

# INFLUENCIA DEL TIPO DE COAGULACIÓN EN LECHE DE CABRA MURCIANO-GRANADINA

Submitted: 29/12/2022

Accepted: 22/03/2023

Published: 20/06/2023

## INFLUENCE OF THE TYPE OF COAGULATION IN MURCIANO-GRANADINA GOAT'S MILK

Almela-Veracruz L.<sup>1\*</sup>, Torralba-Antón E., Poto-Remacha A.<sup>1</sup>, Galián-Arnaldos S.<sup>1</sup>, Peinado-Ramón B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Mejora Genética Animal y Desarrollo Ganadero. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA) (Murcia-España).

\*[laura.almela@carm.es](mailto:laura.almela@carm.es)

From the Murciano-Granadina goat, considered one of the best milk producers in the world, abundant dairy products are obtained, cheese being the main one. The whey from this transformation contains proteins, vitamins, minerals, fats, lactose and lactic acid not retained in the curd. The objective of the work was to analyze and compare the physical-chemical composition of the curd and the Murciano-Granadina goat serum from a type of coagulation typical of the Region of Murcia, compared to two others, to know the transformation capacity of the milk. in cheese and help find new alternatives to the use of whey according to the type of curd obtained. Three types of coagulation were performed: enzymatic, mixed, and by heat, the pH of the whey and curd, curd weight, and whey volume were measured. Also, the nitrogen, protein, and mineral content. For the statistical analysis, the F-test of the ANOVA table and Fisher's Least Significant Difference (LSD) procedure were used. The results indicate that heat coagulation showed the highest cheese yield. The mixed coagulation whey would provide a higher protein percentage, more suitable for gastronomic proposals. The whey from coagulation by heat would provide a greater amount of Fe and Zn, more suitable as an immunoprotective drink, and, also, the one that would provide the lowest percentage of nitrogen, less harmful to the soil, together with the use of lemon as an acidifying element, it would be considered an ecological product and typical of circular economy.

**Keywords:** Goat; Cheese yield; Dairy composition; Coagulation.

**Palabras clave:** Caprino; Rendimiento quesero; Composición láctea; Coagulación.



Actas Iberoamericanas de  
Conservación Animal

ISSN: 2253-9727

<https://aicarevista.jimdo.com>

### Resumen

De la cabra Murciano-Granadina, considerada una de las mejores productoras de leche a nivel mundial, se obtienen abundantes transformados lácteos, siendo el queso el principal. El suero procedente de esta transformación contiene proteínas, vitaminas, minerales, grasas, lactosa y ácido láctico no retenidos en la cuajada. El objetivo del trabajo fue analizar y comparar la composición físico-química de la cuajada y el suero de cabra Murciano-Granadina procedente de un tipo de coagulación típica de la Región de Murcia, frente a otras dos, conocer la capacidad de transformación de la leche en queso y ayudar a buscar nuevas alternativas al aprovechamiento del suero según el tipo de cuajada obtenido. Se realizaron tres tipos de coagulación: enzimática, mixta y por calor. Se midieron el pH del suero y cuajada, peso de la cuajada y volumen del suero. También el contenido en nitrógeno, proteína y minerales. Para el análisis estadístico se utilizó la prueba-F de la tabla ANOVA y el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Los resultados indican que la coagulación por calor mostró el mayor

rendimiento quesero. El suero de la coagulación mixta aportaría mayor porcentaje proteico, más indicado para propuestas de tipo gastronómico. El suero de la coagulación por calor aportaría mayor cantidad de Fe y Zn, más adecuado como bebida inmunoprotectora, y, también, la que aportaría el menor porcentaje de nitrógeno, menos perjudicial para el suelo, que junto con la utilización del limón como elemento acidificante, se consideraría un producto ecológico y propio de economía circular.

### Introducción

La cabra Murciano-Granadina es una de las mejores productoras mundiales de leche, tanto por su cantidad como por su calidad (acrimur.es). De ella, se obtienen abundantes transformados lácteos, sobre todo en forma de queso, existiendo en la actualidad una incipiente demanda de leche líquida para su consumo (Almela et al., 2021b). Las cualidades de la leche de cabra destacan por su composición a base de ácidos grasos, principalmente de cadena media (caprífico, cáprico, caproico), proteínas de alto valor

biológico, caseínas alfa (s1, s2), beta y kappa, además de contener gran cantidad de proteínas globulares no coagulables (Almela et al., 2021a), siendo también muy rica en vitamina A, lactoferrina y minerales para el desarrollo, crecimiento y mantenimiento de los huesos (Almela et al., 2021b). También dispone del 4,5-4,7% de azúcares de la leche que ayudan a preparar estos transformados. Además, tiene reconocidas propiedades probióticas, nutracéuticas, antialérgicas, preventiva de enfermedades y más asimilable que la leche procedente de otras especies, entre otras (Bidot, 2017; Chacón, 2005).

