

Evaluación y correlación de la calidad sanitaria y microbiológica del suero ácido derivado del queso doble crema

Evaluation and correlation of the sanitary and microbiological quality of acid whey from double cream cheese

Golda M. Torres-Vargas, Heley E. Cepeda-Fonseca y Diana C. Patiño-Pacheco

Recibido 25 agosto 2022 / Enviado para modificación 27 octubre 2022/ Aceptado 29 octubre 2022

RESUMEN

Objetivo Evaluar y establecer la correlación estadística de la calidad sanitaria y microbiológica del suero ácido.

Métodos Las muestras de suero fueron obtenidas de empresas lácteas en Belén, Boyacá, Colombia. Se realizaron auditorías de calidad y se determinaron recuentos microbiológicos que fueron analizados en gráficos de control de calidad para evaluar el cumplimiento y la variabilidad. Se establecieron análisis de correlación entre los resultados microbiológicos y los criterios de buenas prácticas de manufactura (BPM).

Resultados Los promedios de las variables microbiológicas en los momentos de evaluación evidenciaron incumplimiento de la norma en las empresas. El recuento de aerobios mesófilos y coliformes totales es diferente ($p < 0,05$) antes y después del plan de mejoras. Los recuentos de coliformes termotolerantes, mohos y levaduras presentaron diferencias significativas en la prueba de Kruskal Wallis, pero no en el Test de Wilcoxon ($p > 0,05$), esto indica que las UFC/mL son constantes en la línea de proceso. De acuerdo con el Invima, el porcentaje mínimo aprobatorio para el cumplimiento de las BPM es ≥ 60 %. En la primera auditoría, el 42 % de los criterios de BPM registraron conceptos desfavorables y el 67 % de las empresas obtuvieron un puntaje por encima del 60 % e inferior al 80 %. Se registraron correlaciones negativas al comparar los recuentos microbiológicos y el cumplimiento de los criterios de BPM. El criterio "aseguramiento y control de la calidad" obtuvo el mayor número de correlaciones negativas y deja ver un déficit en la eficacia y verificación de las BPM.

Conclusiones Los recuentos de microorganismos indicadores de calidad sanitaria en el lactosuero ácido tienden a prevalecer y aumentar debido a las falencias en el cumplimiento de las BPM y condicionan la calidad del suero para usos posteriores.

Palabras Clave: Lactosuero; queso; conservación de alimentos; manipulación de alimentos (*fuentes: DeCS, BIREME*).

ABSTRACT

Objective To evaluate and establish the statistical correlation of the sanitary and microbiological quality of acid whey.

Methods Whey samples were obtained from dairy companies in Belén, Boyacá, Colombia. Quality audits were performed, and microbiological counts were determined. Both were analyzed by quality control charts to assess compliance and variability. Correlation analyses between the microbiological results and Good Manufacturing Practices (GMP) were established.

Results The averages of microbiological variables at the time of evaluation showed that companies did not comply with the standard. The aerobic mesophiles and total coliform counts were different ($p < 0.05$) before and after the improvement plan. Thermotolerant coliforms, mold, and yeast counts showed significant differences in the Kruskal Wallis test, but not in the Wilcoxon test ($p > 0.05$). This indicates that CFU/mL are cons-

GT: Quim. Alimentos. Esp. Biotecnología Agraria. M.Sc. Gerencia de Proyectos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Duitama, Colombia.
golda.torres@unad.edu.co
HC: Ing. Alimentos. Esp. Gestión de Proyectos. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Tunja, Colombia.
heley.cepeda@unad.edu.co
DP: Químico de alimentos. Ing. Alimentos; Esp. Seguridad y Calidad Alimentaria. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Tunja, Colombia.
ddaniela84@gmail.com



tant in the process line. According to INVIMA, the minimum pass rate for GMP compliance is $\geq 60\%$. In the first audit, 42 % of the GMP criteria obtained unfavorable concepts, and 67 % of the companies were above 60 % and below 80 %. Negative correlations were found when comparing microbiological counts and the GMP compliance requirements. The “quality assurance and control” obtained the highest number of negative correlations and showed a deficit in the effectiveness and verification of GMP.

Conclusions Health-quality indicator microorganism counts in acid whey tend to prevail and increase due to deficiencies in GMP; they also condition the quality of whey for subsequent uses.

Key Words: Whey; cheese; food preservation; food handling (*source: MeSH, NLM*).

El lactosuero es la parte acuosa de la leche que resulta después de la separación de la cuajada en la elaboración de quesos y contiene el 50 % de los sólidos totales de la leche (1-3). De 100 kg de leche cruda se generan 90 kg de suero y 10 kg de queso (4). Según Kravtsov (5), dependiendo del método de coagulación, se puede obtener suero ácido (con un $\text{pH} < 5,0$) y suero dulce (pH entre 6,0 y 7,0). Este subproducto es altamente contaminante (1,3,4,6,7) debido a que la lactosa es su componente mayoritario.

El consumo de quesos ha aumentado y con ello la producción de lactosuero; alrededor del mundo se producen en promedio 190 millones de toneladas por año (8,3). En Colombia se producen en promedio 7 190 millones de litros/año de leche, de los cuales el 15 % se destinan a la producción de quesos y generan alrededor de 1 080 millones de litros/año de lactosuero (9). Los mayores productores de quesos en el departamento de Boyacá son el Valle de Chiquinquirá y el Corredor Industrial (10). En el municipio de Belén se procesan en promedio 6 200 lt de leche/día para la elaboración de quesos frescos, es decir, cada empresa genera en promedio 2 324 lt/día de lactosuero a partir del queso doble crema (11). Su uso y disposición se dan en función del tamaño, la capacidad tecnológica instalada, los sistemas de gestión de calidad, los recursos financieros y las políticas gubernamentales (5). Grandes organizaciones emplean su propio lactosuero en la producción de otros derivados, mientras que las medianas y las pequeñas empresas lo destinan a la alimentación de cerdos, la elaboración de requesón, o simplemente lo eliminan por el alcantarillado. En Colombia, los tratados de libre comercio han dado vía libre a las importaciones de suero, que ocupan el tercer lugar de los productos lácteos importados —en el 2021 ingresaron cerca de 8 811 toneladas— (12).

Dada su composición química, el suero ácido es un sustrato para el crecimiento de microorganismos; la presencia de patógenos puede indicar la calidad de la leche fresca y las condiciones de operación e higiene en las plantas (4,8). Buhler (2) argumenta que la calidad microbiológica del suero es condicionada cuando se trabaja a temperaturas por debajo de las mínimas letales para microorganismos

patógenos (55°C), por lo que el manejo de la inocuidad en el proceso debe ser cuidadoso. Un alto recuento de bacterias patógenas condiciona el tratamiento o almacenamiento del lactosuero, lo que reduce su vida útil (7,13).

