

CORRELACIÓN *IN SITU* ENTRE LA AUTÓLISIS, PROTEÓLISIS, ANTIOXIDANTES Y NaCl EN QUESO FRESCO COMERCIAL

Daniela-Monserrat Galvan-Martinez, Ana-Isabel Mireles-Arriaga, Ma. de Lourdes Pérez-Zavala, Rubén Damián Elías-Román y Gabriela Rodríguez-Hernández

RESUMEN

Los quesos son productos elaborados con la cuajada de la leche de varias especies animales. Uno de sus componentes clave es la sal, que influye bioquímicamente (en la autólisis, proteólisis, entre otras), impactando directamente en aspectos de calidad tecnológica y organolépticos. En este sentido, el rompimiento de las proteínas puede generar péptidos bioactivos (con funciones benéficas específicas para la salud), como los antioxidantes. El objetivo del presente estudio fue evaluar y correlacionar cinco marcas de queso fresco de diferentes queserías del estado de Guanajuato, México, en términos de las siguientes variables: a) el porcentaje de NaCl, por titulación, con variabilidad significativa

entre marcas; b) la autólisis, por medio de una cinética de 400 minutos, detectándose diferencias en las velocidades medias; c) la concentración peptídica total, por el método de Bradford, obteniéndose resultados en los quesos que van de los 0,03 a los 0,05 mg/ml; d) la actividad proteolítica, que mostró diferencias significativas entre marcas; e) la actividad antioxidante, para la cual en todos los extractos de los quesos se detectó inhibición del radical 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) de 21,32 a 90,31%, con diferencias significativas entre marcas. Adicionalmente, se observaron fuertes correlaciones entre las variables analizadas, tanto directa como inversamente proporcionales.

Introducción

Los quesos son productos elaborados con la cuajada de leche estandarizada y pasteurizada, con o sin adición de crema, obtenida por la coagulación enzimática o ácida de sus proteínas, pudiendo tener cultivos lácticos (principalmente bacterias ácido-lácticas o mohos), y con o sin tratamiento ulterior por calentamiento, drenada, prensada o no, con sales fundentes e ingredientes comestibles opcionales, dando lugar a las diferentes variedades de quesos, ya sean frescos,

madurados o procesados. Los quesos frescos presentan sabor suave, no tienen corteza, son altos en humedad (NOM-121-SSA1-1994) y, por tanto, tienen un período de vida útil muy limitado (Sen *et al.*, 2023).

Por otra parte, la autólisis es un tipo de lisis celular microbiana de los cultivos iniciadores de los quesos, generada por autolisinas, es decir, enzimas intracelulares que pueden actuar en los sustratos más fácilmente, potenciando los compuestos del sabor y del olor en los quesos (Piraino *et al.*, 2008).

Adicionalmente, uno de los ingredientes clave del queso es la sal; esta determina en gran parte la calidad del producto, debido a sus efectos sobre la composición y las características sensoriales del queso, lo que influye de manera importante en el pH, el potencial redox, la actividad de agua, los cultivos iniciadores, la inhibición de patógenos y la actividad enzimática, principalmente en la proteolítica, es decir, la hidrólisis de las proteínas durante la manufactura y maduración (Guinee, 2004), lo que

genera una liberación importante de péptidos, principalmente derivados de las caseínas, ya que estas tienen una estructura abierta y flexible, lo cual las hace muy susceptibles a la hidrólisis.

Las proteínas lácteas se componen de alrededor de 200 aminoácidos en sus secuencias y tienen la capacidad de liberar unos 20,000 tipos distintos de péptidos a partir de sus moléculas, generalmente de tamaño pequeño, de 2 a 20 aminoácidos y <3 kDa de los que presentan actividades biológicas

PALABRAS CLAVE / Autolíticos / Péptidos Bioactivos / Proteolíticos / Radical DPPH / Sal /

Recibido: 01/11/2024. Modificado: 25/11/2024. Aceptado: 28/11/2024.

Daniela-Monserrat Galvan-Martinez. Ingeniera, Universidad de Guanajuato, México. Egresada, Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, México.

Ana-Isabel Mireles-Arriaga. Ingeniera Agrónomo Industrial, Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México, México. Profesora de Tiempo Completo, Departamento de

Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, México. <https://orcid.org/0000-0001-9041-8264>.