La transformación de la leche en queso es su principal utilidad, obteniendo rendimientos superiores al 22% (ARCA\_MAPA; Almela et al., 2022), siendo el resto suero, que contiene además de agua, proteínas, vitaminas, minerales, grasas, lactosa y ácido láctico que no han quedado retenidas en la cuajada (Jimeno et al., 2003).

Como resultado de la transformación de la leche en queso se obtiene el suero lácteo, que siempre ha sido considerado un residuo (Brito et al., 2015; Miranda et al., 2009). Muy abundante en agua, en tiempos pasados, generalmente era utilizado para el abonado en labores agrícolas, pero con el aumento de las producciones industriales de queso su utilización fue restringida por el daño que podía producir sobre los suelos y la contaminación de los acuíferos subterráneos mediante percolación (Poveda, 2013; Bonilla & Sorto, 2019). Además de utilizar el suero en actividades agrícolas, otra actividad interesante para convertir el suero en un recurso es su administración para el cebo de animales (Chávez et al., 2007), aunque esto tiene los inconvenientes de la distancia a la que deben estar estas industrias de los cebaderos, la carestía del transporte, puesto que este alimento es muy abundante en agua, y la posible transmisión de enfermedades, sobre todo cuando se utiliza leche sin pasteurizar para fabricar queso con leche cruda. Otro de los usos del suero es la retirada hacia las industrias de fabricación de biogás, donde es utilizado como materia prima en la obtención de electricidad (Fuentes, 2020). En la actualidad, la industria tiene que buscar otras utilidades alternativas para aprovechar este residuo, ya que, aunque ya se utiliza para diversos usos, gran parte del suero que se genera no se aprovecha (Poveda, 2013).

De las diferentes formas de coagular leche se pueden obtener distintos tipos de queso, por lo que se obtienen distintos tipos de suero. Por un lado, en este estudio vamos a obtener un suero ácido, procedente de la actividad microbiana; un suero dulce, procedente de la acción de las enzimas añadidas con el cuajo, que por regla general, y a excepción del queso de consumo en fresco, se realiza una coagulación mixta procedente de actividades microbiana y enzimática; un último tipo de coagulación se obtiene por la acción de altas temperaturas y la adición de un ácido débil que precipita el conjunto de las proteínas, considerándose también un suero ácido, aunque de propiedades y composición diferente (Miranda et al., 2009). Este último tipo de coagulación, es el que se ha utilizado y se sigue utilizando de forma tradicional en los hogares de la Huerta de

la Región de Murcia (Luna & Pedauye, 1987) para el autoconsumo, utilizando como ácido débil jugo de cítricos como el limón, producto también típico de la zona y de fácil obtención.

La coagulación enzimática, consiste en la adición de cuajo a la leche, la cual provoca la ruptura de las caseínas y la desestabilización de las micelas. La coagulación mixta comienza con la acidificación de manera natural (coagulación ácida) gracias a los propios microorganismos de la leche que transforman la lactosa en ácido láctico, añadiendo a continuación el cuajo. En la coagulación por calor se eleva la temperatura a 90°C y a continuación, se adiciona un ácido débil en exceso. En este caso, la coagulación se produce por desnaturalización de las proteínas de la leche y su posterior precipitación tras la adición de ácido (Mazorra et al., 2020).

El objetivo de este trabajo es analizar y comparar la composición físico-química de la cuajada y el suero de cabra Murciano-Granadina, procedente de tres tipos de coagulación diferentes, comparando una de ellas, típica de la Región de Murcia, con respecto a las otras dos coagulaciones, también el rendimiento quesero, así como la capacidad de transformación de la leche de cabra Murciano-Granadina en queso que permita buscar nuevas utilidades del suero según el tipo de coagulación utilizada.

### Material y métodos

Para la realización del estudio se utilizó la leche procedente del ordeño diario de cabras de la raza Murciano-Granadina pertenecientes al Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA) y ubicadas en la Unidad de Caprino de la Granja Veterinaria de la Universidad de Murcia (España).

#### *Coagulación de la leche.*

Se utilizaron 100 ml de leche cruda de cabra Murciano-Granadina\* para cada coagulación. Se realizaron 3 tipos de coagulación (enzimática, mixta y por calor) por duplicado, durante 7 días:

- Coagulación enzimática: la temperatura de la leche se elevó a 30°C en estufa y se adicionaron 150 µL de cuajo líquido natural (Nievi, 1x10000 procedente de cuajares de ternera y cordero) por cada 100 ml de leche.
- Coagulación mixta: la leche se mantuvo a 30°C en estufa durante un día, favoreciendo el crecimiento microbiano. A continuación, se añadieron 150 µL de cuajo líquido (Nievi, 1x10000 procedente de cuajares de ternera y cordero) por cada 100 ml de leche.
- Coagulación por calor: aumento de la temperatura de la leche a 90°C y adición de 0,5 g de ácido cítrico por cada 100 ml de leche.

