



EFFECTOS DE LA INCLUSIÓN DE *BACILLUS COAGULANS* EN LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE SNACKS EXPANDIDOS DE QUINOA

EFFECTS OF INCLUDING *BACILLUS COAGULANS* ON THE PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF EXPANDED SNACKS FROM QUINOA

¹Karen Sofía Muñoz Pabón, ²José Luis Hoyos Concha
³José Fernando Solanilla Duque

¹Universidad Nacional Abierta y a Distancia, ^{2,3}Universidad del Cauca, Colombia

Recibido: 30/09/2022 Aprobado 20/10/2022

RESUMEN

El consumo de alimentos funcionales ha crecido rápidamente, especialmente aquellos con adición de bacterias probióticas, las cuales generalmente se encuentran en matrices lácteas donde se favorece su crecimiento; por lo tanto, la aplicación de probióticos en otro tipo de matrices presenta desafíos relacionados con el crecimiento, supervivencia, viabilidad, estabilidad y cambios en las características sensoriales durante el procesamiento y almacenamiento. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un nuevo snack probiótico elaborado a partir de quinoa y adicionado con bacterias lácticas formadoras de esporas al 0,3 %. El probiótico se añadió por pulverización, después del proceso de extrusión, junto con la sal y el aceite, a 70°C en condiciones secas. Una vez incorporados los probióticos, se evaluó la viabilidad bacteriana, la resistencia al jugo gástrico simulado, pruebas fisicoquímicas y sensoriales durante 120 días de almacenamiento a temperatura ambiente y se comparó con un snack de control sin probiótico. La evaluación de la viabilidad se mantuvo por encima de 10⁶ UFC/g de aperitivo. La prueba de resistencia a la simulación del tracto intestinal mostró una viabilidad del 70 %. Las propiedades fisicoquímicas y sensoriales evaluadas no tuvieron cambios significativos durante el tiempo de almacenamiento en comparación con el control. Nuestros resultados mostraron que el nuevo snack con probiótico es estable durante su almacenamiento a temperatura ambiente y en condiciones de baja humedad.

Palabras clave: bacteria formadora de spora, estabilidad, simulación tracto gastrointestinal, snack probiótico no lácteo.

Citación: Muñoz Pabon, K. S., Hoyos Concha, J. L., & Solanilla Duque, J. F. (2022). Efectos de la inclusión de *Bacillus Coagulans* en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de snacks expandidos de quinoa. *Publicaciones E Investigación*, 16(4). <https://doi.org/10.22490/25394088.6504>

¹karen.munoz@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-6496-7083>

²jlhoyos@unicauca.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-9025-9734>

³jfsolanilla@unicauca.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-6664-9134>

<https://doi.org/10.22490/25394088.6504>

ABSTRACT

The consumption of functional foods has grown rapidly, especially those with added probiotic bacteria, which are generally found in dairy matrices where their growth is favored; therefore, the application of probiotics in other types of matrices presents challenges related to growth, survival, viability, stability and changes in sensory characteristics during processing and storage. Therefore, the present study aimed to develop a new probiotic snack made from quinoa and added with 0.3% spore-forming lactic acid bacteria. The probiotic was added by spraying, after the extrusion process, together with salt and oil, at 70°C under dry conditions. Once the probiotics were incorporated, bacterial viability, resistance to simulated gastric juice, physicochemical and sensory tests were evaluated during 120 days of storage at room temperature and compared with a control snack without probiotic. Viability assessment was maintained above 10⁶ CFU/g snack. Intestinal tract simulation resistance test showed 70% viability. The physicochemical and sensory properties evaluated had no significant changes during storage time compared to the control. Our results showed that the new snack with probiotic is stable during storage at room temperature and low humidity conditions.

Keywords: Spore-forming bacteria, gastrointestinal tract, stability, probiotic non-dairy snack.



