


Caracterización fisicoquímica y microbiológica del queso semiduro fortificado con *Spirulina* (*Arthrospira platensis*)

Physicochemical and microbiological characterization of semi-firm cheese fortified with Spirulina (Arthrospira platensis)


Rafael A. Murgas Arambulo

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería de Producción Animal, Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0005-1643-2267> | Correo Electrónico: rafaelmurgasa@gmail.com


Reinaldo A. Briñez Castro

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería de Producción Animal, Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0000-4892-0138> | Correo Electrónico: reinaldobrinez1@gmail.com

Laura R. Soto Arrieta

Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Departamento de Química, Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0000-0002-4250-5088> | Correo Electrónico: laurasotoarrieta@gmail.com

Recibido: 17-07-2025 Admitido: 30-07-2025 Aprobado: 15-08-2025

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20208565>

Resumen

En Venezuela, el consumo de alimentos funcionales ha experimentado un incremento en las últimas décadas. El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente un queso semiduro fortificado con *Spirulina* (*Arthrospira platensis*). Para ello, se empleó un diseño experimental completamente al azar, con la realización de análisis sensoriales, fisicoquímicos y microbiológicos conforme a las Normas COVENIN. En la caracterización fisicoquímica, se observaron diferencias significativas (prueba *t-student*, $p < 0,05$) en el contenido de grasa (31,62 % vs. 25,02 %), proteína (18,23 % vs. 17,70 %) y humedad (41,34 % vs. 40,06 %) entre el queso fortificado y el control, respectivamente. El contenido de cenizas no mostró variaciones significativas ($p > 0,05$). Los análisis microbiológicos confirmaron la ausencia de *Salmonella* y *E. coli* dentro de los límites permisibles; sin embargo, los recuentos de *Staphylococcus aureus* ($3,9 \times 10^3$ UFC/g) superaron el límite establecido por la norma COVENIN 3821 ($< 1 \times 10^2$ UFC/g). Se concluye que la fortificación con *Spirulina* al 0,33 % es tecnológicamente viable y mejora el perfil nutricional del queso semiduro, aunque se deben optimizar las buenas prácticas de manufactura para garantizar su inocuidad microbiológica.

Palabras clave: Queso semiduro, Alimentos funcionales, *Spirulina* (*Arthrospira platensis*), Inocuidad de los alimentos, Análisis bromatológico

Abstract

In Venezuela, the consumption of functional foods has increased in recent decades. The present study aimed to characterize a semi-hard cheese fortified with *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) from a physicochemical and microbiological perspective. For this purpose, a completely randomized experimental design was employed, including sensory, physicochemical, and microbiological analyses in accordance with COVENIN standards. In the physicochemical characterization, significant differences (*t-test*, $p < 0.05$) were observed in fat content (31.62% vs. 25.02%), protein (18.23% vs. 17.70%), and moisture (41.34% vs. 40.06%) between the fortified cheese and the control, respectively. Ash content did not show significant variations ($p > 0.05$). Microbiological analyses confirmed the absence of *Salmonella* and *E. coli* within permissible limits; however, the counts of *Staphylococcus aureus* (3.9×10^3 CFU/g) exceeded the established limit. According to the COVENIN 3821 standard ($< 1 \times 10^2$ CFU/g). It is concluded that fortification with 0.33%

Spirulina is technologically feasible and improves the nutritional profile of semi-hard cheese, although good manufacturing practices should be optimized to ensure its microbiological safety.

Keywords: *Semi-hard Cheese, Functional Foods, Spirulina (Arthrospira platensis), Food Safety, Physicochemical Characterization.*

Introducción

Dentro de los ingredientes con potencial funcional, la microalga *Spirulina (Arthrospira platensis)* ha despertado un gran interés. Según Spínola, Mendes y Prates [1], la *Spirulina* se destaca por su elevado contenido proteico, que representa entre el 50 y 70 % de su peso en seco, lo que le permite competir con fuentes tradicionales de proteína como la soja o el huevo. Esta característica, junto con su perfil de aminoácidos esenciales, la convierte en una alternativa viable para combatir las deficiencias nutricionales. Adicionalmente, contiene una amplia gama de nutrientes bioactivos como vitaminas (complejo B, E y K), minerales (hierro, calcio, magnesio), ácidos grasos esenciales (como el ácido gamma-linolénico), ficobiliproteínas (como la ficocianina, un potente antioxidante) y polisacáridos [1, 2]. Izaguirre, Molina, Figueroa, Ramos y Torres [2] afirman que “la *Spirulina* contiene cerca del 95% de los nutrientes considerados indispensables para la nutrición humana”, lo que la posiciona como un alimento ideal para la fortificación.