Tras la coagulación, se realizó el desuerado durante 10-15 minutos y a continuación el filtrado mediante embudo y papel de filtro. Se dejó reposar durante 20 horas. En la coagulación enzimática y mixta se cortó la cuajada para favorecer el desuerado, mientras que en la

coagulación por calor, no hizo falta realizar esta operación, dado que en este tipo de coagulación ya se produce el desuerado de forma natural.

Pasado el tiempo de reposo, se midieron pH del suero y cuajada con pH-metro. También se pesó la cuajada y se midió el volumen de suero para cada una de las muestras.

#### *Cuantificación del contenido de nitrógeno.*

Se llevó a cabo el método Kjeldahl (AOAC, 1984) (Büchi Digestion Unit K-435) que consta de 3 etapas:

- Digestión de proteínas. Se añadieron 2 ml de suero ó 0,5 g de cuajada, según tipo de muestra, a los tubos del digestor. A continuación, se agregaron 6 cuentas de vidrio de 6mm (Bead-006-1KO), 6 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (al 96% para análisis) y 2 tabletas de catalizador Kjeldahl (Cu-Se) (Scharlau) a cada tubo. El proceso duró de 85 a 90 minutos con aumento progresivo de la temperatura, hasta que las disoluciones adquirieron un color verde esmeralda característico.

- Destilación. A continuación, y tras dejar enfriar los tubos, se adicionaron 50 ml de agua destilada, 30 ml de NaOH y otros 50 ml de agua destilada a cada tubo, para limpiar posibles restos de NaOH de las paredes de los tubos, previo al comienzo de la destilación. En los vasos receptores se añadieron 15 ml de ácido bórico para Kjeldahl a cada una de las muestras.

- Valoración. Se utilizó como agente valorante HCl 1/14 en bureta de 30ml para averiguar la cantidad de HCl necesario para el viraje de las soluciones derivadas del proceso de destilación, dando por concluida la valoración de cada muestra cuando ésta adquirió un color rosado.

- El porcentaje de Nitrógeno Kjeldahl se obtuvo mediante la siguiente fórmula matemática:

$$\% \text{ Nitrógeno Kjeldahl} = (V \text{ HCl } 1/14 - B) * 1,4/14/P \text{ cuajo o suero} * F$$

Siendo: V=volumen; B=Blanco; P=Peso; F=Factor

Y siendo los valores de B=0; F=1,0831; Peso cuajada=0,5; Peso suero=2,03

- El porcentaje de proteína (% proteína) se calculó mediante la fórmula matemática:

$$\% \text{ proteína} = 6,38 * \% \text{ Nitrógeno Kjeldahl}$$

#### *Determinación del contenido en minerales.*

Para poder determinar el contenido mineral, se añadieron 2 ml de suero ó 0,5 g de cuajada, según tipo de muestra, en un crisol. Se pesaron los crisoles vacíos y con las cantidades correspondientes. Se introdujeron en una estufa de aire a 75-80°C durante 2 horas para producir la deshidratación de las muestras y obtener así el extracto seco. Tras la estufa, los crisoles se introdujeron en un desecador hasta enfriarse para seguidamente, realizar la toma de pesos. A continuación, los crisoles se trasladaron a la mufla donde se mantuvieron a 550°C durante 24 horas hasta obtener las cenizas. Tras la mufla, se introdujeron de nuevo en el desecador hasta que se

enfriaron para realizar la toma de los pesos. Para la disolución de las cenizas, se añadieron 5 ml de HNO<sub>3</sub> 0,7N por crisol. Seguidamente, calentamiento de las muestras en placa calefactora y adición de agua milli-Q por crisol. Calentamiento en placa calefactora. El contenido de los crisoles se vertió en sendos matraces de 50 ml con embudo y papel de filtro (Scharlau 125mm de diámetro de poro).

Se repitió el proceso, esta vez añadiendo 2 ml de HNO<sub>3</sub> 0,7N por crisol. A continuación, las muestras se calentaron en la placa calefactora, se añadió agua milli-Q e inmediatamente después se continuó con el calentamiento de las muestras, obteniendo finalmente el residuo seco.

Por último, se vertió el contenido de los crisoles en los matraces correspondientes hasta realizar el enrasado. El contenido de los matraces se homogeneizó y se tomó una muestra de cada uno para los posteriores análisis. Para la determinación del contenido mineral se utilizó un espectrómetro de emisión óptica ICP-OES (VISTA-MPX CCD *Simultaneous* ICP-OES VARIAN).