Ma. de Lourdes Pérez-Zavala. Licenciada en Administración de Empresas con Maestría en Administración de Personal y Doctorado en Administración con Línea en Economía Financiera por la Universidad Iberoamericana León, México. Profesora de Tiempo Parcial, Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Universidad de

Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, México. <https://orcid.org/0000-0001-6228-9370>.

Rubén Damián Elías-Román. Ingeniero Agrónomo, Maestría en fruticultura y Doctorado en ciencias en Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura. Profesor de Tiempo Completo, Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, México. <https://orcid.org/0000-0001-5841-2911>

Gabriela Rodríguez-Hernández (Autora de correspondencia).

Licenciada en Química Bacterióloga Parasitóloga, Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, PhD en Tecnología de Productos de Origen Animal, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. Profesora de Tiempo Completo, Universidad de Guanajuato. Dirección: Ex-Hacienda El Copal km 9 Carretera Irapuato-Silao. C.P. 36500. Ciudad Irapuato, Guanajuato, México e-mail: gabriela.rodriguez@ugto.mx <https://orcid.org/0000-0002-5412-4100>.

IN SITU CORRELATION BETWEEN AUTOLYSIS, PROTEOLYSIS, ANTIOXIDANTS AND NaCl IN FRESH COMMERCIAL CHEESE

Daniela-Monserrat Galván-Martínez, Ana-Isabel Mireles-Arriaga, Ma. de Lourdes Pérez-Zavala, Rubén Damián Elías-Román and Gabriela Rodríguez-Hernández

SUMMARY

Cheeses are products made from the curd of milk from various animal species. One of their key components is salt, which biochemically influences (in autolysis, proteolysis, among others), directly impacting aspects of technological and organoleptic quality. In this sense, the breakdown of proteins can generate bioactive peptides (with specific health benefits), such as antioxidants. The objective of this study was to evaluate and correlate five brands of fresh cheese from different dairies in the state of Guanajuato, Mexico, in terms of the following variables: a) the percentage of NaCl, by titration, with significant variability be-

tween brands; b) autolysis, through a 400-minute kinetic assay, with differences detected in average velocities; c) total peptide concentration, by the Bradford method, with results in the cheeses ranging from 0.03 to 0.05mg/ml; d) proteolytic activity, which showed significant differences between brands; e) antioxidant activity, for which inhibition of the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical was detected in all cheese extracts, ranging from 21.32 to 90.31%, with significant differences between brands. Additionally, strong correlations were observed between the analyzed variables, both directly and inversely proportional.

CORRELAÇÃO IN SITU ENTRE AUTÓLISE, PROTEÓLISE, ANTIOXIDANTES E NaCl EM QUEIJO FRESCO COMERCIAL

Daniela-Monserrat Galván-Martínez, Ana-Isabel Mireles-Arriaga, Ma. de Lourdes Pérez-Zavala, Rubén Damián Elías-Román e Gabriela Rodríguez-Hernández

RESUMO

Os queijos são produtos elaborados com a coalhada do leite de várias espécies animais. Um de seus componentes chave é o sal, que influencia bioquimicamente (na autólise, proteólise, entre outros), impactando diretamente aspectos da qualidade tecnológica e organoléptica. Nesse sentido, a quebra das proteínas pode gerar peptídeos bioativos (com funções benéficas específicas para a saúde), como os antioxidantes. O objetivo deste estudo foi avaliar e correlacionar cinco marcas de queijo fresco de diferentes queijarias do estado de Guanajuato, México, em termos das seguintes variáveis: a) o percentual de NaCl, por titulação, com variabilidade significativa entre as marcas; b) a

autólise, por meio de uma cinética de 400 minutos, detectando-se diferenças nas velocidades médias; c) a concentração peptídica total, pelo método de Bradford, obtendo-se resultados nos queijos que variam de 0,03 a 0,05mg/ml; d) a atividade proteolítica, que mostrou diferenças significativas entre as marcas; e) a atividade antioxidante, para a qual em todos os extratos dos queijos foi detectada inibição do radical 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) de 21,32 a 90,31%, com diferenças significativas entre as marcas. Além disso, foram observadas fortes correlações entre as variáveis analisadas, tanto de forma direta quanto inversamente proporcional.

son llamados péptidos bioactivos (Kamau *et al.*, 2010), como los antioxidantes, que tienen la función de prevenir la formación de radicales libres.