La producción de *Spirulina* es también destacable por su sostenibilidad. Se cultiva en sistemas de bajo consumo hídrico y alta eficiencia fotosintética, evitando la competencia con cultivos agrícolas convencionales y teniendo un bajo impacto ambiental. Esto la convierte en un recurso ideal para la formulación de alimentos funcionales en un contexto global que demanda sistemas alimentarios más sostenibles [2].

La fortificación de productos lácteos con microalgas, particularmente con *Spirulina platensis* y *Spirulina maxima*, ha sido ampliamente justificada en la literatura científica por sus múltiples beneficios nutricionales, tecnológicos y sensoriales [3]. Estudios previos [4] y [5] demuestran que la adición de *Spirulina* a diferentes tipos de queso, incluyendo queso Ricotta, queso procesado y queso de pasta blanda, incrementa significativamente el contenido de proteínas, minerales totales (cenizas), fibra, compuestos fenólicos, β -caroteno y capacidad antioxidante, en comparación con los quesos control sin fortificar. Desde el punto de vista tecnológico, la incorporación de *Spirulina* mejora las propiedades texturales del queso, reduciendo la separación de grasa y la capacidad de fusión, al tiempo que retrasa la aparición de mohos y levaduras durante el almacenamiento, lo que contribuye a extender su vida útil [4]. Además, la viabilidad sensorial de estos productos ha sido confirmada en concentraciones óptimas de adición (0,25% - 3%), logrando una aceptabilidad comparable o incluso superior a la del queso convencional, especialmente cuando se optimiza la formulación para maximizar el contenido de hierro y la actividad antioxidante [6]. En conjunto, estas investigaciones justifican el empleo del queso como matriz alimentaria ideal para la fortificación con *Spirulina*, permitiendo el desarrollo de productos funcionales innovadores con alto valor nutricional, estabilidad mejorada y buena aceptación por parte del consumidor, lo que resulta particularmente relevante en contextos de déficit nutricional y búsqueda de alimentos sostenibles [6].

A partir de lo antes mencionado, el presente estudio propone caracterizar un queso semiduro fortificado con *Spirulina (Arthrospira platensis)*, a través de análisis sensoriales, fisicoquímicos y microbiológicos, se busca determinar la viabilidad tecnológica de la fortificación, evaluar la calidad e inocuidad del nuevo producto y medir su aceptabilidad por parte del consumidor, sentando las bases para el desarrollo de un alimento funcional innovador y contextualizado a la realidad venezolana.

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación, se empleó un diseño experimental completamente al azar. La unidad experimental de esta investigación, estuvo representada por el queso fortificado con *Spirulina* con tres concentraciones 0,33%; 0,66% y 1 %, al cual se le aplicaron análisis sensoriales, fisicoquímicos y microbiológicos por quintuplicado, para medir el efecto de las variables independientes (causa - concentraciones de *Spirulina*) sobre las variables dependientes (efecto - calidad fisicoquímica). En la caracterización se empleó un queso control (sin fortificación) como elemento de comparación.

Para la recolección de información, se utilizó la observación directa [7] y como instrumento de recolección de datos se diseñó un cuestionario para recoger datos de parámetros sensoriales con la finalidad de determinar el tratamiento ideal para realizar posteriormente la caracterización fisicoquímica, a través de análisis de laboratorio estandarizados.

Se hizo un análisis estadístico, mediante la aplicación de la prueba Kruskal Wallis de variables no paramétricas, en el análisis sensorial y una prueba *t-student* a las variables analizadas en la caracterización del queso fortificado con *Spirulina*.

Fortificación de *Spirulina* en los quesos

Se realizaron cuatro (4) tratamientos como se describe en la Tabla 1, de acuerdo al porcentaje de adición de *Spirulina* en el queso evaluado.

Tabla 1. Dosis de fortificación de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*)

Tratamiento	Dosis de <i>Spirulina</i> (<i>Arthrospira platensis</i>) aplicada en el queso
A	0,33
B	0,66
C	1,0
D	0,0

Las dosis de cada tratamiento se realizaron en la fase de cuajado cuando se formuló el queso en estudio. Las pruebas de laboratorio se realizaron considerando cinco (5) réplicas por experimento.