La determinación del porcentaje mineral (% mineral) se calculó según la fórmula matemática:

$$\% \text{ mineral} = 100 * (P.\text{crisol} + \text{cenizas}) / ((P.\text{crisol} + \text{muestra}) - (P.\text{crisol})); \text{ siendo } P = \text{peso (gr)}$$

El contenido en agua se calculó según la fórmula: % agua = 100\* (P.agua/P.muestra); siendo P = peso (gr)

El residuo seco se calculó según la fórmula: Residuo seco = (P.crisol+P.residuo seco) – P.crisol; siendo P = peso (gr)

#### *Estudio estadístico*

Para averiguar si existían diferencias significativas entre los parámetros utilizados en el estudio con respecto a las variables analizadas se realizó un análisis estadístico mediante el programa STATGRAPHICS Centurión XVI.II® para comparar cada parámetro con las variables seleccionadas. Se utilizó la prueba-F en la tabla ANOVA para determinar diferencias significativas entre las medias y el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher (Prueba de Múltiples Rangos) para determinar qué medias eran significativamente diferentes de otras. También se muestra la desviación estándar (SD) para cada uno de los valores, indicando así la variación de los mismos.

#### **Resultados y discusión**

Los parámetros obtenidos respecto a volumen de suero, pH y rendimientos queseros se recogen en la tabla I.

En la tabla I se observa un menor pH de suero y cuajada en la coagulación por calor que se explicaría por la adición de ácido que se realiza debido al tipo de coagulación utilizada. En la coagulación mixta sucede lo mismo en menor medida, en este caso debido a la acidificación del medio por los microorganismos de la leche, también debido al tipo de coagulación realizada. La coagulación enzimática es la que acidifica menos la leche, acercándose a la neutralidad en el pH del suero, existiendo diferencias

**Tabla I.** Promedio del volumen, suero, pH y rendimientos (*Average, whey, volume, pH and yields*).

Tipo de coagulación	Volumen de suero (ml)	pH suero	pH cuajada	Rendimiento quesero (%)	Rendimiento en suero (%)
Por calor (n=12)	60,33 <sup>a</sup> ± 3,91	4,50 <sup>a</sup> ± 0,05	4,50 <sup>a</sup> ± 0,09	31,94 <sup>a</sup> ± 4,04	58,55 (n=6) <sup>a*</sup> ± 1,75
Enzimática (n=14)	68,36 <sup>b</sup> ± 2,34	6,68 <sup>b</sup> ± 0,10	6,47 <sup>b</sup> ± 0,23	26,34 <sup>b</sup> ± 2,04	69,55 (n=6) <sup>b*</sup> ± 2
Mixta (n=12)	69,42 <sup>b</sup> ± 2,27	5,47 <sup>c</sup> ± 0,26	5,39 <sup>c</sup> ± 0,24	20,59 <sup>c</sup> ± 1,82	70,64 (n=8) <sup>b*</sup> ± 2,57

n= número de muestras analizadas; \*El número de muestras analizadas fue menor al resto; Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas. Promedio ± desviación estándar.

**Tabla II.** Contenido en nitrógeno, proteína y cenizas obtenido para los tres tipos de coagulación utilizados en suero y cuajada (*Nitrogen, protein and ash content obtained for the three types of coagulation used in whey and curd*).

Tipo de coagulación		% Nitrógeno	% Proteína	% cenizas
Por calor	suero	0,06 (n=6) <sup>a</sup> ± 0,01	0,45 (n=7) <sup>a</sup> ± 0,18	0,54 (n=7) <sup>a</sup> ± 0,19
	cuajada	2,08 (n=7) <sup>a</sup> ± 0,24	12,82 (n=7) <sup>a</sup> ± 0,69	0,74 (n=4) <sup>a</sup> ± 0,11
Enzimática	suero	0,17 (n=7) <sup>b</sup> ± 0,02	1,06 (n=7) <sup>b</sup> ± 0,13	0,45(n=6) <sup>a</sup> ± 0,09
	cuajada	2,37 (n=7) <sup>a</sup> ± 0,22	15,34 (n=5) <sup>b</sup> ± 1,02	1,68(n=6) <sup>b</sup> ± 0,21
Mixta	suero	0,20 (n=5) <sup>c</sup> ± 0,02	1,27 (n=5) <sup>c</sup> ± 0,15	0,57(n=4) <sup>a</sup> ± 0,14
	cuajada	2,33 (n=8) <sup>a</sup> ± 0,37	15,29 (n=7) <sup>b</sup> ± 2,28	1,07(n=5) <sup>c</sup> ± 0,14

n= número de muestras analizadas; Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas. Promedio ± desviación estándar.

estadísticamente significativas para el pH de suero y cuajada para cada par de coagulaciones. Esto corrobora la producción de un suero dulce mediante coagulación enzimática y uno más ácido mediante coagulación mixta y por calor. Esta última, además, promueve un mayor rendimiento quesero, en torno al 32%, y un rendimiento de suero menor respecto a las otras dos coagulaciones.

