

Evaluación de sustancias antimicrobianas naturales en la conservación de avena sinuana

Evaluation of natural antimicrobial substances in the conservation of sinuana oatmeal

Avaliação de substâncias antimicrobianas naturais na conservação da aveia sinuana

Yenis Ibeth Pastrana-Puche,¹ Claudia Denise De Paula,² Luis Alberto Gallo-García³

¹ MSc, Universidad de Córdoba. Docente, Universidad de Córdoba. Montería, Colombia. yipastrana@correo.unicordoba.edu.co

² PhD, Universidade Federal de Viçosa. Docente, Universidad de Córdoba. Montería, Colombia. cdepaula@correo.unicordoba.edu.co

³ Ingeniero de alimentos, Universidad de Cartagena. Auxiliar de Investigación, Grupo de Investigación Nutrición, Salud y Calidad Alimentaria (Nusca) Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia. lgallog@unicartagena.edu.co

Fecha de recepción: 10/03/2016

Fecha de aceptación: 04/11/2016

Para citar este artículo: Pastrana-Puche YI, De Paula CD, Gallo-García LA. 2017. Evaluación de sustancias antimicrobianas naturales en la conservación de avena sinuana. Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 18(2):321-334

DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:634

Resumen

El objetivo de globalizar el consumo de los alimentos autóctonos es contribuir al aumento de la exportación y a la propagación de las diferentes culturas alimentarias. En el mercado mundial, no obstante, la competencia es fuerte y se requiere que los productos sean diferentes con el fin de no perecer. Actualmente, la sociedad demanda productos naturales con menos aditivos químicos, de modo que los productores de alimentos se han visto en la necesidad de evitar al máximo el uso de antimicrobianos químicos y de adoptar alternativas naturales para el mantenimiento o extensión de la vida útil de sus productos. El propósito de esta investigación

fue evaluar el tiempo de vida útil de la avena sinuana, una bebida autóctona del departamento de Córdoba (Colombia), adicionada con clavo (*Syzygium aromaticum*) y canela (*Cinnamomum verum*) en tres concentraciones diferentes (0,073, 0,146 y 0,219% v/v), envasada en frascos de plástico (PET) y de vidrio de 500 mL, almacenados a 4 °C durante 15 días. A los datos se les aplicó un análisis de varianza y prueba de comparación de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando el paquete estadístico SAS. La avena con la concentración más alta de especias (0,219% v/v) logró un mayor tiempo de almacenamiento.

Palabras clave: avenas, *Cinnamomum verum*, Córdoba (Colombia), preservación de alimentos, procesamiento de alimentos, *Syzygium aromaticum*

Abstract

The aim of globalization of indigenous foods is to contribute to the expansion of exports and the spread of different food cultures, but in the global market, competition is strong and requires products to be different, to remain competitive. Currently, society demands natural products with less chemical additives, so that food producers have found it necessary to try to completely remove the use of chemical antimicrobial products and adopt natural alternatives for the maintenance or extension of the lifetime of their products. The purpose of this study was to evaluate the lifetime of Sinuana oatmeal, a

native drink of the Department of Córdoba (Colombia), spiked with cloves (*Syzygium aromaticum*) and cinnamon (*Cinnamomum verum*) at three different concentrations (0.073, 0.146 and 0.219 % v/v), packaged in plastic bottles (PET) and 500 mL glass and stored at 4 °C for 15 days. An analysis of variance and a Tukey comparison test ($p \leq 0.05$) was performed using the SAS statistical package, version 8 for Windows, licensed to University of Córdoba. Oats with the highest concentration of spices (0.219 % v/v) achieved greater storage time.

Keywords: Oats, *Cinnamomum verum*, Córdoba (Colombia), Food preservation, Food processing, *Syzygium aromaticum*

Resumo

O objetivo de globalizar o consumo dos alimentos autóctones é contribuir para o aumento da exportação e da divulgação das diferentes culturas alimentares. No mercado mundial, contudo, a concorrência é forte e exige que os produtos sejam diferentes a fim de não perecer. Atualmente, a sociedade demanda produtos naturais com menos aditivos químicos, de modo que os produtores de alimentos se veem na necessidade de evitar ao máximo o uso de antimicrobianos químicos e de adotar alternativas naturais para a manutenção ou a extensão da útil de seus produtos. O propósito desta pesquisa foi

avaliar o tempo de vida útil da aveia sinuana, uma bebida autóctone do estado de Córdoba (Colômbia), adicionada com cravo (*Syzygium aromaticum*) e canela (*Cinnamomum verum*) em três concentrações diferentes (0,073, 0,146 e 0,219 % v/v), embalada em frascos de plástico (PET) e de vidro de 500 mL, armazenados a 4 °C durante 15 dias. Aos dados, foram aplicados uma análise de variância e um teste de comparação de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o pacote estatístico SAS. A aveia com a concentração mais alta de especiarias (0,219 % v/v) atingiu um maior tempo de armazenamento.