Análisis sensoriales de los quesos fortificados

Para el análisis sensorial de los quesos fortificados con *Spirulina*, se utilizó un panel entrenado compuesto por diez (10) personas, en el cual se determinaron las siguientes características: aspecto, olor, sabor y textura, con respecto a los tres quesos fortificados que se elaboraron, con diferentes concentraciones de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*), como sigue: queso A presentó 0,33% de *Spirulina*, el queso B 0,66% y por último el queso C 1% de *Spirulina*. Se aplicó una escala hedónica de cinco (5) niveles para esta prueba (1= muy malo, 2= malo, 3= regular, 4= bueno y 5= muy bueno).

Análisis fisicoquímicos de los quesos fortificados con *Spirulina*

Se practicó el análisis proximal de Weende, debido a que éste se relaciona estrechamente con la determinación de parámetros fisicoquímicos de los alimentos, y ofrece información sobre los componentes básicos que definen las características nutricionales y funcionales de los alimentos [8].

El porcentaje de humedad de los quesos fortificados con *Spirulina* se determinó utilizando el método de peso constante, el cual se basó en un procedimiento de deshidratación, en el cual se eliminó el agua contenida en la muestra y se midió la diferencia de peso antes y después del secado [9]. Se seleccionó una muestra representativa del alimento, se pesó con precisión la muestra inicial y se colocó en un horno de secado a una temperatura constante, entre 100°C y 105°C, durante un período de tiempo determinado, para eliminar toda el agua libre presente en la muestra, sin descomponer otros componentes. Después de la fase de secado, la muestra se retiró del horno y se dejó enfriar en un desecador para evitar la absorción de humedad ambiental. Posteriormente, se pesó la muestra ya seca, y la cantidad de agua presente en la muestra se determinó por la diferencia de peso entre la muestra antes y después del secado.

Para estimar el porcentaje de proteína cruda se utilizó el método de Kjeldahl, un procedimiento ampliamente utilizado para determinar el contenido de nitrógeno total en una muestra, el cual se utiliza para calcular el contenido de proteína cruda en alimentos y otros materiales biológicos [10]. La muestra de queso se mezcló con ácido sulfúrico concentrado en presencia de un catalizador, esta mezcla se calentó para

descomponer las moléculas orgánicas, liberando nitrógeno en forma de amoníaco, que se convierte en sulfato de amonio en el medio ácido. Después de la digestión, el analito se enfrió y se diluyó con agua. Luego, se neutralizó con una base fuerte, lo que liberó el amoníaco en forma gaseosa y el amoníaco liberado se destiló y se recogió en una solución de ácido bórico. Luego en la valoración, el nitrógeno capturado en la solución receptora se tituló con una solución estándar de ácido. A partir del volumen de ácido necesario para neutralizar el amoníaco, se calculó el contenido de nitrógeno. Dado que las proteínas contienen aproximadamente un 16% de nitrógeno, el contenido de nitrógeno se multiplicó por un factor de conversión (generalmente 6,25) para estimar el contenido de proteína cruda.

La determinación de la grasa se consiguió por el método de Röse-Gottlieb, que es un procedimiento gravimétrico ampliamente utilizado para determinar el contenido de grasa en alimentos, especialmente en productos lácteos [11]. Se tomó una cantidad precisa de la muestra de alimento y se pesó cuidadosamente, luego se añadió una cantidad específica de amoníaco concentrado para disolver las proteínas presentes en la muestra, se incorporó etanol como solvente para facilitar la extracción de grasas, luego se usó éter dietílico y éter de petróleo para extraer las grasas de la solución acuosa. La mezcla se agitó vigorosamente y se centrifugó o se dejó reposar para separar las capas, la grasa se disolvió en los solventes orgánicos, formando una capa separada. Por último, los solventes se evaporaron mediante calentamiento controlado o en un baño de agua para eliminar todo el éter, y el residuo graso restante se secó a una temperatura controlada y luego se pesó con precisión.