Teniendo en cuenta que según el tipo de proteínas que queden retenidas en la cuajada obtenemos un rendimiento quesero mayor o menor, en el caso de la coagulación por calor, el rendimiento quesero respecto a las otras coagulaciones es mayor. El hecho de aumentar la temperatura y añadir posteriormente un ácido, provoca la retención de todas las proteínas, coagulables y no coagulables lo que podría explicar el mayor rendimiento quesero, junto con el hecho de no ser necesario el corte de la cuajada, con el consiguiente aumento en la proporción de cuajada respecto al suero. En la coagulación enzimática solo quedarían retenidas las proteínas coagulables, al igual que en la mixta, aunque en esta última también interviene la acción microbiana capaz de romper otras moléculas, favoreciendo su paso al suero.

Además, se realizan procesos en los que se requiere un aumento de temperatura que puede hacer que se evapore parte del agua de la leche, dando como resultado, un porcentaje de rendimiento en suero menor del esperado. Oliszewski et al. (2002), estudiaron el rendimiento quesero en la raza caprina Criolla Serrana, obteniendo una media del 16,50% ± 0,28 en el día cero de maduración, valor que está muy por debajo de lo que se obtuvo en el presente estudio, con un 31,94% en el obtenido en coagulación por calor, 26,34% con la coagulación enzimática y con un 20,59% la mixta. Estas diferencias podrían ser debidas al número de muestras analizadas en el estudio de Oliszewski et al. (2002), mayor al del presente ensayo,

e incluso podría ser debido a las diferencias de las razas caprinas de las cuales procede la leche utilizada de ambos estudios (Sacchi, 2004).

En general, según la tabla I, excepto para las variables *volumen de suero* y *rendimiento en suero* para la coagulación enzimática con respecto a la mixta, de las que no existen diferencias estadísticamente significativas, para el resto de variables sí existen, lo que indica diferencias significativas respecto a cada uno de los tipos de coagulación con respecto a las variables estudiadas.

El contenido de nitrógeno y proteína obtenido por el método Kjeldahl se muestra en la tabla II. Al igual que en el análisis anterior, el porcentaje de proteína en suero es menor en la coagulación por calor frente a la enzimática y la mixta (tabla II), lo que se podría explicar por la mayor retención de estas proteínas en la cuajada tras este proceso de coagulación, existiendo diferencias significativas entre cada par de coagulaciones (tabla II).

La tabla II indica que en suero existen diferencias significativas respecto al % *nitrógeno* y % *proteína* para cada tipo de coagulación respecto a las otras dos, sin embargo, no existen estas diferencias en % *cenizas* para ningún tipo de coagulación. Por otra parte, en cuajada, se observan diferencias significativas para cada par de coagulaciones con respecto a la variable % *cenizas* y también para % *proteína* excepto para el par *enzimática-mixta*, no existiendo diferencias respecto a % *Nitrógeno* entre ningún par de coagulaciones.

Por otro lado, los datos obtenidos por el método Kjeldahl son poco coherentes en cuanto a contenido de nitrógeno y proteínas en la cuajada. Cabría esperar que aquella coagulación que retuviera una menor cantidad de proteínas en suero, presentara un mayor porcentaje en cuajada, como sería el caso de la coagulación mixta.

**Tabla III.** Promedio macroelementos y microelementos analizados según el tipo de coagulación en suero (*Average macroelements and microelements analyzed according to the type of coagulation in whey*).

		Tipos de coagulación en suero		
		Por calor	Enzimática	Mixta
Macroelementos (%MS)	Na	0,046(n=7) <sup>a</sup> ± 0,009	0,048(n=8) <sup>a</sup> ± 0,008	0,045(n=6) <sup>a</sup> ± 0,006
	K	0,065(n=7) <sup>a</sup> ± 0,049	0,067(n=8) <sup>a</sup> ± 0,046	0,107(n=6) <sup>a</sup> ± 0,030
	Ca	0,132(n=7) <sup>a</sup> ± 0,027	0,046(n=8) <sup>b</sup> ± 0,006	0,131(n=6) <sup>a</sup> ± 0,011
	Mg	0,013(n=7) <sup>a</sup> ± 0,002	0,007(n=8) <sup>b</sup> ± 0,001	0,012(n=6) <sup>a</sup> ± 0,003
	P	0,088(n=7) <sup>a</sup> ± 0,004	0,045(n=8) <sup>b</sup> ± 0,003	0,086(n=6) <sup>a</sup> ± 0,006
Microelementos (ppm)	Fe	2,6(n=6) <sup>a</sup> ± 0,7	2,2(n=6) <sup>a</sup> ± 0,6	1,9(n=5) <sup>a</sup> ± 0,4
	Cu	2,1(n=6) <sup>a</sup> ± 0,6	1,7(n=6) <sup>a</sup> ± 0,9	1,5(n=5) <sup>a</sup> ± 0,3
	Mn	0,1(n=7) <sup>a,b</sup> ± 0,2	0,1(n=8) <sup>a</sup> ± 0,05	0,2(n=6) <sup>b</sup> ± 0,2
	Zn	3,5(n=7) <sup>a</sup> ± 1,3	0,8(n=8) <sup>b,c</sup> ± 0,5	1,4(n=6) <sup>c</sup> ± 1,4
	B	1,5(n=7) <sup>a</sup> ± 0,5	1,2(n=8) <sup>a</sup> ± 0,5	1,4(n=6) <sup>a</sup> ± 1,0

MS: materia seca; ppm: partes por millón; n= número de muestras analizadas; Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas. Promedio ± desviación estándar.