Adicionalmente, la leche y sus derivados contienen antioxidantes como vitaminas, enzimas y proteínas, además de los péptidos bioactivos (Pihlanto, 2006), cuya presencia se debe al posicionamiento de los aminoácidos y a su carácter hidrofóbico (Sarmadi e Ismail, 2010).

Por lo tanto, dado que todas estas variables influyen directamente en las características funcionales y tecnológicas de los quesos, en este estudio se

llevó a cabo un análisis entre diferentes marcas de quesos comerciales a base de leche de vaca, con el objetivo de correlacionar su autólisis, proteólisis, concentración peptídica, actividad antioxidante y los porcentajes de NaCl.

Materiales y Métodos

Se evaluaron cinco marcas de quesos frescos que se obtuvieron de diferentes puntos comerciales de Irapuato, Guanajuato, México, ciudad ubicada en las siguientes coordenadas: Longitud 101°32'31.20" W, 101°08'27.60" W, Latitud 20°30'03.96" N, 20°50'54.24"

N, según el INEGI (2024), mismas que fueron transportadas con hielo potable, hasta su análisis, según las indicaciones de la NOM-109-SSA1-1994.

Contenido de NaCl. El porcentaje de NaCl fue determinado por lo descrito en la NMX-F-328-S-1981. Para ello, se maceraron 5 de cada muestra de queso por triplicado con 50 ml de agua destilada. Posteriormente, las mezclas se calentaron a 85°C durante 2 minutos y se dejaron enfriar a 25°C. Después, se aforaron a 100ml, se agitaron y se filtraron utilizando papel Whatman no. 1 de 150mm. Se tomaron 5ml de cada filtrado, se

añadieron 3 gotas de K₂Cr₂O₇ y se tituló con AgNO₃ 0.1N hasta obtener una coloración naranja ladrillo. Posteriormente, se calculó el porcentaje de NaCl usando la Ecuación 1. Para esta prueba, se realizó un ensayo en blanco siguiendo los procedimientos antes descritos, excluyendo la muestra.

$$\text{NaCl (\%)} = \frac{(0.0585) (N) (V_1 - V_0)}{M} \times 100 \quad (1)$$

donde: V₁: volumen de solución de nitrato de plata gastado en la titulación de la muestra, en cm³, y V₀: volumen de solución de nitrato de plata gastado en la titulación del blanco, en cm³.

Actividad autolítica. Según Wilkinson *et al.* (1994), se maceraron 5g de cada queso por triplicado con 10ml de solución buffer de fosfatos (pH 7, 0.05M en sacarosa) durante 2 minutos. La mezcla se filtró (papel Whatman no. 1 de 150mm) y se determinó la autólisis de cada muestra utilizando un espectrofotómetro (Thermo Scientific modelo Genesys 10S UV-VIS) durante 400 minutos a λ 595nm. Los datos se ajustaron utilizando el software DMFit versión 2.0 basado en la ecuación de Baranyi y Roberts (1994), determinándose los parámetros sigmoideos de velocidad inicial y velocidad media.

Obtención de los extractos hidrosolubles. Según Donkor *et al.* (2007), se tomaron 7,5g de cada queso por triplicado, se maceraron y se mezclaron con 30ml de ácido tricloroacético (ATC) al 0,75% (Sigma-Aldrich). Las mezclas se filtraron (papel Whatman no. 1 de 150mm), obteniéndose los extractos hidrosolubles de los quesos (EHQ), que fueron congelados a -20°C hasta su análisis.

Determinación de la concentración peptídica total. La concentración de los péptidos en cada uno de los EHQ se determinó por triplicado utilizando el método de Bradford (1976). Este método se basa en la reacción de las proteínas con el colorante azul brillante de Coomassie G-250 (Sigma-Aldrich), formando un compuesto colorido que absorbe a λ 595nm. La lectura de absorbancia se realizó en un espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Visible, Thermo, USA). Además, se construyó una curva de calibración utilizando siete estándares de Albúmina de Suero Bovino (BSA) en solución salina 0,15M (Merck Millipore).