1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Materiales

Cultivos bacterianos. La cepa liofilizada de *Bacillus coagulans* BC30 fue adquirida a través de un proveedor comercial (GanedenBC30, Kerry USA). La quinoa fue proporcionada por la empresa Segalco S.A.S (Popayán, Colombia).

1.2 Métodos

1.2.1 Desarrollo de un *snack* con adición de probiótico a partir de quinoa en la empresa Segalco

Los *snacks* extruidos con probiótico fueron adicionados por aspersión con una concentración de *B. coagulans* de 0.3 % (p/p), el cual se agregó junto con sal y aceite, luego del proceso de extrusión. Las muestras se empaquetaron en atmósfera modificada en un empaque multicapa laminado y almacenadas a temperatura ambiente 20°C, durante 120 días. Como control se utilizó un *snack* sin probiótico, durante este tiempo se midieron pruebas físicas y químicas, asimismo se verificó la viabilidad del probiótico.

1.2.2 Actividad de agua

La actividad del agua se determinó por triplicado a 20°C, utilizando un medidor de actividad del agua del punto de rocío (AquaLab Series 3TE, Decagon Devices, Inc. USA).

1.2.3. Medición de pH

Los valores de pH del *snack* con probióticos y el control se determinaron por triplicado, cada réplica por quintuplicado según la norma AOAC Método N°943.02, con un medidor de pH Orion, modelo Three Stars (ThermoFisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.), equipado con un electrodo de penetración modelo 2A04 (Analizador, São Paulo, Brasil).

1.2.4. Humedad

La humedad del *snack* se estimó con secado en horno a 130 °C durante 3 h.

1.2.5. Propiedades colorimétricas

El color del extruido se determinó utilizando el Spectrophotometer CM-5 marca Konica Minolta, controlado por el software SpectraMagic NX, con iluminante D65 y ángulo observador de 10°. Las muestras fueron acondicionadas con un procesador de alimentos. Las muestras se analizaron por triplicado, tomando aproximadamente 5 g de muestra. Se midieron los parámetros de luminosidad (L) y cromaticidad a^* ($-a^*$ = verde y $+a^*$ = enrojecimiento) y b^* ($-b^*$ = azul y $+b^*$ = amarillo) y variación de color (ΔE) según la ecuación.

$$\Delta E = [(L \text{ estandar} - L \text{ muestra})^2 + (a \text{ estandar} - a \text{ muestra})^2 + (b \text{ estandar} - b \text{ muestra})^2]^{1/2} \quad (1)$$

1.2.6. Viabilidad del *snack* probiótico durante almacenamiento

El recuento viable de *B. coagulans* se realizó según metodología del proveedor del probiótico y de Majeed *et al.* (2016), con algunas modificaciones. Se disolvió 1 g de la muestra en 199 ml de solución salina estéril (NaCl al 0.9%, p/v). Después se tomaron 30 mL en un tubo estéril y se llevaron durante 30 minutos a 75°C en baño maría, luego, se enfrió a aproximadamente a 45°C antes de pipetear, se cultivó en agar GYE a 37°C durante 48 horas, en condiciones aeróbicas. La supervivencia se determinó por duplicado bajo al día 0, 10, 20, 40, 60 y 120.

1.2.7. Jugos gástricos y pancreáticos

La evaluación de la supervivencia de los probióticos en el *snack* sometido a condiciones gástricas y entéricas simuladas se realizó según Bedani *et al.* (2013), con algunos ajustes.