Las procesadoras de productos lácteos a escala regional son microempresas y establecen programas prerrequisitos (PPR); sin embargo, se debe cuestionar su efectividad al momento de evaluar la calidad microbiológica de los productos. Por ello, resulta de sumo interés establecer la relación entre el porcentaje de cumplimiento de los PPR y los microorganismos indicadores de higiene y calidad microbiana. Para Liu (14), la implementación de sistemas de gestión internacionales como HACCP, ISO 22000, FMSM, o ISO 14000 no son de fácil implementación en las pymes (15), por lo tanto, la calidad del proceso y los productos se garantizan con la implementación de los PPR, que constituyen las buenas prácticas de manufactura (BPM). En Colombia, las BPM son reguladas por la Resolución 2674 del 2013 del Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS) (16) y supervisadas por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima). A pesar de tener una normatividad establecida y antes de control, el incumplimiento es recurrente en empresas que emplean tecnologías semiartesanales, lo que deja ver falencias en las actividades básicas y diarias de control y seguimiento a los PPR. La ausencia de medidas preventivas, correctivas y sistemas de monitoreo para detectar microorganismos patógenos en cualquier etapa del proceso puede ocultar focos de contaminación que conllevan transmisión a los consumidores del producto final o de subproductos (15,17,18).

Puesto que los estudios sobre la importancia microbiológica del suero ácido en Colombia son reducidos, se llevó a cabo el presente trabajo, con los siguientes objetivos: (1) determinar el porcentaje de cumplimiento de las BPM con respecto al instrumento normativo (Resolución 2674 de 2013) para el proceso de elaboración del queso doble crema y obtención del lactosuero; (2) evaluar la calidad microbiológica del suero ácido; (3) establecer la correlación estadística entre los microorganismos indicadores de calidad sanitaria y el cumplimiento de los criterios establecidos en la Resolución 2674/13 del MSPS (16).

MÉTODOS

El estudio se realizó en nueve empresas procesadoras de queso doble crema ubicadas en el municipio de Belén, Boyacá, Colombia. Se hicieron auditorías de calidad sanitaria al proceso de elaboración de dicho queso y a la obtención del lactosuero ácido para evaluar el cumplimiento de los requisitos y las condiciones exigidos por el MSPS, de acuerdo con la Resolución 2674/13 (16). Los criterios auditados se presentan en la (Tabla 1).

La calificación asignada se obtuvo de la sumatoria de los porcentajes individuales de cada criterio sobre un 100 % de cumplimiento; el porcentaje de cada ítem se asignó según la incidencia en la calidad sanitaria del proceso. El procedimiento de verificación se realizó en dos momentos: inicialmente, se evaluaron los criterios establecidos en el instrumento normativo para determinar el perfil sanitario actual y generar plan de mejoramiento; posteriormente, para la ejecución de las acciones de mejora, se concedió a cada empresa un plazo de 50 días, y luego se llevó a cabo una segunda auditoría, en la cual se verificó la ejecución del plan con respecto a las no conformidades halladas en la primera evaluación.

Se hicieron análisis microbiológicos para las siguientes categorías microbianas relevantes en el sector lácteo: aerobios mesófilos (UFC/g o UFC/mL), de acuerdo con el método AOAC 966.23C:2012; coliformes termotolerantes (NMP/mL); coliformes totales (UFC/g o UFC/mL), siguiendo el protocolo de ICMSF NMP:2000; mohos (UFC/g o UFC/mL) y levaduras (UFC/g o UFC/mL), según la norma NF V 08-059/2002. Todos los análisis se realizaron por triplicado. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores permitidos y estipulados en la Resolución 1031 de 2010 del MSPS (19). Los muestreos se hicieron dentro del cronograma de las auditorías de calidad sanitaria.

Se registró la temperatura de recolección de cada muestra luego del proceso de coagulación, corte y desuerado, usando un termómetro digital marca Phywe con un rango de medida entre -50°C y $+1300^{\circ}\text{C}$. El puntaje general del perfil sanitario de cada empresa se calculó por medio de la suma y el promedio de los porcentajes obtenidos en cada una de las auditorías, y se analizaron mediante medidas de tendencia central, rango y frecuencia.

Para los análisis microbiológicos se determinaron las diferencias significativas, mediante el análisis de varianza con la prueba de Kruskal Wallis, a un nivel de confianza del 95 % ($\alpha=0,05$). Se hicieron gráficos de control de calidad (*gráficos- \bar{X}*), con el fin de determinar si los recuentos microbiológicos se encuentran dentro de los estándares normativos y analizar la variabilidad de los datos en cada una de las auditorías, así como los impactos en el proceso de elaboración de queso y obtención de lactosuero ácido. El análisis estadístico se complementó con la prueba de rango

con signo de Wilcoxon, no paramétrica, para identificar cambios significativos entre los muestreos microbiológicos, con un valor de $p<0,05$. Se hizo un análisis de relación estadística (r), por medio de la correlación de Pearson, paramétrica, para establecer si existe o no correlación entre los criterios microbiológicos y algunos de los ítems de evaluación del perfil sanitario. Todos los datos se procesaron en el software estadístico R versión 4.0.2.

Tabla 1. Criterios de evaluación de BPM según la Resolución 2674/13 para el proceso de elaboración de queso doble crema y obtención de lactosuero ácido

Criterio evaluado	%
1. Requerimientos mínimos del proveedor	5
2. Plan de saneamiento	10
3. Mantenimiento de equipos y calibración	10
4. Condiciones generales de la instalación	15
5. Materias primas - proveedores	10
6. Almacenamiento de alimentos	5
7. Control de manipulación de alimentos	5
8. Requisitos higiénicos de fabricación	15
9. Requisitos de distribución y transporte	5
10. Aseguramiento y control de la calidad	10
11. Producto	5
12. Prerrequisitos HACCP	5
Total	100

RESULTADOS

Los registros de temperatura de cada una de las muestras de suero ácido exhibieron diferencias significativas ($p<0,05$) entre las empresas. El proceso en las etapas de coagulación y desuerado registra temperaturas entre 33 y 43°C , al igual que las temperaturas del lactosuero. La prueba de Wilcoxon también registró diferencias significativas ($p=0,0022$) entre los resultados en los dos momentos de la evaluación microbiológica. La temperatura de lactosuero ácido al momento de recolección de las muestras no registró semejanzas en los datos; sin embargo, hay una variabilidad en el proceso, según el gráfico de control de calidad que se presenta en la Figura 1. Los resultados promedio de las variables microbiológicas evaluadas se presentan en la Tabla 2. El análisis de los datos se obtuvo a partir de 54 muestras de lactosuero ácido provenientes de nueve empresas lácteas del municipio de Belén (Boyacá).

