health. *Journal of Functional Foods*, 52(1), 243–257. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.017>
- Wolf, M. (2020). Sensory testing methods. ASTM International. <https://doi.org/https://doi.org/10.1520/MNL26-3RD-EB>