Palavras chave: aveia, *Cinnamomum verum*, Córdoba (Colombia), preservação dos alimentos, processamento de alimentos, *Syzygium aromaticum*

Introducción

La producción de alimentos es muy exigente en la seguridad e higiene, de hecho, es considerada un tema general de salud pública (Young et al. 2014; Shan et al. 2015). Sin embargo, en los países industrializados se estima que cada año hasta un 30 % de la población sufre de una enfermedad transmitida por alimentos (ETA), y a nivel mundial, al menos 2,2 millones de personas mueren anualmente a causa de enfermedades diarreicas (Nsoesie et al. 2014; Kim et al. 2015). En consecuencia, existe la necesidad de adoptar nuevas metodologías de higiene y seguridad para reducir o eliminar los agentes patógenos y/o alterantes de los alimentos que afecten la salud de los consumidores y disminuyan la calidad de aquellos (Nsoesie et al. 2014; Kim et al. 2015). Unas de esas metodologías es la aplicación de especias como conservantes naturales en alimentos, las cuales, a pesar de sus efectos preservantes, todavía se usan principalmente como condimentos (Oiye y Muroki 2002; Alzate et al. 2011; Rodríguez 2011; Vargas-Sánchez et al. 2013).

Se han realizado investigaciones con pimienta negra, canela, anís, clavo de olor y nuez moscada, entre otros, pero su aprovechamiento comercial ha sido mínimo (Arora y Kaur 1999), ya que su finalidad ha sido resaltar el sabor y el aroma de los alimentos, y en algunos casos servir como conservantes (Ulte et al. 2002), por ejemplo, el ají para los encurtidos y las salsas picantes (Oiye y Muroki 2002). También se han realizado investigaciones sobre los efectos positivos en la salud de las personas para enfermedades cardiovasculares, el envejecimiento, el cáncer, la salud mental y la cognición, entre otros (Tapsell et al. 2006).

Por otra parte, se han identificado numerosos compuestos hallados en los aceites esenciales (AE) de especias y plantas aromáticas habitualmente empleadas en la preparación de alimentos, tales como fenoles, terpenoides y aldehídos, que son capaces de controlar el desarrollo de diferentes microorganismos (Acevedo et al. 2013a; 2013b). El clavo —*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. y L.M.

Perry (Myrtaceae)— y la canela —*Cinnamomum verum* J. Presl (Lauraceae)— son ampliamente usados en la industria alimentaria y de perfumería por su aroma y sabor atractivos. En estas especias se ha encontrado en mayor proporción aldehído cinámico y eugenol, compuestos estudiados por sus propiedades antimicrobianas. Gende et al. (2010) y Kamatou et al. (2012) afirmaron que el eugenol inhibe el crecimiento de bacterias en concentraciones de 1.000 ppm, mientras que Smith-Palmer et al. (1998) y Shang-Tzen et al. (2001) estudiaron la inhibición de algunas toxinas bacterianas y de hongos a partir de la utilización de estos AE.

Los productos autóctonos son reconocidos por el sabor, la autenticidad (dada por el origen), la tradición y la calidad ética (aspectos ambientales y sociales favorables del proceso productivo), no obstante, la definición de “comida tradicional o autóctona” varía de acuerdo con las personas, regiones y países. En general, se puede decir que los alimentos tradicionales son los que se han preparado durante mucho tiempo por un grupo de personas que comparten un estilo de vida similar, a partir de materias primas nativas de la zona que habitan (Kunyanga et al. 2012). Las dificultades productivas y económicas por las que atraviesa Colombia, en especial, los pequeños productores rurales, han motivado el inicio de un proceso de conocimiento, valoración e innovación de los sistemas agroalimentarios locales. El más importante es la posibilidad de rescatar y agregar valor a los productos agroalimentarios típicos más apetecidos por los consumidores, lo que permitiría un desarrollo de la agroindustria local artesanal y mejores ingresos para los productores (Córdoba et al. 2004).

Hoy, los productos autóctonos son considerados exóticos por sus materiales y las técnicas especiales de producción. Para hacerlos competitivos se debe prolongar su vida útil, desarrollando cambios en su procesamiento que impliquen una mayor conservación sin alterarlos en su esencia y naturalidad, de manera que adquieran valor agregado y sea posible su comercialización en los mercados más exigentes. Para lograr esto, es necesario evaluar métodos de

conservación eficientes, por lo cual esta investigación tuvo como finalidad examinar el tiempo de vida útil de la avena sinuana, una bebida autóctona del departamento de Córdoba (Colombia), mediante la adición de clavo (*S. aromaticum*) y canela (*C. verum*) en diferentes concentraciones.