Los valores permitidos para aerobios mesófilos según la resolución 1031/10 del MSPS (19) están en el rango de 1 000 y 10 000 UFC/g. El promedio de los datos indica que en todas las empresas se detectaron altos recuentos que superan el índice máximo permisible (Tabla 2). El análisis arrojó diferencias significativas ($p<0,05$), lo que indica que estos microorganismos están presentes en el proceso en cantidades variables.

Las diferencias entre recuentos en los dos momentos de la evaluación microbiológica fueron confirmadas mediante la prueba de Wilcoxon ($p<0,05$); además, el análisis estadístico indicó que los recuentos obtenidos en

Tabla 2. Variables microbiológicas evaluadas en muestras de lactosuero ácido a partir de la elaboración de queso doble crema

Empresa	Aerobios mesófilos *	Coliformes termotolerantes **	Coliformes totales *	Mohos *	Levaduras *
Emp1	4,5x10 ^{6a}	572 ^a	1 100 ^a	66 ^a	4,6x10 ^{3a}
Emp2	3,7x10 ^{4b}	520 ^b	1 100 ^a	20 ^b	9,2x10 ^{4b}
Emp3	4,9x10 ^{6c}	232 ^c	552 ^a	10 ^c	1,9x10 ^{3c}
Emp4	4,0x10 ^{6d}	72 ^d	1 100 ^a	290 ^d	3,6x10 ^{3d}
Emp5	3,4x10 ^{6e}	555 ^e	1 100 ^a	45 ^e	4,9x10 ^{3e}
Emp6	5,5x10 ^{6f}	554 ^e	671 ^a	65 ^f	3,4x10 ^{3f}
Emp7	4,4x10 ^{6a}	564 ^a	1 100 ^a	120 ^g	2,4x10 ^{3g}
Emp8	4,1x10 ^{6d}	3 ^h	552 ^a	15 ^h	2,6x10 ^{3h}
Emp9	4,4x10 ^{5g}	31 ⁱ	1 100 ^a	130 ⁱ	2,3x10 ⁶ⁱ

* UFC/g o UFC/mL): unidades formadoras de colonias por gramo o por mililitro. ** NMP: número más probable por mililitro. Promedios de las columnas seguidos de letras diferentes presentan diferencias significativas p<0,05 según la prueba de Kruskal-Wallis. ND: no determinado. Fuente: datos obtenidos de la investigación.

el segundo momento de la evaluación fueron más bajos. Estos resultados se derivan de la aplicación del plan de mejora indicado para cada empresa como resultado de la primera auditoria; aun así, en todas las plantas evaluadas los recuentos son altos y variables. El 73 % de las empresas exhibe conteos mayores a los límites de control superior UCL, de acuerdo con el comportamiento del *gráficos- \bar{X}* para aerobios mesófilos (Figura 1). Los análisis para coliformes totales (Tabla 2) indican que ninguna de las plantas cumple la normatividad establecida, todas superan el índice máximo permisible para identificar un nivel de buena calidad en el lactosuero.

Figura 1. Gráficos de control de calidad (*gráficos- \bar{X}*), primera y segunda evaluación para datos de temperatura del proceso y recuentos microbiológicos (aerobios mesófilos y coliformes totales) en muestras de lactosuero ácido