Actividad proteolítica. La proteólisis de cada uno de los EHQ se determinó por triplicado, basada en la reacción de las aminos primarias (NH₃) libres con el O-phthaldialdehído (OPA) (Sigma-Aldrich) y β -mercaptoetanol (Sigma-Aldrich), según el método de

Church *et al.* (1983). El reactivo OPA se preparó con: SDS (Sigma-Aldrich), tetraborato de sodio (Sigma-Aldrich), OPA, metanol (Sigma-Aldrich), β -mercaptoetanol y agua grado HPLC. Las lecturas se realizaron en celdas de cuarzo tras dos minutos de incubación a temperatura ambiente, evitando la exposición a la luz. La absorbancia se midió en un espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Visible, Thermo, USA) a λ 340nm.

Actividad antioxidante. Se evaluó con la técnica descrita por Pritchard *et al.* (2010), la cual determina actividades de captura del radical DPPH en presencia de una sustancia antioxidante (en este caso el contenido de los EHQ), midiendo el potencial de inactivación de dicho radical en medio acuoso. Para ello, se utilizó el radical libre DPPH a una concentración de 10,2 μM en etanol y se generaron dos concentraciones finales: 24 μM y 36 μM . Las muestras se centrifugaron a 9470g durante dos minutos (centrífuga HERMLE Z326K) y se usó como control agua grado HPLC disuelta en el reactivo DPPH. Posteriormente, se midió la absorbancia a 517nm. Todas las muestras fueron analizadas por triplicado, determinándose por diferencia con el control los porcentajes de actividad antioxidante. El porcentaje de inhibición se calculó con la Ecuación 2.

$$\text{Inhibición DPPH (\%)} = \frac{\text{Acontrol} - \text{Afiltrado}}{\text{Acontrol}} \times 100 \quad (2)$$

donde: Acontrol: absorbancia del control a 517nm, y

Aextracto: absorbancia del extracto a λ 517nm.

Análisis estadístico. Los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (2021), con un análisis de varianza usando el PROC GLM (Procedimiento de Modelo Lineal General). Para la comparación de medias, se utilizó la prueba de TUKEY, considerando como variables clasificatorias las características determinadas en los quesos comerciales (porcentaje de NaCl, concentración peptídica, actividad antioxidante, proteólisis y autólisis), con sus respectivas repeticiones por triplicado. El modelo utilizado fue el siguiente: $y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$ donde: y_{ij} : variable de respuesta en la j -ésima repetición de la i -ésima marca de queso. μ : media general. τ_i : efecto fijo de la i -ésima marca de queso. ϵ_{ij} : error experimental.

Adicionalmente, se realizó un análisis de correlaciones de Pearson utilizando el procedimiento CORR (correlaciones), entre las variables NaCl, concentración peptídica,

actividades autolíticas, proteolíticas y antioxidantes.

Resultados y Discusión

Contenido de NaCl (%). Se observó que existieron diferencias significativas entre marcas (Tabla I). La NOM-121-SSA1-1994, establece un máximo de 0,3% de sales de sodio en quesos procesados, solo una de las cinco, cumple con este criterio (marca número 5).

Actividad autolítica. Transcurridos los 400 minutos de las cinéticas de actividad autolítica (Tabla II), respecto a la velocidad inicial (Yo), no se presentaron diferencias significativas entre marcas. Esto indica que la actividad autolítica comienza simultáneamente en los quesos. Sin embargo, la velocidad media (rate) mostró diferencias significativas entre marcas, con valores negativos que indican decremento (muerte celular). La marca 4, seguida por la 2, presentó la menor velocidad media de muerte celular. Según Wilkinson *et al.* (1994), las diferencias en la autólisis están influenciadas

TABLA I
PORCENTAJE DE NaCl EN QUESO FRESCO COMERCIAL

Marcas	NaCl (%)
1	0,83 \pm 0,44 ^{ba}
2	1,42 \pm 0,17 ^a
3	1,30 \pm 0,29 ^a
4	0,83 \pm 0,33 ^{ba}
5	0,29 \pm 0,11 ^b

^{a,b}Literales diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre marcas ($p < 0,05$).