Finalmente, el análisis del contenido de cenizas en los quesos, se llevó a cabo utilizando el método de incineración, con el objetivo de identificar la fase inorgánica del producto. Para ello, la muestra fue introducida a un horno dentro de un crisol de porcelana con una temperatura de 600 °C durante dos horas, al finalizar este período se pesó la muestra y se calculó el porcentaje de cenizas, dividiendo la pérdida de peso de la muestra por el peso inicial de la misma [11].

Análisis estadísticos de los datos fisicoquímicos

Se utilizó la prueba t de student, una herramienta estadística que consiste en comparar, teniendo en cuenta la dispersión de los datos, la media observada en la muestra con la esperada bajo la hipótesis nula. Si el p-valor asociado al estadístico de contraste es mayor que α se asumirá la hipótesis nula, lo que significará que la muestra pertenece a la población [12].

Para el queso semiduro fortificado con *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) y el queso semiduro sin fortificar, se compararon los siguientes parámetros: humedad, fibra, proteína, ceniza y grasa con la finalidad de establecer si hubo alguna modificación en la calidad nutricional del queso.

Análisis microbiológicos del queso fortificado con *Spirulina*

Para determinar la calidad microbiológica del queso fortificado con *Spirulina* y el queso sin fortificar, se emplearon las siguientes determinaciones:

Escherichia coli (COVENIN 1104): Para ello, se pesó una cantidad específica de la muestra de queso bajo condiciones estériles, luego se diluyó en un volumen adecuado de un diluyente estéril, como solución salina peptonada al 0,1 %, la mezcla se homogenizó en un agitador para asegurar una distribución uniforme de los microorganismos. Luego, el homogenizado se incubó en caldo lactosado a 35–37 °C durante 24 horas, lo cual permitió recuperar posibles células de *E. coli* que pudieran estar debilitadas. Se transfirió una alícuota del caldo lactosado a un medio selectivo líquido, como el caldo *Escherichia coli* o caldo verde brillante, que favoreció el crecimiento de coliformes y *E. coli* mientras inhibe otros microorganismos. Se incubó a 44,5 °C durante 24–48 horas, para favorecer el crecimiento de *E. coli* termotolerante. Del medio enriquecido, se sembró en placas con medios diferenciales y selectivos, como: Agar EMB (Eosina Azul de Metileno) donde las colonias de *E. coli* típicamente tienen un brillo metálico verdoso, y Agar MacConkey donde las colonias de *E. coli* fermentan lactosa y producen colonias de color rosado. Las placas se incubaron a 35–37 °C durante

24 horas y las colonias sospechosas se sometieron a pruebas bioquímicas adicionales para confirmar que pertenecen a *E. coli* [13].

Salmonella spp. (COVENIN 1291): Para preparación inicial de la muestra, se tomó una muestra de 25 gramos de queso, y se mezcló con 225 mL de agua peptonada tamponada estéril y luego la mezcla se homogenizó cuidadosamente para dispersar de manera uniforme los microorganismos presentes. En el enriquecimiento selectivo primero una porción del pre-enriquecimiento se transfirió a medios selectivos líquidos, como: Caldo selenito-cistina donde la muestra se incubó a 37 °C durante 18 a 24 horas y Caldo tetrationato con incubación a 42 °C durante el mismo periodo. Estos medios están formulados para estimular el crecimiento de *Salmonella* mientras inhiben otros microorganismos. Luego se realizó la siembra en medios sólidos, donde del cultivo selectivo enriquecido, se tomaron alícuotas y se sembraron en medios sólidos diferenciales y selectivos como: Agar XLD (Xilosa Lisina Desoxicolato) en el que las colonias de *Salmonella* suelen ser negras por la producción de sulfuro de hidrógeno, Agar SS (*Salmonella-Shigella*) donde las colonias típicas aparecen incoloras o negras con centros oscuros y el Agar Hektoen en el que las colonias sospechosas son verdes con puntos negros. Las placas se incubaron a 37 °C durante 24 a 48 horas para permitir el crecimiento de *Salmonella*. Por último, se practicaron las pruebas confirmatorias, donde las colonias sospechosas obtenidas se sometieron a análisis adicionales para confirmar la presencia de *Salmonella*, tales como: TSI (Triple Sugar Iron) y LIA (Lisina Hierro Agar) [14].