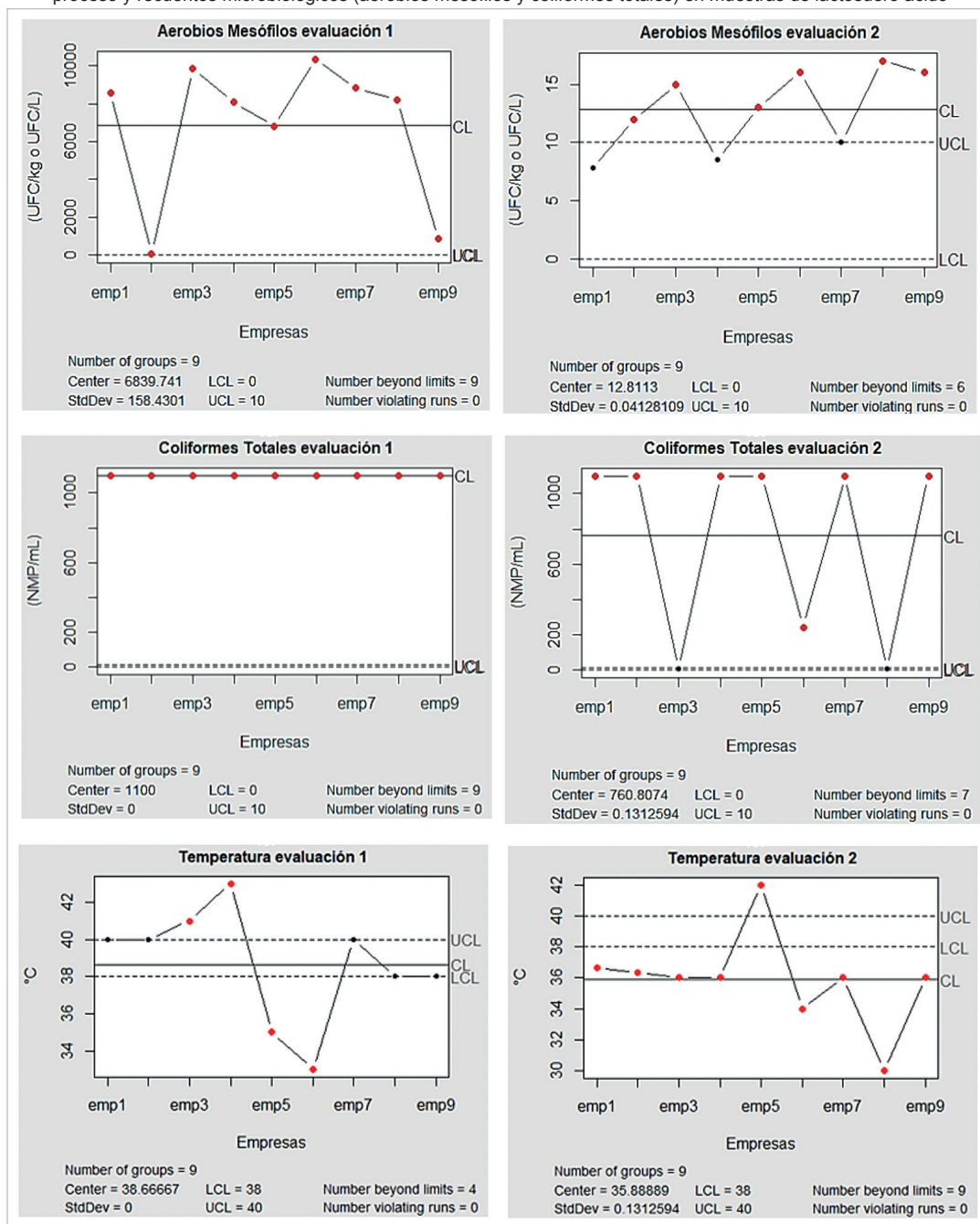
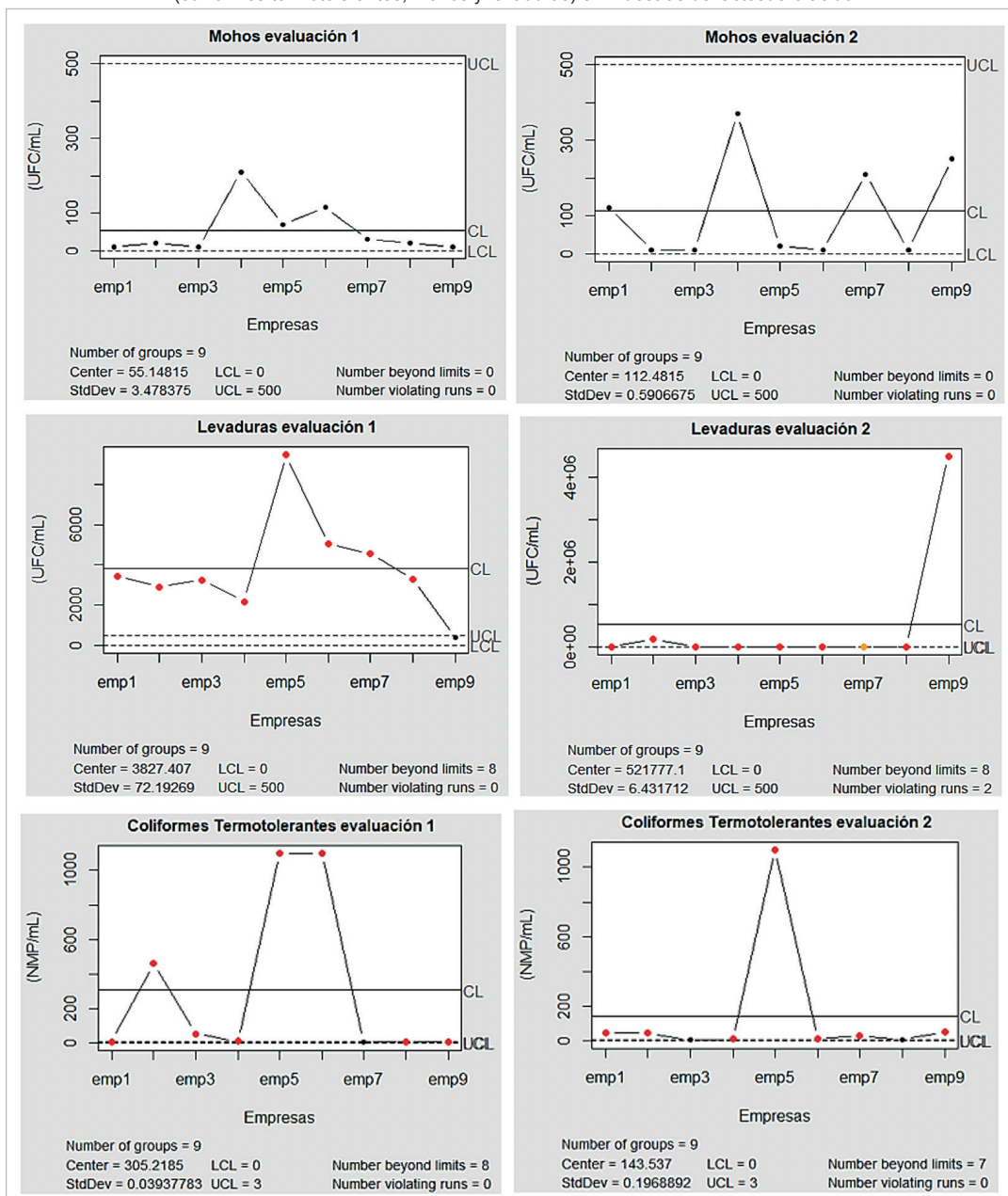


Figura 2. Gráficos de control de calidad (*gráficos- \bar{X}*), primera y segunda evaluación para recuentos microbiológicos (coliformes termotolerantes, mohos y levaduras) en muestras de lactosuero ácido



La Resolución 1031/2010 (19) establece un valor de < 10 NMP/mL. El análisis estadístico en el primer momento de la evaluación no arrojó diferencias significativas ($p=0,469$), en contraste con el segundo momento, en el que hubo significancia ($p<0,05$). Las diferencias en los recuentos de coliformes totales en los dos momentos de la evaluación fueron confirmadas mediante la prueba de Wilcoxon ($p=0,0051$), al hallarse que los recuentos de coliformes totales en la segunda evaluación fueron menores que en la primera. Los resultados de la Tabla 2 para coliformes termo-

tolerantes muestran que más del 80 % de las empresas registraron conteos mayores a 10 NMP. Los datos de las pruebas indicaron significancia estadística ($p<0,05$) para los recuentos de todas las empresas en estudio. No se observaron cambios en los recuentos luego de la implementación del plan de mejora derivado de la primera inspección sanitaria, de acuerdo con los resultados de la prueba de rango con signo de Wilcoxon ($p=0,07183$).

Los referentes normativos para mohos establecen valores permitidos entre 100 y 500 UFC/mL. El 33 % de

las empresas registró recuentos dentro del índice máximo permisible para identificar un nivel de calidad aceptable, en tanto que el 67 % presentó un índice máximo permisible de buena calidad, de acuerdo con los datos de la Tabla 2, con diferencia ($p < 0,05$). En la comparación de los recuentos de mohos en los dos momentos de la evaluación, la prueba de Wilcoxon arrojó un valor $p = 0,9686$, lo cual indica que las colonias de mohos se mantienen constantes en toda la línea de elaboración del queso doble crema y obtención del lactosuero. Son altos los recuentos de levaduras en cada una de las plantas evaluadas (Tabla 2), lo que evidencia el incumplimiento de los referentes normativos (100-500 UFC/mL). Todas las empresas registraron diferentes niveles ($p < 0,05$), pero la carga de levaduras se mantuvo igual en los dos momentos de las pruebas microbiológicas en cada planta, por lo tanto, no se determinaron diferencias estadísticas ($p = 0,7896$) en la prueba de Wilcoxon.