Se disolvió 1g de *snack* probiótico en 199mL de PBS (estéril) pH 7.4, de esta solución se tomaron 10 ml, se prepararon 3 frascos estériles, el pH se ajustó a 2 con HCl 1 N, en seguida se agregó la pepsina (de la mucosa del estómago porcino, Sigma-Aldrich) a las muestras en una concentración de 3 g/L. Los frascos se incubaron a 37°C, con agitación de 150rpm (Shaker Thermo Scientific MxQ-4450, USA) durante 3h, dando lugar a la fase gástrica simulada. En esta fase se tomó 1 ml y se realizó siembra en agar GYE a 37°C durante 48 horas, en condiciones aeróbicas. Posteriormente, el pH de las muestras se aumentó a 6.8 usando una solución alcalina NaOH 1N y 30mL de solución estéril de tampón fosfato [150 mL of 1 N NaOH (Synth, Diadema, Brand 14 g of $\text{PO}_4\text{H}_2\text{Na} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Synth) y agua destilada 1 L], en seguida, se adicionó bilis (bilis bovina, Sigma-Aldrich) y pancreatina (páncreas porcino, Sigma-Aldrich) hasta alcanzar una concentración de 0.6g/L y de 1g/L, respectivamente, en esta fase la muestra de *snack* probiótico se dejó 3 horas. Se tomó 1ml para realizar la siembra, similar a la fase anterior.

Los conteos se expresan en log UFC/g de *snack*. La tasa de supervivencia en t_0 y t_f se expresaron de acuerdo con eq. (2) (Guo *et al.*, 2009).

$$\% \text{Supervivencia} = \frac{N \log \text{final (tiempo 6h)}}{N \log \log \text{final (tiempo 0h)}} * 100$$

Donde, N es el número de UFC (unidades formadoras de colonias).

1.2.8 Textura

Las propiedades de textura se midieron según lo descrito por (Li, Masatcioglu & Koksels, 2019) con algunas modificaciones utilizando un analizador de textura (Shimadzu EZ-L, EE. UU.) con una celda de carga de 5 kN y una sonda cilíndrica de cabeza plana de 5 mm. Los extruidos se dividieron aleatoriamente. Se realizaron 25 mediciones y los resultados se informaron como el promedio de estos para cada serie de extrusión. Se obtuvieron tres parámetros de calidad de textura, dureza, crujido y crujiente, de la curva de prueba de análisis de textura con tiempo (s) en el eje x y fuerza (N) en el eje y. La dureza (N) se define como la fuerza máxima, el crujido es el número total de picos positivos y el crujiente (N s) es la distancia lineal de la curva de prueba.

1.2.9 Sensorial

La evaluación sensorial se realizó utilizando la metodología de prueba hedónica con 14 panelistas de la fábrica de Segalco S.A.S. compuesto por 5 mujeres y 9 hombres de 25 a 35 años. Los panelistas evaluaron la percepción de parámetros de aspecto general, color, textura, aroma, sabor, masticabilidad y acidez, de las muestras dando puntajes de 5 a 1 (5 puntos, extremadamente bueno y 1 punto, extremadamente bajo). Para el parámetro de acidez, 1 no se percibe 5 se percibe alta acidez.

1.2.10 Diseño experimental

Los análisis estadísticos se realizaron usando el programa estadístico Minitab V 18. La evaluación de la viabilidad durante el almacenamiento se realizó por duplicado y los experimentos de simulación gástrica *in vitro* se realizaron por triplicado. Los resultados se






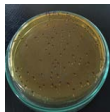
expresaron como medias \pm desviación estándar. Se utilizó ANOVA unidireccional para comparar la viabilidad de *B. coagulans*, después de 0, 10, 20, 40, 60 y 120 días de almacenamiento a 20°C. Para el análisis sensorial se realizó una prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. La significancia se estableció en $p < 0.05$. Para comparar las concentraciones se usó Tukey, con un control *snack* sin probiótico.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis se realiza a temperatura ambiente, para probar que el probiótico incorporado en los *snacks* elaborados a base de quinoa permanece a condiciones de vida en anaquel. Según (Šipailienė & Petraitytė, 2018) el *Bacillus coagulans* puede sobrevivir a una temperatura entre 30-57°C.

TABLA 1.