TABLA II
PARÁMETROS SIGMOIDALES DE VELOCIDAD AFECTADOS POR LA ACTIVIDAD AUTOLÍTICA DURANTE 400 MINUTOS EN QUESOS FRESCOS COMERCIALES

Marcas	Rate (Velocidad media)	Yo (Velocidad inicial)
1	-0,00098 \pm 0,00 ^a	3,12 \pm 0,20 ^a
2	-0,00190 \pm 0,00 ^{ab}	3,26 \pm 0,19 ^a
3	-0,00065 \pm 0,00 ^a	3,11 \pm 0,18 ^a
4	-0,00617 \pm 0,00 ^b	3,48 \pm 0,00 ^a
5	-0,00067 \pm 0,00 ^a	3,49 \pm 0,09 ^a

^{a,b}Literales diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre marcas ($p < 0,05$). Densidad óptica, $\lambda=595\text{nm}$.

por el proceso de elaboración de los quesos, impactando también en sus propiedades sensoriales.

Concentración peptídica total. Se presentaron diferencias significativas entre marcas (Tabla III), con una concentración peptídica que osciló de 0,05 a 0,03mg/ml (ecuación de la curva de calibración con BSA, $y = 1,1889x - 0,5817$, $R^2 = 0,9936$). Estos valores son bajos en comparación con los reportados por Alonzo-Paz *et al.* (2016), quienes encontraron concentraciones de 5,4 a 2,4 mg en queso Cotija. Esto puede atribuirse al porcentaje de proteólisis de las muestras.

Actividad proteolítica. Se presentaron diferencias significativas entre las marcas analizadas (Tabla IV). Los resultados obtenidos son comparables con los de Donkor *et al.* (2007), quienes analizaron la actividad proteolítica en extractos de yogurt elaborado con leche entera de vaca. También, Piraino *et al.* (2008) observaron diferencias en la actividad proteolítica al aislar bacterias de quesos, dependiendo de la cepa utilizada. En este estudio, se observó proteólisis general en las muestras, mostrando diferencias entre marcas. Los resultados coinciden con lo reportado por Rodríguez-Hernández y Chávez-Martínez (2018) en extractos de yogurt, donde la actividad proteolítica promedio osciló entre 1,66 y 90,44% (absorbancias a λ 340nm de 1,01 a 1,65).

Actividad antioxidante. Todas las muestras presentaron actividad antioxidante, con diferencias significativas entre ellas (Tabla V), mostrando porcentajes de inhibición del radical DPPH que oscilaron entre 21,32 % y 90,31 %. Estas diferencias se deben principalmente a las dos concentraciones del reactivo DPPH utilizadas (24 μ M y 36 μ M).

Se destacó que los quesos analizados inhibieron el radical DPPH en ambas concentraciones, aunque en general se observó un mayor porcentaje de inhibición con la concentración de 24 μ M. Esto sugiere que los compuestos presentes en los

TABLA III
CONCENTRACIÓN PEPTÍDICA TOTAL DE LOS
EXTRACTOS HIDROSOLUBLES EN QUESOS
FRESCOS COMERCIALES

Marcas	Concentración (mg/ml)
1	0.05 ± 0.00 ^a
2	0.04 ± 0.00 ^b
3	0.03 ± 0.00 ^c
4	0.05 ± 0.00 ^a
5	0.04 ± 0.00 ^b

^{a,b} Literales diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre marcas ($p < 0,05$).

TABLA IV
ACTIVIDAD PROTEOLÍTICA DE LOS EXTRACTOS
HIDROSOLUBLES EN QUESOS FRESCOS COMERCIALES

Marcas	Concentración (mg/ml)
1	0.79±0.02 ^a
2	0.67±0.00 ^b
3	0.60±0.06 ^b
4	0.38±0.00 ^c
5	0.39±0.05 ^c

^{a,b,c} Literales diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre marcas ($p < 0,05$).

extractos de los quesos tienen mayor capacidad antioxidante cuando el DPPH está en menor concentración. Al incrementar la concentración de DPPH, disminuye la eficiencia de los compuestos antioxidantes.