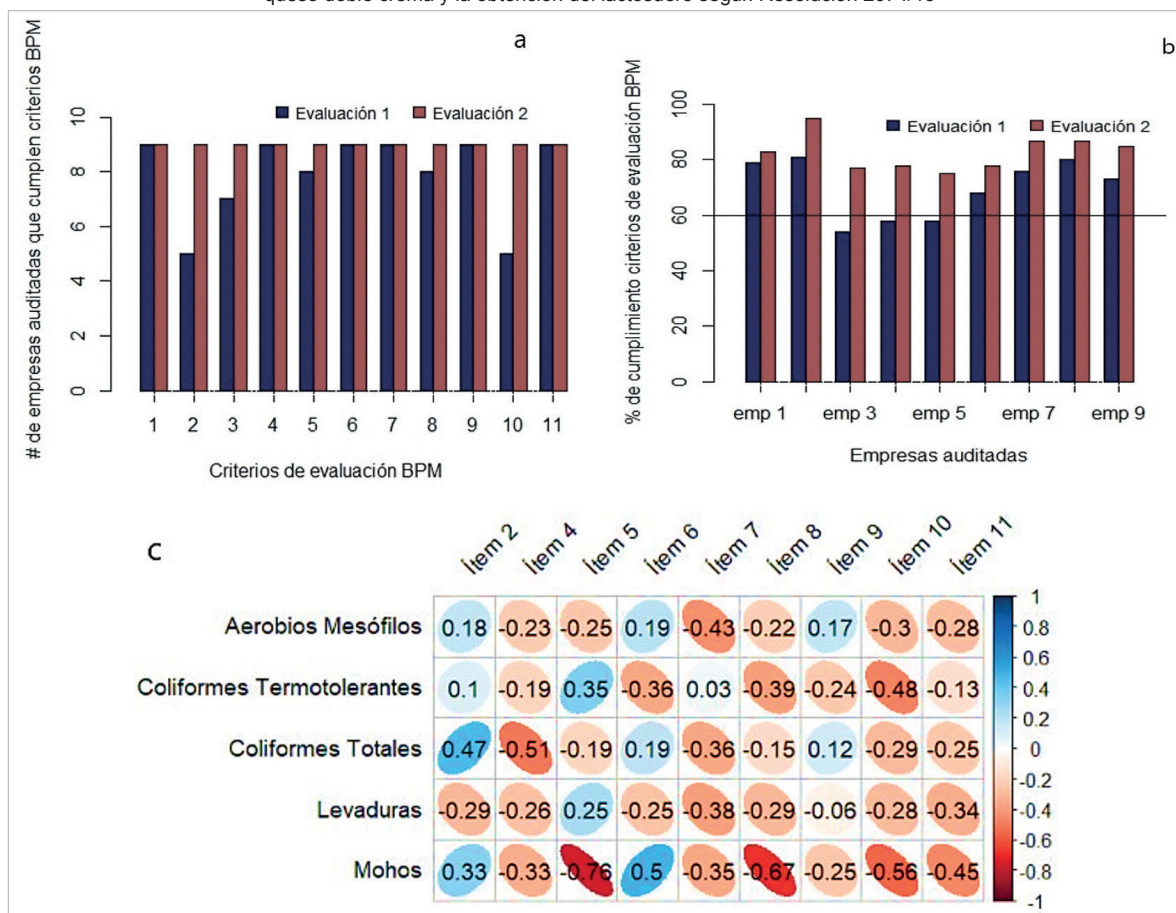
En las Figuras 3a y 3b se presentan los resultados de las auditorías de la evaluación de la calidad sanitaria del proceso de elaboración del queso doble crema y la obtención del lactosuero en cada una de las empresas. En la Figura 3c, por su parte, se presenta el análisis de las correlaciones de Pearson

entre los recuentos microbiológicos de lactosuero ácido y los criterios de cumplimiento de la Resolución 2674/13 (16) de mayor impacto para la prevalencia o crecimiento microbiano. Se determinaron 45 correlaciones, no se hallaron correlaciones positivas ni negativas perfectas. Un 4 % de las correlaciones fueron negativas fuertes, el 9 % positivas moderadas, las correlaciones negativas moderadas abarcan el 40 % y aquellas correlaciones no significativas registran el mayor porcentaje (44 %), que corresponde a valores de r que van de -0,1 a 0,25 de la matriz de la Figura 3c.

DISCUSIÓN

El promedio de los datos de temperatura es de 38,7 y 35,9° C, respectivamente, para cada evaluación. Claramente, se evidencia un patrón de inestabilidad, en la medida en que se registran varios puntos fuera de los límites de control, lo cual es más crítico en la segunda evaluación (Figura 1). Estos resultados sugieren que no existe un proceso bajo control en la etapa de coagulación, corte y desuerado en la elaboración de queso doble crema en cada una de la empresas. Esto reviste importancia en términos de la calidad técnica del queso crema producido en una misma localidad.

Figura 3. Evaluación de la calidad sanitaria (BPM) del proceso de elaboración del queso doble crema y la obtención del lactosuero según Resolución 2674/13



En la elaboración de quesos frescos de pasta hilada, en las etapas de corte y desuerado la temperatura oscila entre 30 y 40° C (20,21). El manejo de la temperatura tiene implicaciones para la calidad microbiológica del lactosuero ácido, dado que favorece el crecimiento de microorganismos mesófilos fermentativos que condicionan el posterior uso de este subproducto. En el rango de 33 a 43 °C se encuentran las temperaturas óptimas para microorganismos patógenos, lo cual justifica la necesidad de aplicar al lactosuero tratamientos de refrigeración y luego pasteurización para reducir el recuento microbiano (22).

En todas las plantas evaluadas los recuentos de aerobios mesófilos están fuera de control y de la norma; el proceso se puede estar realizando con materias primas contaminadas, por falta de verificación en las operaciones de obtención y manipulación de la leche cruda, como la ausencia total de un proceso de pasteurización. Estos microorganismos no causan enfermedades entre los consumidores, pero se consideran indicadores de la calidad del proceso de elaboración de alimentos (23). Los recuentos obtenidos para el lactosuero ácido están en rangos similares a los presentados en estudios como el de López (24), de 11×10^5 UFC/g; De la Cruz (23), de $7,4 \times 10^5$ UFC/g; y Díaz (25), de $9,9 \times 10^5$ UFC/g. Las buenas prácticas de ordeño y transporte generan bajos recuentos; mantener la leche inmediatamente a la extracción y en el transporte a 4° C, así como establecer acciones de limpieza y desinfección de equipos y manipuladores, lleva a garantizar la materia prima, el producto terminado y el lactosuero de buena calidad (23).