Evaluación de la viabilidad de las bacterias formadores de esporas en snack de quinoa durante el tiempo de almacenamiento

Tiempo de almacenamiento días					
0	10	20	40	60	120
7.39d \pm 0.04 	7.43d \pm 0.08 	7.56bc \pm 0.08 	7.56cd \pm 0.1 	7.64b \pm 0.05 	7.95a \pm 0.04 

Los valores se presentan como la media \pm DE ($n = 3$). For each parameter, different letters indicate significant differences at $p < 0.05$.

2.1 Viabilidad del probiótico *Bacillus coagulans* en condiciones de almacenamiento

De acuerdo con el análisis de varianza, durante los periodos de tiempo analizados se presentan diferencias significativas ($p < 0.05$). Como se ve en la Tabla 1 los conteos de cero a ciento veinte días están entre 7.39 log UFC/g y 7.95 log UFC/g, respectivamente. Durante el periodo se estudió la viabilidad del probiótico la cual se incrementó en un 7.57 % con respecto al día cero, es decir que no hubo un crecimiento representativo, debido a que durante el proceso de inclusión de los probióticos no se realizan procesos extremos de secado o presión, es posible que la cepa probiótica esporulada no afecte su viabilidad y permanezca durante el periodo de análisis, sin cambiar las propiedades organolépticas del *snack* como se corrobora en el análisis sensorial, debido a que el empaque mantiene una actividad de agua inferior a 0.25, donde la movilidad molecular de la matriz es limitada, aspecto que desestimula el

metabolismo; en este sentido, de acuerdo con estudios de Ananta *et al.* (2004) en bacterias encapsuladas, donde la actividad de agua era de 0.2, la viabilidad bacteriana después de 45 días fue superior a 10^5 UFC/g.

La cepa de *Bacillus coagulans*, conservó su viabilidad, durante los 120 días de almacenamiento por encima de 6 log UFC/g, que es el límite permitido para alimentos probióticos (Konuray & Erginkaya, 2020). *Bacillus coagulans* es una cepa etiquetada como un ingrediente GRAS etiquetado por la FDA de los Estados Unidos, es un bacilo grampositivo microaerófilo, productor de esporas, aspecto que le confiere resistencia al calor, y por ende es una buena opción para productos con baja humedad. Según estudios realizados por Majeed *et al.*, (2016), en diferentes matrices alimentarias se analizó la estabilidad de *Bacillus coagulans* MTCC 5856, luego de doce meses obtuvieron viabilidad por encima del 80 %, así mismo Majzoobi *et al.*, (2019), obtuvieron un alimento horneado y luego congelado, adicionado con GanedenBC 30 que conservó una viabilidad 7.35 log UFC/g, luego de 56 días de almacenamiento.

2.2 Jugos gástricos y pancreáticos

La viabilidad es la capacidad que tienen estos microorganismos de permanecer vivos, tanto en el organismo como en el intestino del consumidor durante un tiempo determinado, con el fin de lograr los beneficios de dichos alimentos.

La supervivencia de *B. coagulans* en el alimento a condiciones gastrointestinales simuladas *in vitro* se muestra en la Tabla 2. La población del probiótico formador de spora mostró una reducción de 0 a 3 h de ensayo de 1.76 log UFC/g. Entre el periodo comprendido entre 3 a 6 h, 0.26 log UFC/g. La mayor disminución en la viabilidad de esta cepa se observó en la fase gástrica, lo que sugiere su alta sensibilidad hacia el jugo gástrico simulado que contiene HCl y

pepsina. En estudios realizados con una cepa similar (Sui *et al.*, 2020), encontraron valores superiores de supervivencia del probiótico esporulado por encima del 80 %, en nuestro ensayo el porcentaje es de casi 70 %, es decir que más de la mitad pasó la fase gástrica. Según (Marcial-Coba *et al.*, 2019) para lograr que los probióticos ofrezcan un beneficio deben pasar por las condiciones ácidas del estómago, las esporas de *B. coagulans* y otras especies de *Bacillus* permanecen en su forma de spora durante el paso por el estómago y el duodeno después germinan en el yeyuno y el íleon, con la posterior colonización transitoria del intestino delgado, donde las células vegetativas pueden producir metabolitos activos como el ácido láctico L (+) e interactuar con el huésped y la microbiota intestinal.