De este experimento se puede destacar que todos los quesos analizados presentan inhibición al radical DPPH con ambas concentraciones empleadas, no obstante, cabe resaltar que se observó de manera general, un porcentaje de

inhibición más alto con la concentración 24 μ M que con la 36 μ M. Esto sugiere que los compuestos presentes en los extractos de los quesos tienen mayor capacidad antioxidante cuando el DPPH está en menor concentración. Al incrementar la concentración de DPPH, disminuye la eficiencia de los compuestos antioxidantes. En comparación con los resultados obtenidos, Abadía-García *et al.* (2013) y Kadyan *et al.* (2021), también observaron actividad

antioxidante en péptidos de queso cottage y bebidas de suero de leche, respectivamente, independientemente de los cultivos iniciadores usados. Por otra parte, Alenisan *et al.* (2017), reportó porcentajes de inhibición del DPPH entre 20% y 26% en yogurt y leche.

Análisis de correlación de Pearson. Se determinaron las correlaciones entre las variables analizadas para cada marca de queso, considerándose como altas las superiores a 0,5 (Tabla VI). Se detectaron correlaciones tanto positivas (directas) como negativas (inversas). La actividad antioxidante mostró correlación alta con la actividad proteolítica (0,51 a 0,92 en las cinco marcas).

La concentración peptídica (mayor a 0,79 en tres de las cinco marcas). La concentración de NaCl se correlacionó con: la actividad proteolítica (superior a 0,80 en tres marcas), la autólisis (superior a 0,59 en tres marcas). La autólisis, a su vez, se correlacionó con la actividad antioxidante en tres marcas, superando el 0,51.

Estos resultados indican que las variables están interrelacionadas en quesos frescos, independientemente de las diferencias propias de las marcas comerciales. Los compuestos antioxidantes en la leche y sus derivados, como el queso, incluyen: enzimas y vitaminas (principalmente la vitamina E, según Pihlanto, 2006), proteínas lácteas (caseínas, lactoferrina y β -lactoglobulina) y péptidos bioactivos con

TABLA V
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS EXTRACTOS HIDROSOLUBLES EN QUESOS
FRESCOS COMERCIALES

Marcas	Inhibición a 24 μ M (%)	Inhibición a 36 μ M (%)
1	89,13 ± 1.18 ^{aA}	47,69 ± 2,87 ^{bB}
2	87,56 ± 1.63 ^{baA}	48,64 ± 3,90 ^{bbB}
3	84,83 ± 1,89 ^{baA}	28,24 ± 6,92 ^{cbB}
4	42,87 ± 4,76 ^{dA}	52,95 ± 1,92 ^{bbB}
5	76,93 ± 3,34 ^{caA}	67,73 ± 2,90 ^{abB}

^{a,b,c} Literales diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre marcas ($p < 0,05$).

^{A,B} Literales diferentes en un mismo renglón indican diferencias significativas entre concentraciones de reactivo DPPH ($p < 0,05$).

TABLA VI
CORRELACIÓN DE PEARSON (R) PARA VARIABLES OBTENIDAS EN QUESO FRESCO COMERCIAL

VARIABLES	NaCl	AA	AU	CPT	AP
Marca 1					
NaCl	1,00				
AA	0,61	1,00			
AU	0,35	0,62	1,00		
CPT	-0,43	-0,17	0,36	1,00	
AP	-0,16	-0,75	-0,89	-0,39	1,00
Marca 2					
NaCl	1,00				
AA	-0,39	1,00			
AU	0,59	-0,11	1,00		
CPT	-0,51	0,91	-0,29	1,00	
AP	-0,92	0,51	-0,41	0,48	1,00
Marca 3					
NaCl	1,00				
AA	0,25	1,00			
AU	0,49	0,51	1,00		
CPT	-0,03	-0,94	-0,33	1,00	
AP	0,83	0,61	0,38	-0,39	1,00
Marca 4					
NaCl	1,00				
AA	0,60	1,00			
AU	-0,77	-0,90	1,00		
CPT	-0,11	-0,26	0,41	1,00	
AP	-0,80	-0,92	0,85	0,05	1,00
Marca 5					
NaCl	1,00				
AA	0,13	1,00			
AU	-0,71	0,19	1,00		
CPT	-0,11	-0,79	-0,49	1,00	
AP	-0,01	0,81	0,03	-0,57	1,00