El análisis de los gráficos de control para coliformes totales (Figura 1) muestra el incumplimiento de la norma, con exceso de todo límite de control. Estos altos recuentos son indicativos de inadecuadas prácticas de higiene durante todo el proceso de elaboración (26). Para la calidad sanitaria del lactosuero, ello genera efectos negativos, no solo por representar un riesgo para la salud, sino por los procesos de acidificación que condicionan su uso como materia prima alimentaria. Los resultados son cercanos a los reportados en otros estudios del lactosuero, como el de López (24,27) o el de Chams (27), con recuentos de $>1 \ 100$ NMP/mL; De la Cruz (23), con $2,8 \times 10^3$ NMP/mL; y Villarruel (26) con $2,5 \times 10^2$ NMP/mL. Estos trabajos coinciden en afirmar la viabilidad del uso de lactosuero aplicando estrictos controles en toda la línea de producción de quesos, además de la pasteurización de la leche y la refrigeración del suero.

La media de *gráficos- \bar{X}* para los valores obtenidos de coliformes termotolerantes (Figura 2) presenta variabilidad en los recuentos y el incumplimiento normativo. El 33 % de las empresas tiene bajo control el recuento de estos patógenos, por lo menos en las etapas de recepción de leche hasta el corte de la cuajada y la generación del lactosuero, mientras que el 67 % debe evaluar y validar procedimientos

de limpieza y desinfección en los métodos de higiene de instalaciones, equipos y manipuladores. Estas empresas, a pesar de no cumplir con los índices permisibles, difieren por completo de los valores reportados en otros estudios. Por ejemplo, en el estudio de Yazici (28) se reportaron $1,1 \times 10^6$ NMP/mL; en López (24) y Chams (27) se sobrepasaron los $1 \ 100$ NMP/mL; y De la Cruz (23) reportó $7,3 \times 10^4$ NMP/mL. Se infiere que las empresas productoras tienen bajos niveles de contaminación del suero, que deben ser controlados con un eficiente seguimiento de las BMP y la aplicación de procesos térmicos para lograr recuentos menores de $0,03$ NMP/mL (29).

En los gráficos de calidad- \bar{X} para mohos, el valor medio evidencia un proceso bajo control, sin datos fuera de los límites para UCL y LCL (Figura 2), pero los recuentos indican condiciones de procesamiento deficientes que pueden condicionar no solo el aprovechamiento de lactosuero, sino la calidad en anaquel del queso fresco (25). Es importante generar acciones que conlleven condiciones sanitarias para reducir los recuentos a un valor inferior a 100 UFC/mL. En investigaciones semejantes, los recuentos para mohos en lactosuero reportaron resultados similares: Yazici (28) obtuvo <100 UFC/mL y López (24) 20 UFC/mL. Sin embargo, en otros trabajos se registraron conteos superiores a $6,3 \times 10^4$ UFC/mL (26) y a 11×10^5 UFC/mL (25). Las condiciones ambientales de las plantas de procesamiento favorecen la permanencia de mohos, ya que se presentan temperaturas superiores a 20° C, debido al proceso de coagulación y cocción de la cuajada, lo que genera una humedad relativa mayor al 75 %.

De acuerdo con la Figura 2, el 100 % de las empresas presentó un patrón de inestabilidad en los gráficos- \bar{X} para levaduras. El proceso debe controlarse para generar recuentos inferiores al límite UCL y llegar a un nivel de calidad por lo menos aceptable. Son varios los estudios que relacionan las actividades de descomposición de las levaduras en productos lácteos, y en el suero se han relacionado con la capacidad de fermentar lactosa (30). Por este motivo, deben inactivarse antes de un uso industrial; además, generan contaminación en ambientes y equipos, ya que pueden duplicarse en medios ácidos (13). Los datos obtenidos exhibieron resultados cercanos a los reportados en Lyberg (31), con $1,3 \times 10^5$ UFC/mL, y Villarruel (26), con $6,3 \times 10^4$ UFC/mL. Díaz (25) registró la misma cantidad de mohos y levaduras (11×10^5 UFC/mL).

De acuerdo con el Invima, el porcentaje mínimo aprobatorio de cumplimiento de los criterios de la Resolución 2674/13 (16) es igual o mayor al 60 %. En la Figura 3a se identificaron aquellos criterios (Tabla 1) que desde la primera auditoría registraron un porcentaje aprobatorio (1,4,6,7,9 y 11). Los criterios 2, 3, 5, 8 y 10 (42 %) obtuvieron conceptos desfavorables en la primera evaluación, lo

cual llevó a implementar en cada empresa el correspondiente plan de mejoras. De esta manera, la cantidad de empresas que superaban los mínimos de aceptación aumentó en la segunda evaluación. El análisis de la Figura 3b indicó que en la primera auditoría el 67 % de las empresas obtuvo un puntaje por encima del 60 %, pero no sobrepasan el 80 % de cumplimiento. Estas empresas, junto con las que obtuvieron un porcentaje inferior al mínimo aprobatorio, se sometieron a un plan común de mejoras que arrojó resultados positivos en la segunda auditoría. En esta se observó que el 100 % de las empresas evaluadas superó el 60 % de aprobación solicitado por el Invima. A pesar de los resultados, se concluye que las empresas conocen y tienen documentados los PPR que constituyen las BPM, pero tenerlos y aplicarlos esporádicamente resulta insuficiente si no se llevan a la práctica diaria, de forma constante, controles, verificación y validación, lo que conlleva elaborar productos en condiciones no controladas, que finalmente se reflejan en la calidad microbiológica y técnica de los productos y los subproductos (32). Las empresas deben propender por el cumplimiento diario de las BPM, como también proporcionar los medios para alcanzar los estándares. Por ello, el conocimiento y la aplicación de todo el personal, por lo menos en relación con la higiene de manipuladores, la prevención de la contaminación cruzada y el saneamiento básico son indispensables y requieren apoyo externo e interno, como lo expresan Raguindin (33) y Kuo (34).