TABLA 2.

Tolerancia del snack con *Bacillus coagulans* al jugo gástrico simulado

Horas			Supervivencia (%)
0	3	6	
6.74±0.09	4.98±0.09	4.72±0.11	70.12±1.08

2.3 Medición de pH

De acuerdo con el análisis de varianza las dos concentraciones y el tiempo de almacenamiento no tienen influencia significativa sobre el pH de las muestras de *snack*. Según revisiones de Konuray & Erginkaya (2018). Como se ve en la Tabla 3, el *B. coagulans* es un probiótico productor de ácido láctico, sin embargo, durante condiciones de estrés como baja humedad, se encuentra en estado de spora, es decir que durante los 120 días de almacenamiento no ha iniciado actividad metabólica. De acuerdo con Šipailienė & Petraitytė (2018) el pH requerido

por la cepa *Bacillus coagulans* se encuentra entre 4 y 7, en nuestro se mantuvo entre 6.01 y 5.52 durante los días cero y 120 respectivamente. Para poder sobrevivir y multiplicarse, los microorganismos tienen que mantener un pH estable en el citoplasma, lo que garantiza una funcionalidad óptima y la integridad de la estructura del citoplasma. En nuestro estudio el empaque con atmósfera modificada mantiene las características estables del probiótico anaeróbico facultativo, puesto que para este tipo de bacterias el oxígeno es un elemento tóxico (Šipailienė & Petraitytė, 2018).

TABLA 3.
Evaluación de las características fisicoquímicas de los *snacks* con y sin adición de probióticos

Muestras	TA	pH	a _w	Humedad (%)
Snack probiótico	0	6.01 ^a ± 0.0	0.20 ^b ± 0.0	4.76 ^c ± 0.0
	10	6.02 ^a ± 0.0	0.19 ^b ± 0.0	4.82 ^c ± 0.0
	20	6.06 ^a ± 0.0	0.21 ^b ± 0.0	4.83 ^b ± 0.0
	40	6.01 ^a ± 0.1	0.19 ^b ± 0.0	4.86 ^{ab} ± 0.0
	60	6.01 ^a ± 0.1	0.21 ^{ab} ± 0.0	4.88 ^{bc} ± 0.0
	120	5.52 ^b ± 0.0	0.22 ^a ± 0.0	4.90 ^a ± 0.0
Control	0	6.02 ^a ± 0.0	0.19 ^b ± 0.0	4.83 ^c ± 0.0
	10	5.99 ^a ± 0.1	0.19 ^b ± 0.0	4.82 ^c ± 0.0
	20	6.00 ^a ± 0.0	0.19 ^b ± 0.0	4.81 ^b ± 0.0
	40	6.03 ^a ± 0.2	0.19 ^b ± 0.0	4.84 ^{ab} ± 0.0
	60	6.02 ^a ± 0.23	0.20 ^{ab} ± 0.0	4.83 ^{bc} ± 0.01
	120	5.52 ^b ± 0.12	0.21 ^a ± 0.0	4.89 ^a ± 0.02

(TA: tiempo análisis (días), *snack* probiótico y *snack* control). Para cada parámetro letras diferentes indican diferencia significativa $p < 0.05$.