Staphylococcus aureus (COVENIN 1292): Se pesó una cantidad representativa de la muestra, generalmente entre 10 y 25 gramos de queso. La muestra se homogenizó en un diluyente estéril en una proporción 1:9, se realizaron diluciones seriadas decimales cuando fue necesario, una porción de la muestra o sus diluciones se sembró en Agar Baird-Parker, un medio específico para el aislamiento de *Staphylococcus aureus*, este medio contiene telurito de potasio y yema de huevo, que inhiben otros microorganismos y permiten observar características típicas de *S. aureus*. Las placas se incubaron a 35–37 °C durante 24 a 48 horas y las colonias típicas de *S. aureus* en Agar Baird-Parker se observaron de color negro o grisáceo con un halo claro (debido a la actividad lipolítica sobre la yema de huevo), brillantes y convexas. Las colonias sospechosas se sometieron a las siguientes pruebas para confirmar la presencia de *S. aureus*: coagulasa, catalasa y fermentación del manitol [15].

Resultados y Discusión

El queso con *Spirulina* presentó características que coinciden con lo señalado por Ismail *et al.* [16] de color verde-azul-blanco característico, textura semidura y ligeramente elástica, y un sabor fresco con notas *umami*, saladas y un ligero amargor que complementa la acidez del queso.

La Figura 1 muestra fotografías de los quesos elaborados, tanto el tratamiento control como el fortificado con *Spirulina*.



A



B

Figura 1. Fotografías de los quesos elaborados. A: Queso semiduro sin fortificar B: Queso semiduro fortificado con *Spirulina* al 0,33%.

Grado de aceptación del queso semiduro fortificado con *Spirulina*

En la Tabla 2 se pueden observar los resultados de la prueba de media en las variables correspondientes al análisis sensorial. En la variable apariencia se pudo observar que el tratamiento 1 es significativamente diferente y los tratamientos 2 y 3, son similares. Para la variable olor se encontró que el tratamiento 1 es significativamente diferente con respecto a los tratamientos 3 y 2, los cuales si guardan similitud. Por su lado, para la variable textura el tratamiento 1 es similar al tratamiento 2 pero no al tratamiento 3 y el tratamiento 3 es similar al tratamiento 2 y difiere con el tratamiento 1. Por último, la variable sabor el tratamiento 1 es significativamente diferente a los tratamientos 2 y 3. De esta manera, se determinó que el tratamiento 1, es decir, el queso fortificado con 0,33% de *Spirulina*, fue el que obtuvo mayores valores de aceptación por parte del panel, en todas las características evaluadas como apariencia, olor, textura y sabor.

Tabla 2. Prueba de media de las variables sensoriales

Tratamiento		Rangos			
		Apariencia	Olor	Textura	Sabor
1	0,33 %	24,30 B	23,60 B	21,50 B	24,35 B
2	0,66 %	13,50 A	13,70 A	14,75 AB	13,35 A
3	1 %	8,70 A	9,20 A	10,25 A	8,80 A

La Tabla 3 presenta los resultados obtenidos de los análisis del queso fortificado con *Spirulina* (0,33%) seleccionado de la prueba sensorial frente al queso control sin fortificar, mientras que la Tabla 4 muestra los análisis estadísticos de estos parámetros.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y nutricionales del queso fortificado con *Spirulina*

Parámetros analizados	Queso semiduro sin fortificar (control)					Queso semiduro fortificado (0,33% <i>Spirulina</i>)				
	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QB1	QB2	QB3	QB4	QB5
Fibra (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grasa (%)	24,69	24,56	22,36	28,34	25,13	28,57	31,78	31,60	32,46	33,69
Proteína (%)	17,25	17,78	17,50	18,00	17,98	18,47	18,12	18,13	18,16	18,25
Humedad (%)	39,56	40,23	40,17	41,22	39,13	41,74	41,78	41,36	41,00	40,80
Ceniza (%)	2,95	3,22	3,56	2,92	2,98	3,95	2,57	4,13	3,95	3,93

Tabla 4 Análisis estadísticos de los parámetros fisicoquímicos

Variable	Prueba <i>t</i>	<i>p</i> -valor
Grasa	5,16	0,0009
Proteína	3,31	0,0107
Humedad	3,17	0,0131
Ceniza	1,87	0,0989