Con referencia al análisis de la matriz de Pearson, las correlaciones negativas fuertes, con valores de $r = -0,76$ y $r = 0,67$ entre el recuento de mohos y los ítems 5 y 8 (Figura 3c), infieren que el crecimiento fúngico en muestras de lactosuero se ve favorecido por la baja gestión de las BPM. De acuerdo con la matriz de la Figura 3c, queda en evidencia, nuevamente, que los recuentos de hongos pueden provenir de la leche cruda, debido a la manipulación durante las operaciones de recolección, como transporte, y pueden aumentar en las operaciones de coagulación y desuerado. La relación entre pares positivos moderados (valores de r entre 0,33 y 0,5) de la Figura 3c indica que hay una relación directa entre la calidad microbiológica del suero y el grado de incumplimiento de las BPM. Entre las unidades de producción en estudio existen deficiencias higiénicas; la falta de implementación, control o evaluación constante de criterios como los que se verifican en el plan de saneamiento, materias primas y almacenamiento, puede estar generando criticidad y favorecer recuentos de coliformes y mohos, lo que compromete la calidad del suero y posiblemente del queso doble crema.

Para la investigación resulta de importancia el análisis de la matriz de Pearson para las correlaciones negativas

moderadas, cuyos resultados muestran que los conteos microbiológicos en suero ácido tienen como causa la insuficiencia en la gestión del 90 % de los criterios de BPM evaluados (Figura 3c). En cada empresa se refleja que en la línea de producción de queso doble crema, en las etapas iniciales hasta la obtención del suero, puede haber una prevalencia de aerobios mesófilos, coliformes, levaduras y mohos. Sobresalen las correlaciones evaluadas de los criterios 4, 7, 10 y 11 (Figura 3c), los cuales deben ser considerados puntos de control para contrarrestar el recuento de coliformes totales, aerobios mesófilos, coliformes termotolerantes y mohos. El análisis de correlación permitió identificar que el criterio de cumplimiento 10 (Tabla 1) obtuvo un mayor número de correlaciones negativas, de donde se deduce un déficit en la eficacia de los métodos que cada empresa desarrolla para la verificación de los requisitos definidos en los programas de calidad.

En conclusión, los recuentos microbiológicos apuntan a una baja gestión en la calidad sanitaria en el proceso de obtención de queso doble crema y suero; se debe hacer mayor gestión y cumplimiento de las BPM en cada empresa para preservar la calidad microbiológica del suero. No es suficiente obtener una calificación del perfil sanitario igual o mayor al 60 % para indicar el cumplimiento de las BPM. Los análisis de microorganismos indicadores de calidad han tenido una baja consideración en procesos de gestión de calidad, la mayoría de las empresas tiene previsto realizarlos sobre materias primas y producto final, pero a la luz de los resultados se deben incluir como medida preventiva (35), toda vez que las BPM actúan en toda la línea de producción (15,36). Cada una de las empresas lácteas que participaron en el estudio elabora quesos a partir de leche sin pasteurizar y maneja temperaturas entre 33 y 43 °C. Tales condiciones favorecen que en el suero persistan mayores bacterias que en la leche cruda (8), razón por la cual es imperativo el tratamiento térmico de la leche y del suero después del desuerado, al igual que la implementación de las BPM en todo las etapas del proceso para asegurar que el lactosuero es un producto apto para posteriores usos ♣

Agradecimientos: Este manuscrito es resultado del proyecto de investigación “Evaluación de calidad sanitaria del lactosuero ácido de las empresas lácteas de Belén (Boyacá) y propuesta técnica para su conservación en refrigeración”, trabajo de grado de Diana Carolina Patiño. Los autores agradecen al Sistema de Gestión de la Investigación-SIGI de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por financiar esta investigación mediante la convocatoria interna 008 del 2019, y a Fenalco Capítulo Boyacá, Clúster de Derivados Lácteos, por apoyar estratégicamente el desarrollo de la investigación.

Conflictos de intereses: Ninguno.