2.4 Color

El color es una de las características importantes para la aceptabilidad de un producto alimentario. La Tabla 4 muestra los parámetros de L* (luminosidad), a* (rojo/verde) y b* (azul/amarillo). Según el análisis de varianza el parámetro de color L* solo se ve afectado por el tiempo, los parámetros de a* y b* se ven influenciados por la concentración y por el tiempo ($p < 0.05$). El cambio de color total (ΔE), que muestra

el cambio de color en comparación con el *snack* sin adición de probióticos y a día 0, varió de 2.96 para el *snack* probiótico al día 60 a 0.99 para el control al día 60. Según estudios de Muñoz *et al.*, (2022), en mezclas de cereales extruidos a partir de quinoa, la mayor parte de la población percibe una diferencia de color total superior a 3. Por lo tanto, como se puede ver en la Figura 3, la incorporación de probiótico al *snack* no resulta en un cambio de color significativo. Según los resultados de Konuray & Erginkaya (2020) no tuvieron cambios de los parámetros de color en el tiempo en pastas adicionadas con bacterias ácido lácticas probióticas.

TABLA 4.
Evaluación de los parámetros de color de los *snacks* con y sin adición de probióticos

Muestras	TA	L	a*	b*	ΔE
Snack probiótico	0	61.95 ^{de} ± 0.51	10.33 ^{bde} ± 0.02	37.37 ^{fg} ± 0.28	1.52
	10	62.7 ^{1a} ± 0.37	8.22 ^g ± 0.11	39.00 ^b ± 0.61	2.44
	20	62.12 ^{bde} ± 0.03	9.17 ^f ± 0.04	37.68 ^{ef} ± 0.13	1.86
	40	62.63 ^a ± 0.02	9.30 ^f ± 0.02	37.54 ^f ± 0.10	1.73
	60	62.74 ^a ± 0.05	10.24 ^{cde} ± 0.01	35.72 ⁱ ± 0.06	2.96
	120	62.06 ^{cde} ± 0.03	10.16 ^{de} ± 0.04	35.14 ^{hi} ± 0.04	2.64
Control	0	62.72 ^a ± 0.01	10.63 ^{abc} ± 0.12	38.65 ^{cd} ± 0.10	-
	10	62.68 ^a ± 0.13	10.83 ^a ± 0.08	39.74 ^a ± 0.14	1.10
	20	61.89 ^e ± 0.07	10.32 ^{bde} ± 0.10	37.60 ^f ± 0.20	1.38
	40	62.41 ^{abcd} ± 0.01	10.07 ^e ± 0.01	37.36 ^{fg} ± 0.03	1.44
	60	62.57 ^{ab} ± 0.01	10.78 ^a ± 0.02	37.68 ^{ef} ± 0.03	0.99
	120	62.47 ^{abc} ± 0.05	10.55 ^{abc} ± 0.02	37.49 ^f ± 0.03	1.19

2.5 Textura

En la Figura 4 se muestra el efecto de las dos concentraciones y de los días de almacenamiento con respecto al control. Según el análisis de varianza los factores de concentración y tiempo no tiene efecto significativo $p > 0.05$ sobre la fuerza (N), crocancia y crujencia (NS), durante los 120 días de almacenamiento es decir que las matrices de *snack* con y sin probiótico, no tienen cambios significativos en el tiempo, debido a que el empaque mantiene la humedad y la actividad de agua. Según Ananta *et al.* (2005) para mantener la estabilidad, la actividad del agua no debe superar el 0.25, y el contenido de humedad debe ser del 4 al 7 %. En nuestro estudio los contenidos de a_w y de humedad se mantuvieron entre

0.19 - 0.22 y 4.76-4.92 respectivamente, durante los 120 días de almacenamiento.

El proceso de extrusión es una tecnología versátil y de bajo costo utilizada para la producción de bocadillos a base de cereales, que transforma materiales sólidos a base de almidón y proteínas en un fluido viscoelástico en condiciones de alta presión y temperatura (Li *et al.*, 2019). La adición del probiótico no altera significativamente los parámetros de textura, lo que se corrobora en el análisis sensorial, donde no se perciben cambios significativos.

En su estudio con harina de trigo y almidón de maíz Butt *et al.* (2018), encontraron un comportamiento similar.