Metodología

Proceso de elaboración de la avena sinuana

Para conocer el procedimiento de la elaboración de la avena, se visitaron tres famiempresas dedicadas a la fabricación de esta bebida. Se evidenció que los ingredientes que utilizan para la elaboración de los productos son agua, leche en polvo, avena molida, azúcar, sal, clavo y canela. Si bien estas dos especias son adicionadas en las mismas proporciones, se presentaron variaciones en las operaciones en cuanto a la duración de preparación y el orden de adicionar los ingredientes.

En primer lugar, se realizaron tres formulaciones (F1, F2 y F3). A partir de la comparación con una preparación de control (avena sin especias), se midió la cantidad de agua utilizada como base de cálculo para la elaboración de la avena. Una vez obtenido este dato, se procedió a pesar cada ingrediente. Posteriormente, se licuó la leche en polvo, el agua y la avena molida. Después, se adicionó una mezcla de clavo y canela. Tras la adición de esta mezcla, el producto en fabricación tuvo dos procesos de cocción. El primero fue realizado en recipientes de metal, a una temperatura de 90 °C por 30 minutos. Una vez terminada la primera cocción, se agregó la mezcla de sal y azúcar, después de lo cual se realizó una segunda cocción hasta el punto de ebullición (en los dos procedimientos hubo agitación constante). Al final, se enfrió el producto a una temperatura entre los 20 °C y los 25 °C, luego se procedió a envasar en empaques de plástico y de vidrio de 250 mL, los cuales se enfriaron a 4 °C para realizar los análisis pertinentes. En la tabla 1 se resumen los insumos y cantidades utilizadas para la preparación de la avena.

Tabla 1. Formulación para avena sinuana

Insumos	Porcentaje (% p/v)	F1	F2	F3
Agua	76,49	76,417	76,344	76,271
Leche en polvo (g)	11	11	11	11
Avena molida (g)	4	4	4	4
Azúcar (g)	8,5	8,5	8,5	8,5
Clavo y canela % v/v	0,0	0,073	0,146	0,219
Cloruro de sodio (g)	0,01	0,01	0,01	0,01

Fuente: Elaboración propia

Análisis microbiológico y fisicoquímico

La avena sinuana se elaboró a partir de tres concentraciones de clavo y canela, designadas así: F1 (0,073 % v/v), F2 (0,146 % v/v), F3 (0,219 % v/v), más el control (avena sin especias). Todas fueron envasadas en recipientes de vidrio y de plástico (PET) de 250 mL y almacenadas a 4 °C por siete días. Durante este tiempo se realizaron análisis microbiológicos de psicotróficos, bacterias de ácido láctico (BAL), mohos y levaduras, coliformes totales, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* (coagulasa positiva) y *Bacillus cereus*, de acuerdo con la metodología propuesta por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5246 (Icontec 2004). También se realizaron análisis fisicoquímicos, como pH mediante método potenciométrico según AOAC (1990), acidez por titulación según AOAC adaptado y grados Brix por método refractométrico según AOAC (1990).

Estimación de la vida útil y ajuste de las curvas de crecimiento microbiano

Se aplicó el modelo matemático propuesto por Baranyi y Roberts (1995) mediante el uso del programa DMFIT 2.0, para ajustar los datos obtenidos en las cinéticas de crecimiento de aerobios mesófilos a las diferentes fases del crecimiento microbiano, cuya expresión matemática se presenta en la ecuación 1 (Hong et al. 2016).

$$y(t) = y_0 + \mu_{max} A(t) - \frac{1}{m} \ln \left(1 + \frac{e^{m\mu_{max} A(t)} - 1}{e^m (y_{max} - y_0)} \right)$$

Donde $y_0 = \ln x(t_0)$ indica el logaritmo natural de la concentración de células en $t = t_0$, mientras que $y_{max} = \ln x_{max}$ es el logaritmo natural de la concentración máxima de la célula. La función de $A(t)$ desempeña el papel de un retraso gradual en el tiempo (ecuación 2).

$$A(t) = t + \frac{1}{\mu_{max}} \ln (e^{-\mu_{max} t} + e^{-h_0} - e^{-vt - h_0})$$

Donde: $h_0 = -\ln \alpha_0$ y

El parámetro α_0 corresponde al estado fisiológico de las células en $t = t_0$ (ecuación 3)

$$\alpha_0 = \frac{z_1(t_0)}{k_z + z_1(t_0)}$$

Donde $y(t)$ es la concentración celular, y_0 es la concentración o diámetro inicial, μ_{max} es la velocidad específica de crecimiento (1/h), m es un parámetro de curvatura para caracterizar la transición de la fase exponencial, $v = \mu_{max}$ es la tasa de crecimiento máxima específica y h_0 es un parámetro adimensional que cuantifica el estado fisiológico inicial de las células. Una vez calculados los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano, se estimó la vida útil microbiológica con la ecuación de Monod-Hinshelwood (ecuación 4).

$$ts = \frac{\ln N_s - \ln N_0}{\ln 2} \times T_d$$

Donde ts es el tiempo necesario para que se desarrolle el deterioro bajo un conjunto dado de condiciones intrínsecas y extrínsecas, N_s (UFC/g) es el valor correspondiente a la población dentro de un rango seguro para consumir el producto, N_0 (UFC/g) es el valor correspondiente a la población inicial presente en el producto y T_d es el tiempo de duplicación de la población alterante específica.