REFERENCIAS

- Conde-Báez L, López-Molina A, Gómez-Aldapa C, Pineda-Muñoz C, Conde-Mejía C. Economic projection of 2-phenylethanol production from whey. *Food Bioprod Process*. 2019; 115:10-16. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.02.004>.
- Buhler S, Solari F, Gasparini A, Montanari R, Sforza S, Tedeschi T. UV irradiation as a comparable method to thermal treatment for producing high quality stabilized milk whey. *Lebenswiss Technol*. 2019; 105:127-34. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.051>.
- Karim A, Aider M. Production of prebiotic lactulose through isomerisation of lactose as a part of integrated approach through whey and whey permeate complete valorisation: A review. *Int Dairy J*. 2022; 126(105249):105249. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105249>.
- Sert D, Mercan E. The impact of ozone treatment on whey concentrate on the flow behaviour, functional and microbiological characteristics of whey powder. *Int Dairy J*. 2022; 134 (105447):105447. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105447>.
- Kravtsov V, Kulikova I, Mikhaylin S, Bazinet L. Alkalinization of acid whey by means of electro dialysis with bipolar membranes and analysis of induced membrane fouling. *J Food Eng*. 2020; 277 (109891):109891. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109891>.
- Mainardis M, Flaibani S, Trigatti M, Goi D. Techno-economic feasibility of anaerobic digestion of cheese whey in small Italian dairies and effect of ultrasound pre-treatment on methane yield. *J Environ Manage*. 2019; 246:557-63. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.014>.
- Israni N, Venkatachalam P, Gajaraj B, Varalakshmi KN, Shivakumar S. Whey valorization for sustainable polyhydroxyalkanoate production by *Bacillus megaterium*: Production, characterization and in vitro biocompatibility evaluation. *J Environ Manage*. 2020; 255(109884):109884. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109884>.
- Da Silva Duarte V, Carlot M, Pakroo S, Tarrah A, Lombardi A, Santiago H, et al. Comparative evaluation of cheese whey microbial composition from four Italian cheese factories by viable counts and 16S rRNA gene amplicon sequencing. *Int Dairy J*. 2020; 104(104656):104656. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104656>.
- Federación Colombiana de Ganaderos. Estadísticas Sector productivo [Internet]. Consultado el 22 de agosto del 2022. Disponible en: <https://bit.ly/3ENBagR>.
- Dehaquiz YE, Zambrano SM. Vista de diagnóstico situacional y ambiental de la cadena láctea del departamento de Boyacá. *Vestigium Ire*. 2012; 5:37-46.
- Vargas T, Meyer G. Cuerpo de conocimiento de la gerencia de proyectos PMBOK para el estudio de pre-inversión con evaluación de oportunidades de negocio en empresas lácteas del municipio de Belén, Boyacá. 2021. Consultado el 19 de agosto del 2022. Disponible en: <https://bit.ly/3FVbqzD>.
- Daza N. Observatorio del sector lácteo colombiano [Internet]. Bogotá: Ministerio de Agricultura; 2022. Consultado el 19 de agosto del 2022. Disponible en: <https://bit.ly/45NaKa4>.
- Simonis P, Kersulis S, Stankevich V, Sinkevich K, Striguniene K, Ragoza G, et al. Pulsed electric field effects on inactivation of microorganisms in acid whey. *Int J Food Microbiol*. 2019;291:128-34. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.11.024>.
- Liu F, Rhim H, Park K, Xu J, Lo CKY. HACCP certification in food industry: Trade-offs in product safety and firm performance. *Int J Prod Econ*. 2021; 231(107838):107838. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107838>.
- Noor Hasnan NZ, Basha RK, Amin NAM, Ramli SHM, Tang JYH, Aziz NA. Analysis of the most frequent nonconformance aspects related to Good Manufacturing Practices (GMP) among small and medium enterprises (SMEs) in the food industry and their main factors. *Food Control*. 2022; 141(109205):109205. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109205>.
- Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. Resolución 2674 de 2013: Por la cual se reglamenta el artículo 126 del Decreto Ley 019 de 2012 y se dictan otras disposiciones. [Internet]. Bogotá 22 de julio de 2013. consultado el 19 de agosto de 2022. Disponible en: <https://bit.ly/45EziSk>.
- Raposo A, Carrascosa C, Pérez E, Saavedra P, Sanjuán E, Millán R. Vending machines: Food safety and quality assessment focused on food handlers and the variables involved in the industry. *Food Control*. 2015; 56:177-85. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.01.052>.
- Tarazona Manrique LE, Villate Hernández JR, Forero Rojas EJ, Grijalba Otálora JV, Vargas Abella JC, Andrade Becerra RJ. Presencia de microorganismos micóticos en leche cruda de tanques de enfriamiento en el Altiplano Boyacense (Colombia). *CES Med Vet Zootec*. 2019; 14(2):8-17. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.14.2.1>.
- Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. Resolución 10131 de 2010: Por la cual se modifica el artículo 6 de la Resolución 2997 de 2007 modificado por el artículo 1 de la Resolución 715 de 2009. [Internet]. Bogotá 19 de marzo de 2010. consultado el 19 de agosto de 2022. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion-1031-de-2010.pdf>.
- Aldalur A, Bustamante MÁ, Barron LJR. Effects of technological settings on yield, curd, whey, and cheese composition during the cheese-making process from raw sheep milk in small rural dairies: Emphasis on cutting and cooking conditions. *J Dairy Sci*. 2019; 102(9):7813-25. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16401>.
- Verdú S, Pérez AJ, Barat JM, Grau R. Non-destructive control in cheese processing: Modelling texture evolution in the milk curdling phase by laser backscattering imaging. *Food Control*. 2021; 121(107638):107638. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107638>.
- Rodríguez I, Abad CA, Pérez A, Santana KD. Elaboración de una bebida a base de suero lácteo y pulpa de *Theobroma grandiflorum*. *Biotechnol Agropecu Agroind*. 2020; 18(2):166-175. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(18\)166-175](https://doi.org/10.18684/BSAA(18)166-175).
- De la Cruz González EG, Aquino Ruiz EL, Rocha DA, Bonifaz NF. Estudio de la calidad físico-química y microbiológica del lactosuero de queso fresco proveniente de queseras artesanales de Cayambe - Ecuador. *Sathiri*. 2018; 13(2):178-95. <https://doi.org/10.32645/13906925.764>.
- López-Barreto RE, Becerra-Jiménez ML, Borrás-Sandoval LM. Caracterización físico-química y microbiológica del lactosuero del queso Paipa. *Cienc Agric*. 2018; 15(2):99-106. <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n2.2018.8565>.
- Ruiz Díaz F, Cieza MYR, Pérez RDP. Efecto de la elaboración de queso en el contenido proteico y microbiológico del lactosuero. *Nor@ndina*. 2020; 3(1):4-12. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v3n1p4>.
- Villarruel-Lopez A, Castro-Rojas J, Gomez-Aldapa C, Nuño K, Torres-Vitela R, Martínez-González N, et al. Indicator microorganisms, Salmonella, Listeria monocytogenes, Staphylococcal enterotoxin, and physicochemical parameters in requesón cheese. *Afr J Food Sci*. 2016; 10(9):178-84. <https://doi.org/10.5897/AJFS2016.1473>.
- Chams L, Cury K, Aguas Y. Evaluación microbiológica de suero costeño y valoración higiénica en puntos de venta en Montería, Córdoba. *Recia*. 20124(2):344-52. <https://doi.org/10.24188/recia.v4.n2.2012.215>.
- Yazici F, Dervisoglu M, Akgun A, Aydemir O. Effect of whey pH at drainage on physicochemical, biochemical, microbiological, and sensory properties of Mozzarella cheese made from buffalo milk during refrigerated storage. *J Dairy Sci*. 2010; 93(11):5010-9. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2908>.
- Selover B, Johnson J, Waite-Cusic JG. Population dynamics of coliforms in a commercial Cheddar cheese production facility. *J Dairy Sci*. 2021; 104(7):7480-8. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19808>.
- Coloretti F, Chiavari C, Luise D, Tofalo R, Fasoli G, Suzzi G, et al. Detection and identification of yeasts in natural whey starter for Parmigiano Reggiano cheese-making. *Int Dairy J*. 2017; 66:13-7. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.10.013>.

31. Lyberg K, Olstorpe M, Passoth V, Schnürer J, Lindberg JE. Biochemical and microbiological properties of a cereal mix fermented with whey, wet wheat distillers' grain or water at different temperatures. *Anim Feed Sci Technol.* 2008; 144(1-2):137-48. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.09.028>.
32. Aboagye G, Gbolonyo-Cass S, Kortei NK, Annan T. Microbial evaluation and some proposed good manufacturing practices of locally prepared malted corn drink ("asaana") and Hibiscus sabdarifa calyces extract ("sobolo") beverages sold at a university cafeteria in Ghana. *Sci Afr.* 2020; 8(e00330):e00330. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00330>.
33. Limon MR. Food safety practices of food handlers at home engaged in online food businesses during COVID-19 pandemic in the Philippines. *Curr Res Food Sci.* 2021; 4:63-73. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.01.001>.
34. Kuo SC, Weng YM. Food safety knowledge, attitude, and practice among elementary schoolchildren in southern Taiwan. *Food Control.* 2021; 122(107818):107818. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107818>.
35. Castro VS, Figueiredo E, McAllister T, Stanford K. Farm to fork impacts of super-shedders and high-event periods on food safety. *Trends Food Sci Technol.* 2022; 127:129-42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.006>.
36. Ramos GL, Nascimento JS, Margalho LP, Duarte MC, Esmerino EA, Freitas MQ, et al. Quantitative microbiological risk assessment in dairy products: Concepts and applications. *Trends Food Sci Technol.* 2021;111:610-6. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.017>.