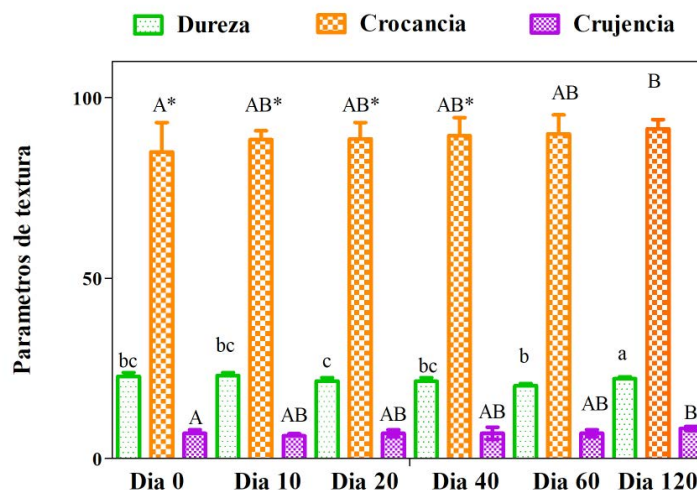


Figura 1. Parámetros de textura (n=3). A. Snack probiótico; B. control. Dureza, crocancia y crujiencia valores seguidos por diferentes letras son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

2.6 Sensorial

En este estudio se usó una escala de 5 puntos, 1 más bajo y 5 más alto. Como se ve en la Figura 2, los panelistas calificaron el *snack* con probióticos y el control entre 4 y 5 para los parámetros de calidad analizados, a excepción de la acidez que para las tres muestras es de 1, es decir que no se percibe. No se presentan diferencias significativas entre el tiempo de almacenamiento y el control del *snack* sin probiótico. Nuestros resultados

corroboran que las propiedades fisicoquímicas se mantienen estables durante los 120 días de análisis en empaque metalizado en atmosfera modificada, de manera que los panelistas calificaron los snacks con calidad alta, tanto el control como los adicionados con probióticos.

En estudios realizados por Adibpour *et al.* (2019) no encontraron diferencias entre el control y un producto elaborado con caramelo y probiótico esporulado.

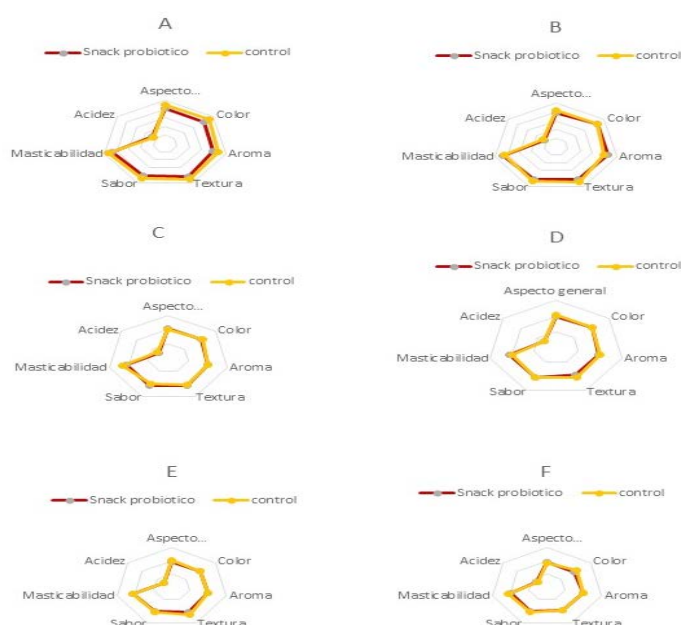


Figura 2. Evaluación sensorial de muestras (A: día cero, B: día diez, C: día 20, D: día 40, E: día 60, F: día 120)

3. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio mostraron que los *snacks* probióticos de quinoa elaborados con la adición de *B. coagulans* GBI-30 presentan una concentración final de 10^7 UFC/g, se pueden almacenar durante 120 días a temperatura ambiente y baja humedad (a_w : $0,2 \pm 0,2$) sin afectar la calidad. La supervivencia durante las condiciones del tracto intestinal simuladas en la matriz de alimentos presentó un porcentaje del 70 %. La adición de GBI-30 no mostró un efecto estadísticamente significativo sobre las características sensoriales, de textura, color, acidez, aspecto general de las muestras durante el almacenamiento. Se puede considerar que los *snacks* probióticos producidos en nuestro estudio son un alimento probiótico aceptable después de 120 días de almacenamiento. Debido al creciente interés de los consumidores por los alimentos probióticos no lácteos y tratados térmicamente, los productos de cereales probióticos como los *snacks* de quinoa almacenados a temperatura ambiente pueden ser una nueva alternativa.

AGRADECIMIENTO

Agradecimientos de los autores a la empresa Segalco S.A.S. por su valioso aporte y permitir trabajar en esta investigación, y a la Universidad del Cauca por su apoyo.

Se aclara que parte de esta investigación ha sido sometida a publicación.

REFERENCIAS

- Adibpour, N., Hosseini-zhad, M. & Pahlevanlo, A. (2019). Application of spore-forming probiotic *Bacillus* in the production of Nabat - A new functional sweetener. *LWT*, 113, 108277, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108277>
- Ananta, E., Volkert, M. & Knorr, D. (2005). Cellular injuries and storage stability of spray-dried *Lactobacillus rhamnosus* GG. *International Dairy Journal*, 15(4), 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.08.004>
- Butt, S. S., Mohammed, I. K., Raghavan, V., Osborne, J., Powell, H. & Charalambides, M. N. (2018). Quantifying the differences in structure and mechanical response of confectionery products resulting from the baking and extrusion processes. *Journal of Food Engineering*, 238, 112–121, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.039>
- Konuray G. & Erginkaya, Z. (2018). Potential use of *Bacillus coagulans* in the food industry. *Foods*, 7(6), <https://doi.org/10.3390/foods7060092>
- Konuray G. & Erginkaya, Z. (2020). Quality evaluation of probiotic pasta produced with *Bacillus coagulans* GBI-30. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 102489, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102489>
- Li, X., Masatcioglu, M. T. & Koksel, F. (2019). Physical and functional properties of wheat flour extrudates produced by nitrogen injection assisted extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 89, 102811, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102811>
- Majeed, M., Majeed, S., Nagabhushanam, K., Natarajan, S. & Ali, F. (2016). Original article Evaluation of the stability of *Bacillus coagulans* MTCC 5856 during processing and storage of functional foods. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(4), 894–901. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13044>
- Majzoubi, M., Aghdam, M. B. K., Eskandari, M. H. & Farahnaky, A. (2019). Quality and microbial properties of symbiotic bread produced by straight dough and frozen part-baking methods. *Journal of Texture Studies*, vol. 50(2), 165–171, <https://doi.org/10.1111/jtxs.12386>
- Marcial-Coba, M. S., Pjaca, A. S., Andersen, C. J., Knøchel, S. & Nielsen, D. S. (2019). Dried date paste as carrier of the proposed probiotic *Bacillus coagulans* BC4 and viability assessment during storage and simulated gastric passage. *LWT*, 99, 197–201, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.052>
- Muñoz, K. S., Parra, A. S., Roa, D. F., Hoyos, J. L. & Bravo, J. E. (2022). Physical and Paste Properties Comparison of Four Snacks Produced by High Protein Quinoa Flour Extrusion Cooking. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1–10, <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.852224>
- Šipailienė A. & Petraitytė, S. (2018). Encapsulation of Probiotics: Proper Selection of the Probiotic Strain and the Influence of Encapsulation Technology and Materials on the Viability of Encapsulated Microorganisms. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10(1), <https://doi.org/10.1007/s12602-017-9347-x>
- Sui L. et al. (2020). In vitro assessment of probiotic and functional properties of *Bacillus coagulans* T242. *Food Bioscience*, 36, 100675, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100675>