AA: Actividad antioxidante, AU: Actividad autolítica, CPT: concentración peptídica total, AP: Actividad proteolítica. NaCl: Porcentaje de NaCl. Se marcan con negritas todas las correlaciones mayores al 0.5, consideradas como altas.

aminoácidos aromáticos (Arcan y Yemenicioğlu, 2007). Además, los péptidos bioactivos derivados de proteínas lácteas, como las caseínas, han demostrado excelente estabilidad en soluciones salinas (Zhang *et al.*, 2024).

De manera general se puede decir que los microorganismos presentes en el queso pueden estar ahí de manera natural desde la leche o pueden ser adicionados como cultivos iniciadores, no obstante, todos ellos juegan un rol fundamental afectando directa o indirectamente la mayoría de los cambios bioquímicos, químicos y físicos, tanto en la leche, en la cuajada, como en el queso, como se ha sugerido en

estudios previos, estos cambios pueden ser muy particulares, ya que difieren en su sistema enzimático principalmente el proteolítico, y por ende en el metabolismo llevado a cabo en la matriz del queso (Piraino *et al.*, 2008). En quesos comerciales, influyen también la materia prima, las condiciones de procesamiento y otros factores específicos. Esto concuerda con estudios previos como los de Piraino *et al.* (2008).

Conclusiones

Las cinco marcas comerciales de quesos analizados presentaron diferencias significativas en cada una de las pruebas realizadas. Según los

resultados obtenidos en este estudio, se registraron actividades antioxidantes en todas las muestras de quesos analizadas, observándose diferencias significativas por efecto del tipo de queso, así como por efecto de la concentración de reactivo DPPH, siendo mayor la inhibición al emplear la concentración más baja del radical usado (24µM). Asimismo, se observaron diferencias significativas entre las marcas de queso evaluadas en cuanto a su actividad proteolítica y concentración peptídica. Por otra parte, se pudo observar que la actividad antioxidante muestra una fuerte correlación con el porcentaje de NaCl, lo cual sugiere que este último no solo influye en las

propiedades sensoriales y las características fisicoquímicas del queso, sino que también participa en la formación de péptidos bioactivos con actividades antioxidantes. Para las cinéticas de actividad autolítica, se observó que los parámetros evaluados en las velocidades de inicio y las velocidades medias de muerte celular en las cinco marcas presentaron diferencias. En cuanto a las cinéticas de actividad autolítica, se observó que los parámetros evaluados en las velocidades de inicio y las velocidades medias de muerte celular en las cinco marcas también presentaron diferencias. Adicionalmente, se observó una correlación general alta entre el porcentaje de

NaCl y las variables siguientes: actividad autolítica, concentración peptídica y actividad proteolítica. Particularmente, para cada marca de queso, se identificaron diferentes correlaciones entre las variables determinadas. De esto se puede deducir que las características propias de cada queso, como materia prima, condiciones de procesamiento, microorganismos de cultivos iniciadores y nativos, entre otros, influyen significativamente en las variables analizadas, lo cual también se observa en las diferencias presentadas por las marcas de quesos para cada variable analizada de manera individual.