El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de grasa, proteína y humedad entre el queso fortificado y el control. El queso con *Spirulina* presentó un incremento notable en el contenido de grasa (31,62 % vs. 25,02 %) y proteico (18,23 % vs. 17,70 %), así como una mayor retención de humedad (41,34 % vs. 40,06 %). Estos hallazgos son consistentes con la literatura. Ismail *et al.*, [16] reportaron que la adición de *Spirulina* en queso Ricotta mejoró la retención de humedad y modificó el perfil de textura. El aumento de proteína se atribuye directamente al alto contenido proteico de la microalga añadida. El incremento en el porcentaje de grasa, aunque contra intuitivo dado el bajo contenido de grasa de la *Spirulina*, podría explicarse por una interacción de la matriz alimentaria que facilita una mejor extracción de la grasa láctea durante el análisis, o bien, a una variabilidad en la materia prima láctea utilizada en las diferentes réplicas.

El contenido de cenizas, que representa la fracción mineral, no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$), aunque se observó un valor promedio ligeramente superior en el queso fortificado (3,71 % vs. 3,13 %). Esto sugiere que, si bien la *Spirulina* es rica en minerales, la cantidad añadida (0,33 %) no fue suficiente para modificar estadísticamente este parámetro, o que la variabilidad natural del contenido mineral de la leche pudo haber influido.

Comparativamente, Salazar [17] obtuvo para un queso fresco fortificado con un 1% de *Spirulina* valores de humedad (71,6 %) y proteína (17,90 %) que, si bien son de una magnitud diferente por el tipo de queso (fresco vs. semiduro), muestran la misma tendencia al aumento proteico. Su valor de cenizas (3,84 %) fue muy similar al obtenido en el presente estudio para el queso fortificado, reforzando un leve aporte mineral.

Calidad microbiológica del queso fortificado

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico del queso semiduro sin fortificar (control) y del queso fortificado con *Spirulina* (*Arthrospira platensis*).

Tabla 4. Análisis microbiológicos del queso fortificado con *Spirulina*

Parámetros	Métodos	Queso A	Queso B	Límites permisibles
<i>E. coli</i> , NMP/g	COVENIN 1104	93,0	93,0	93,0
<i>Salmonella</i> spp., ufc/25g	COVENIN 1291	Ausente	Ausente	Ausencia en 25 g de muestra.
<i>Staphylococcus aureus</i> , ufc/g	COVENIN 1292	4,0x10 ³	3,8x10 ³	1x10 ²

*Valores promedios de cinco réplicas

Los resultados indicaron que tanto el queso control como el fortificado cumplieron con la normativa para *E. coli* y *Salmonella* spp., confirmando la ausencia de estos patógenos. Sin embargo, se detectó un incumplimiento crítico para *Staphylococcus aureus*. Los recuentos obtenidos (4,0x10³ y 3,8x10³ UFC/g) superaron ampliamente el límite máximo permitido de 1,0x10² UFC/g establecido por la norma COVENIN 3821 [18] para queso pasteurizado.

La presencia de *S. aureus* en estos niveles es un indicador de deficiencias en las buenas prácticas de manufactura (BPM), muy posiblemente asociadas a una contaminación post-pasteurización. Dado que la leche de partida fue pasteurizada, la contaminación pudo haber ocurrido durante la manipulación de la cuajada, el hilado, el salado (incluyendo la incorporación de la *Spirulina*, si no se aseguró su inocuidad), o el moldeado. El hecho de que el queso control también presente recuentos altos sugiere que la contaminación no es inherente a la *Spirulina*, sino al proceso de elaboración en sí mismo. En la Tabla 4 se observó que los recuentos de *Escherichia coli* en los quesos A y B se encontraron dentro del límite establecido por la norma correspondiente. En relación con *Salmonella*, no se detectó presencia en ninguna de las muestras analizadas.

Conclusiones

La fortificación de queso semiduro con *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) es tecnológicamente viable, siendo la concentración de 0,33 % la que presentó la mayor aceptación sensorial en términos de apariencia, olor, textura y sabor, según la evaluación de un panel entrenado.

La incorporación de *Spirulina* al 0,33 % modificó significativamente la composición fisicoquímica del queso, incrementando el contenido de proteína (18,23 % vs. 17,70 %), grasa (31,62 % vs. 25,02 %) y humedad (41,34 % vs. 40,06 %) en comparación con el queso control. El contenido de cenizas no presentó variaciones significativas, lo que sugiere que la fracción mineral del producto permanece estable bajo las condiciones de fortificación evaluadas.