Según nuestros datos, al utilizar la coagulación enzimática se retiene mayor cantidad de proteínas en cuajada frente a la mixta, con unos valores del 15,34% y 15,29%, respectivamente, sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas. Los porcentajes de nitrógeno resultaron menores en la cuajada de la coagulación por cocción (0,06%) con respecto a la coagulación enzimática (0,17%) y mixta (0,20%), existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de coagulación.

Por otra parte, los resultados derivados de la ICP-OES se muestran en las tablas III, IV y V.

Las tablas III y IV muestran si existen diferencias significativas en cuanto a macroelementos comparando los distintos tipos de coagulación. Se observa que, tanto en suero como en cuajada, existen diferencias estadísticamente significativas para los elementos Ca, Mg y P respecto al par de coagulación por calor-enzimática. Para el par de coagulación por calor-mixta sólo se

advierte diferencia significativa para el elemento P en cuajada, y para el par enzimática-mixta para los elementos Ca, Mg y P, tanto en cuajada como en suero, existiendo también diferencia respecto al elemento Na en cuajada. Los macroelementos que aparecen en cantidades mayores al resto son el calcio y el fósforo, sobre todo en la cuajada obtenida por coagulación enzimática.

En las tablas III y IV también se exponen las diferencias estadísticamente significativas en cuanto a microelementos, resaltando que en la cuajada, el elemento Zn es significativamente diferente para cada par de coagulaciones, destacando en cantidad en el suero de la coagulación por calor con respecto a las otras coagulaciones. Sin embargo, en el suero, el elemento Zn es significativamente diferente para los pares por calor-enzimática y por calor-mixta, pero no en el par enzimática-mixta, siendo el elemento mayoritario. El elemento Mn es significativamente diferente para el par enzimática-mixta en suero. Tanto el Fe como el

**Tabla IV.** Promedio macroelementos y microelementos analizados según el tipo de coagulación en cuajada (*Average macroelements and microelements analyzed according to the type of coagulation in curd*).

		Tipos de coagulación en cuajada		
		Por calor	Enzimática	Mixta
Macroelementos (%MS)	Na	0,041(n=7) <sup>a,b</sup> ± 0,012	0,050(n=7) <sup>a</sup> ± 0,011	0,037(n=6) <sup>b</sup> ± 0,004
	K	0,075(n=7) <sup>a</sup> ± 0,035	0,076(n=6) <sup>a</sup> ± 0,013	0,095(n=6) <sup>a</sup> ± 0,027
	Ca	0,242(n=7) <sup>a</sup> ± 0,080	0,573(n=6) <sup>b</sup> ± 0,064	0,318(n=6) <sup>a</sup> ± 0,074
	Mg	0,018(n=7) <sup>a</sup> ± 0,004	0,035(n=6) <sup>b</sup> ± 0,005	0,023(n=6) <sup>a</sup> ± 0,004
	P	0,161(n=7) <sup>a</sup> ± 0,009	0,342(n=6) <sup>b</sup> ± 0,031	0,250(n=6) <sup>c</sup> ± 0,043
Microelementos (ppm)	Fe	7,1(n=7) <sup>a</sup> ± 2,2	6,3(n=6) <sup>a</sup> ± 1,9	7,5(n=6) <sup>a</sup> ± 2,0
	Cu	2,5(n=7) <sup>a</sup> ± 0,8	2,3(n=7) <sup>a</sup> ± 0,4	2,3(n=6) <sup>a</sup> ± 0,8
	Mn	1,3(n=7) <sup>a</sup> ± 0,6	1,3(n=7) <sup>a</sup> ± 0,8	1,3(n=6) <sup>a</sup> ± 0,6
	Zn	5,8(n=7) <sup>a</sup> ± 0,9	18,9(n=6) <sup>b</sup> ± 1,9	23,2(n=6) <sup>c</sup> ± 3,7
	B	0,7*(n=7) <sup>a</sup> ± 0,6	1,4**(n=7) <sup>a</sup> ± 1,5	1,3***(n=6) <sup>a</sup>

\*Este valor pertenece a tres muestras, \*\*Este valor pertenece a cuatro muestras, \*\*\*Este valor pertenece a una sola muestra, el resto de las muestras para este microelemento no mostró ningún valor debido a la escasa cantidad en las mismas. / MS: materia seca; ppm: partes por millón; n= número de muestras

**Tabla V.** Promedio porcentaje mineral y de humedad según el tipo de coagulación utilizada en suero y cuajada (*Average mineral and moisture percentage according to the type of coagulation used in whey and curd*).