REFERENCIAS

- Abadía-García L, Cardador A, Martín del Campo ST, Arvizu SM, Castaño-Tostado E, Regalado-González C, García-Almendarez B, Amaya-Llano SL (2013) Influence of probiotic strains added to cottage cheese on generation of potentially antioxidant peptides, anti-listerial activity, and survival of probiotic microorganisms in simulated gastrointestinal conditions. *International Dairy Journal* 33: 191-197. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.04.005>
- Alenisan AM, Alqattan HH, Tolbah LS, Shori AB (2017) Antioxidant properties of dairy products fortified with natural additives: A review. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences* 24: 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2017.05.001>
- Alonzo-Paz AL, Lugo-Cervantes EC, Tovar-Pérez EG, Chombo-Morales MP (2016) *Evaluación de la proteólisis del queso Cotija región de origen MC asociado al tiempo de maduración*. Memorias del XXXVII Encuentro Nacional de la AMIDIQ. Jalisco, México. 6 pp.
- Arcan I, Yemenicioğlu A (2007) Antioxidant activity of protein extracts from heat-treated or thermally processed chickpeas and white beans. *Food Chemistry* 103: 301-312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.050>
- Baranyi J, Roberts TA (1993) A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *International Journal of Food Microbiology* 23: 277-294. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)90157-0](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)90157-0)
- Bradford MM (1976) A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Church FC, Swaisgood HE, Porter DH, Catignani GL (1983) Spectrophotometric assay using o-phthalaldehyde for determination of proteolysis in milk and isolated milk proteins. *Journal of Dairy Science* 66: 1219-1227. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(83\)81926-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)81926-2)
- Donkor ON, Henriksson A, Singh TK, Vasiljevic T, Shah NP (2007) ACE- inhibitory activity of probiotic yoghurt. *International Dairy Journal* 17: 1321-1331. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.02.009>
- Guinee TP (2004) Salting and the role of salt in cheese. *International Journal of Dairy Technology* 57: 99-109. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2004.00145.x>
- INEGI (2024) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sistemas de Consulta. México en cifras. <https://inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=11017#collapse-Mapas>
- Kadyan S, Rashmi HM, Pradhan D, Kumari A, Chaudhari A, Deshwal GK (2021) Effect of lactic acid bacteria and yeast fermentation on antimicrobial, antioxidative and metabolomic profile of naturally carbonated probiotic whey drink. *LWT-Food science and Technology* 142: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111059>
- Kamau SM, Cheison SC, Chen W, Liu XM, Lu RR (2010) Alpha lactalbumin: Its production technologies and bioactive peptides. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9: 197-212. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00100.x>
- NOM-109-SSA1-1994 (1994) Proyecto de Norma Oficial Mexicana, Bienes y Servicios. Procedimiento para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Diario Oficial de la Federación.
- NOM-121-SSA1-1994 (1994) Norma Oficial Mexicana. Bienes y servicios. Quesos: frescos, madurados y procesados. Especificaciones sanitarias. Diario Oficial de la Federación.
- Pihlanto A (2006) Antioxidative peptides derived from milk proteins. *International Dairy Journal* 16: 1306-1314. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.06.005>
- Piraino P, Zotta T, Ricciardi A, McSweeney P, Parente E (2008) Acid production, proteolysis, autolytic and inhibitory properties of lactic acid bacteria isolated from pasta filata cheeses: A multivariate screening study. *International Dairy Journal* 18: 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.06.002>
- Pritchard SR, Phillips M, Kailasapathy K (2010) Identification of bioactive peptides in commercial Cheddar cheese. *Food Research International* 43: 1545-1548. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.03.007>
- Rodríguez-Hernández G, Chávez-Martínez A (2018) Actividad proteolítica y concentración peptídica en yogur de leche de cabra adicionado con probióticos. *Interciencia* 43: 50-54. <http://www.redalyc.org/journal/339/33955583008/html>
- Sarmadi BH, Ismail A (2010) Antioxidative peptides from food proteins: A review. *Peptides* 31: 1949-1956. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2010.06.020>
- SAS, Statistical Analysis System (2021) Version 9.04.01 SAS® OnDemand for Academics. SAS Institute Inc. Cary, Carolina del Norte, EE.UU.
- Sen C, Ray PR, Hossain S, Bhattacharyya M, Mondal S, Debnath A (2023) Influence of nisin on water activity, textural and other quality attributes of paneer (Indian cottage cheese) during storage. *Food and Humanity* 1: 1134-1144. <https://doi.org/10.1016/j.fooHum.2023.09.010>
- Wilkinson M, Guinee T, O'Callaghan D, Fox P (1994) Autolysis and proteolysis in different strains of starter bacteria during Cheddar cheese ripening. *Journal of Dairy Research* 61: 249-262. <https://doi.org/10.1017/S0022029900028260>
- Zhang R, Wang B, Zhang F, Zheng K, Liu Y (2024) Milk-derived antimicrobial peptides incorporated whey protein film as active coating to improve microbial stability of refrigerated soft cheese. *International Journal of Food Microbiology* 419: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110751>