Los análisis microbiológicos revelaron el cumplimiento de los parámetros normativos para *Escherichia coli* y *Salmonella* spp.; no obstante, se detectaron recuentos de *Staphylococcus aureus* ($3,9 \times 10^3$ UFC/g) que superaron el límite máximo permisible establecido en la norma COVENIN 3821 ($<1,0 \times 10^2$ UFC/g). Este hallazgo evidencia deficiencias en las buenas prácticas de manufactura durante el proceso de elaboración, independientes de la adición de la microalga.

Referencias bibliográficas

- [1] M. Spínola, A. Mendes, y J. Prates, “Chemical Composition, Bioactivities, and Applications of *Spirulina* (*Limnospira platensis*) in Food, Feed, and Medicine,” *Foods*, vol. 13, no. 22, p. 3656, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/22/3656>
- [2] M. E. Izaguirre Pérez, L. D. Molina Noyola, A. P. Figueroa, M. L. Ramos Ibarra, y P. Torres Bugarin, “La *eSpirulina* como superalimento: Usos y beneficios,” *Revista @Limentech: Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 10, no. 2, pp. 85–102, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10046920>
- [3] H. El Troudi, “Quesos tradicionales venezolanos: Características y contexto,” *haimaneltroudi.com*, 4 mar. 2026. [En línea]. Disponible en: <https://haimaneltroudi.com/los-quesos-tradicionales-venezolanos-ofrecen-sabores-unicos/>
- [4] C. Aarati Sarjerao y Y. Shalini, “Greening the Cheese Spread: Examining *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* and Whey Powder Integration in Cheese Spread for Improved Quality and Health Benefits,” *SSRN*, 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4783313>
- [5] M. M. Tohamy, H. A. Shaaban, M. A. Ali y A. M. Hasanin, “Effect of *Spirulina platensis* as nutrition source on the chemical, rheological and sensory properties of spreadable processed cheese,” *Journal of Biological Science*, vol. 19, no. 1, pp. 84-91, 2018. [En línea]. Disponible en: DOI:10.3923/jbs.2019.84.91
- [6] I. Podgórska-Kryszczuk, “*Spirulina*-An Invaluable Source of Macro- and Micronutrients with Broad Biological Activity and Application Potential,” *Molecules*, vol. 15, no. 29, p. 5387, 2024. [En línea]. Disponible en: doi:10.3390/molecules29225387
- [7] R. Hernández, C. Fernández, y P. Baptista, *Metodología de la investigación*, 6ª ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2014.
- [8] P. J. Soest, *Nutritional ecology of the ruminant*, 2ª ed. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1994.
- [9] AOAC International, *Official methods of analysis*, 17ª ed. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- [10] AOAC International, *Official methods of analysis*, 21ª ed. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists, 2019.
- [11] R. S. Kirk y R. Sawyer, *Pearson's composition and analysis of foods*, 9ª ed. Harlow, UK: Longman Scientific & Technical, 1991.

[12] F. Olea Serrano, *Técnicas estadísticas aplicadas en nutrición y salud*. Granada, España: Universidad de Granada, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.ugr.es/~fmocan/MATERIALES%20DOCTORADO/testt2016.pdf>

[13] FONDONORMA, “Determinación de coliformes fecales y *Escherichia coli* en alimentos,” Norma Venezolana COVENIN 1104:1996, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1996.

[14] FONDONORMA, “Métodos para la determinación de *Salmonella* en alimentos,” Norma Venezolana COVENIN 1291:2004, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 2004.

[15] FONDONORMA, “Aislamiento e identificación de *Staphylococcus aureus* en alimentos,” Norma Venezolana COVENIN 1292:2004, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 2004.

[16] H. A. Ismail, T. H. El-Sawah, M. Ayyash, B. Adhikari, y W. F. Elkot, “Functionalization of ricotta cheese with powder of *Spirulina platensis*: physicochemical, sensory, and microbiological properties,” *International Journal of Food Properties*, vol. 26, no. 1, pp. 1968-1983, 2023. [En línea]. Disponible en: DOI :10.1080/10942912.2023.2238916

[17] E. L. Salazar Vega, “Elaboración de queso fresco con adición de e*Spirulina* (*Arthrospira platensis*) como alimento funcional,” Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/18791>

[18] FONDONORMA, “Queso blanco,” Norma Venezolana COVENIN 3281:2003, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 2003.