		Tipos de coagulación		
		Por calor	Enzimática	Mixta
Suero	% mineral	0,51(n=7) <sup>a</sup> ± 0,16	0,38(n=7) <sup>a</sup> ± 0,10	0,57(n=5) <sup>a</sup> ± 0,12
	% humedad	92,46(n=7) <sup>a</sup> ± 0,80	92,43(n=7) <sup>a</sup> ± 0,34	91,92(n=6) <sup>a</sup> ± 0,82
Cuajada	% mineral	0,72(n=7) <sup>a</sup> ± 0,21	1,68(n=7) <sup>b</sup> ± 0,19	1,02(n=6) <sup>c</sup> ± 0,24
	% humedad	59,39(n=7) <sup>a</sup> ± 3,93	46,12(n=7) <sup>b</sup> ± 4,83	40,85(n=6) <sup>b,c</sup> ± 6,36

n= número de muestras analizadas; Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas. Promedio ± desviación estándar.

Zn destacan respecto a los demás microelementos en la cuajada en los tres tipos de coagulación.

Según la tabla V, en los tres tipos de coagulación, el contenido de minerales en las muestras de suero es menor frente a las de cuajada. En general, esto es indicativo de que la mayoría de los minerales quedan retenidos en la cuajada, aunque dependiendo del tipo de coagulación esto se ve reflejado en mayor o menor medida. Según el análisis estadístico, se encuentran diferencias para el % *mineral* en cuajada para cada par de coagulaciones, y para el % *humedad* existen diferencias para los pares coagulación de la cuajada por calor y enzimática, así como entre la cuajada por calor y la mixta.

Las micelas de la leche se ven desestabilizadas por la acidificación, llevada a cabo por fermentación láctica o por adición de un ácido. De igual manera, se produce la desmineralización de la leche, ya que al formarse la cuajada, parte del calcio asociado a la caseína en estado coloidal empieza a pasar al suero, influyendo posteriormente en las propiedades físicas de la cuajada y queso, finalmente. El uso de cuajo ataca a un tipo concreto de proteína muy importante en la estabilidad micelar, la k-caseína, quedando fragmentada en dos, glicomacropéptido (GMP) y para-k-caseína, siendo expulsado el primero al suero (Eck, 1990; Bonafede, 2017).

El contenido en minerales puede variar según el tipo de coagulación, debido a un mayor o menor uso en la coagulación de uno de los principales minerales en la leche, como es el calcio. Este elemento es imprescindible en la formación de las micelas de la leche, proporcionándole gran estabilidad. Los sueros ácidos se caracterizan por presentar un mayor contenido en calcio y fósforo debido a la solubilización del fosfato cálcico coloidal de las micelas de caseína durante la acidificación. Sin embargo, en los sueros dulces no se produce la separación del calcio de las micelas, por lo que la mayoría permanece retenido en el queso y no se pierde en el suero (Sanmartín, 2010).

### Conclusiones

La coagulación por calor mostró un mayor rendimiento quesero respecto a los otros tipos de coagulación estudiados, así como al reportado para esta raza caprina.

Por su mayor aporte proteico, el suero derivado de la coagulación mixta sería el más indicado para propuestas de tipo gastronómico e

incluso como parte de las dietas para perder peso o para mejora del rendimiento deportivo.

El suero procedente de la coagulación tradicional por calor sería el que aportaría menor porcentaje de nitrógeno, por lo que su desecho en el suelo no resultaría perjudicial para las plantaciones, convirtiéndose así, junto con la utilización del limón como elemento acidificante, en un producto ecológico y de economía circular.

El suero procedente de la coagulación por calor, destaca en su composición en Fe y Zn, por lo que también puede ser utilizada como bebida inmunoprotectora.

Por otra parte, sería interesante volver a realizar este estudio, pero analizando un mayor número de muestras para confirmar los resultados del mismo.

### Agradecimientos

Al Proyecto financiador titulado: “Los recursos genéticos animales resilientes al cambio climático. Mejora y diversificación de productos alimenticios obtenidos de forma biosostenible”. FEDER 1420-26.

### Bibliografía

- ACRIMUR. Cabra Murciano-Granadina. Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca. Región de Murcia. <http://www.acrimur.es/lacabra.php?sub=2&PHPSESSID=9ad51a01702e3bea2cb3192a753ff67f>
- Almela L., Peinado B., Galián S. & Poto A. 2021a. Las caseínas. Posibilidad de mejora del rendimiento quesero en ganado caprino. *Revista AICA*, 16 (2021), 31-38.
- Almela L., Peinado B., Galián S. & Poto A. 2021b. Relación de productos derivados del ganado caprino susceptibles de mejora. Conflicto de intereses. *Revista AICA*, 16 (2021), 39-43.
- Almela L., Torralba E., Poto A., Galián S. & Peinado, B. 2022. Características del suero lácteo en la producción de queso de cabra Murciano-Granadina. *RumiNews*, 88-93.
- AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS). 1984. Official Methods of Analysis. Kjeldahl method (2.062). 14 th edition. Washington D.C. USA.
- ARCA (Sistema Nacional De Información De Razas). Catálogo oficial de razas. Caprino. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España.

- Ares J.L. 2019. La Cabra de raza Malagueña: Potencial productivo y calidad diferenciada. *Revista Industrias Lácteas Españolas (ILE)*, vol. 41, n°3: 30-40.
- Badino O., Pilatti M.A., Felli O., Weidmann P.E. & Ghiberto P.J. 2011. Permeado de suero como abono: respuesta de maíz para silo y efectos en un Argiudol de la pampa llana santafesina. FAVE. Santa Fe. Secc. Cienc. Agr. Vol.10 n° 1-2.
- Bidot A. 2017. Composición, cualidades y beneficios de la leche de cabra: revisión bibliográfica. Camagüey mayo-agosto 2017. *Rev. Prod. Anim.* Vol.29, N°2.
- Bonafede M. 2017. Coagulantes en la industria láctea artesanal: análisis del cuajo de cabrito en la tecnología quesera del noroeste argentino". Carrera de especialización en Ciencia y Tecnología de la leche y Productos lácteos. Facultad de ingeniería química. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Litoral.
- Bonilla F.S. & Sorto J. 2019. Producción de queso ricota a través de un prototipo de proceso continuo. *Revista de Investigación*. Año N°10, Enero-Diciembre 2019.
- Brito H., Santillán A., Arteaga M., Ramos E., Villalón P & Rincón A. 2015. Aprovechamiento del suero de leche como bebida energizante para minimizar el impacto ambiental. *European Scientific Journal*. September 2015 edition. Vol. 11, N° 26, 257-268.
- Chacón A. 2005. Aspectos nutricionales de la leche de cabra y sus variaciones en el proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana* 16(2): 239-252.
- Chávez L.R., Martín L. & González E. 2007. Utilización del suero lácteo líquido en la alimentación del cerdo Ibérico durante la recría. *Rev. ITEA*, Vol. Extra N°28, Tomo I, 261-263.
- Eck A. 1990. El queso. *Omega*, 4-23.
- Fuentes L.C. 2020. Producción de hidrógeno por fermentación oscura y producción de electricidad a partir de suero de queso y otros subproductos industriales. Tesis Doctoral. Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable. Montevideo. Uruguay.
- Jimeno V., Rebollar P.G. & Castro T. 2003. Nutrición y alimentación del caprino de leche en sistemas intensivos de explotación. XIX Curso de especialización FEDNA. Pp. 155-178.
- Luna, A. & Pedauye, L. 1987. Dedicado a: Región de Murcia. El Campo: Boletín de Información Agraria. Pp. 83-84, n° 105.
- Martin-Prevel P., Gagnard J. & Gautier P. 1984. L'analyse végétale dans le controle de l'alimentation des plantes temperes et tropicales - La nutrition végétale. (Martin - Prevel P., Gagnard J., Gautier P. Eds.), Lavoisier. Paris, pp. 9-74.
- Mazorra M., Ramírez H., Lugo M.E., González A. & Vallejo B. 2020. Caracterización del lactosuero y requesón proveniente del proceso de elaboración de queso cocido (asadero) región Sonora. León. Epub 10-Mar2020. *Nova Scientia* Vol.11, n°23.
- Miranda O., Ponce I., Fonseca P.L., Cutiño M., Díaz R.M & Cedeño C. 2009. Características físico-químicas de sueros de queso dulce y ácido producidos en el combinado de quesos de Bayamo. *Rev. cubana Aliment. Nutr.* 19 (1): 21-25.
- Oliszewski R., Rabasa A.E., Fernández J.L., Poli M.A. & Nuñez M.S. 2002. Composición química y rendimiento quesero de la leche de cabra Criolla Serrana del noroeste argentino. *Zootecnia Tropical*, Vol.20, N°2, pp. 179-189.
- Poveda E. 2013. Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Rev.chil.nutr.* Vol 40, n°4.
- Sacchi I. 2004. Influencia de la composición de la leche sobre el rendimiento quesero en diferentes razas caprinas. Trabajo de Tesis de Grado. Montevideo. Uruguay. Pp:17-18.
- Sanmartín B. 2010. Aprovechamiento de suero de quesería de origen caprino mediante la obtención de concentrados de proteínas séricas y subproductos de clarificación. Estudio de sus propiedades tecnológicas. Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de química analítica, nutrición y bromatología área de tecnología de los alimentos. Pp: 21.
- Trujillo A.J., Jordana J., Guamis B., Serradilla J.M & Amills M. 1998. Revisión: El polimorfismo del gen de la caseína  $\alpha 1$  caprina y su efecto sobre la producción, la composición y las propiedades tecnológicas de la leche y sobre la fabricación y la maduración del queso. *Food Science and Technology International* (1998), 4, pp: 217-235.