Análisis sensorial

Los análisis sensoriales (sabor y olor) fueron sometidos a una prueba de aceptación-preferencia, mediante una escala hedónica de 9 puntos, donde 1 representó la apreciación "Me disgusta extremadamente" y 9 "Me gusta extremadamente". Se eligió a un grupo de 30 participantes a los que previamente se les consultó si consumían avena ocasionalmente. Estas características sensoriales fueron estudiadas a los 0, 4 y 7 días de almacenamiento.

Análisis de datos

Para el análisis estadístico de las características fisicoquímicas y sensoriales se realizó un diseño experimental en parcelas subdivididas, en el cual la parcela fue el día, la parcela dividida, los empaques y la parcela subdividida, las concentraciones de canela y clavo. A los datos se les aplicó un análisis de varianza y prueba de comparación de Tukey, con un nivel de significancia del 5 %, mediante el uso del paquete estadístico SAS. Los análisis microbiológicos se realizaron mediante estadística descriptiva.

Resultados y discusión

Análisis microbiológico

En las tablas 2 y 3 están reportados los resultados de UFC/mL de psicrotrófos, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras, bacterias de ácido láctico (BAL), *B. cereus* y *S. aureus* (coagulasa

positiva) para cada una de las formulaciones. Se utilizaron las siguientes abreviaturas: Emp = empaque, V = vidrio, C = control, F = formulación, Ps = psicrotrófos, CT = coliformes totales, CF = coliformes fecales y M y L = mohos y levaduras.

En el día 0 se observó que las muestras envasadas en los recipientes de vidrio y de plástico se encontraban dentro de los valores permitidos de acuerdo con la NTC 5246 (Icontec 2004). Para el día 4, en la avena envasada en vidrio y formulada con las concentraciones 1 y 2 de clavo y canela se encontraron UFC/mL de coliformes totales por encima de los límites permitidos. En relación con la determinación de *S. aureus* (coagulasa positiva), los resultados obtenidos evidencian la ausencia de este patógeno en las muestras. Los niveles de contaminación por coliformes en la bebida analizada pudieron deberse al proceso de pasteurización, las condiciones sanitarias y el mantenimiento del producto a temperatura ambiente durante el reposo.

Tabla 2. Resultados microbiológicos de vida útil para la avena sinuana

Día	Emp	F	Ps	CT, bact/g	CF, bact/g	M y L	BAL	<i>B. cereus</i>	<i>S. aureus</i>
0	V	C	<10	<3	<3	<100	<10	Ausencia	<10
0	V	F1	<10	<3	<3	<100	<10	Ausencia	<10
0	V	F2	<10	<3	<3	<100	<10	Ausencia	<10
0	V	F3	<10	<3	<3	<100	<10	Ausencia	<10
4	V	C	<10	<3	<3	150	<10	Ausencia	<10
4	V	F1	<10	<3	<3	200	<10	Ausencia	<10
4	V	F2	<10	<3	<3	230	<10	Ausencia	<10
4	V	F3	<10	<3	<3	250	<10	Ausencia	<10
7	V	C	<10	<3	<3	265	<10	Ausencia	<100
7	V	F1	<10	<3	<3	272	<10	Ausencia	<100
7	V	F2	<10	<3	<3	285	<10	Ausencia	<100
7	V	F3	<10	<3	<3	292	<10	Ausencia	<100

Fuente: Elaboración propia

Cuando se analizó la avena en el envase de vidrio de la formulación F2, se observó que las UFC/mL de mohos y levaduras excedieron lo establecido por la NTC 5246 ($n = 5$; $c=1$; $m = 200$ y $M = 500$). Este mismo resultado se presentó a los doce días de almacenamiento para todas las bebidas tratadas en envase plástico. En la tabla 3 se evidencia que los microorganismos indicadores de contaminación fecal estuvieron dentro de los límites

permitidos por la NTC 5246. Además, *B. cereus* estuvo ausente en todas las formulaciones, incluyendo el control. Sin embargo, los mohos y levaduras de la muestra de control fueron superiores a las demás formulaciones. Finalmente, se evidencia que, a medida que se eleva la proporción de clavo y canela, el crecimiento de mohos y levadura aumenta, aunque la concentración bacteriana disminuye.

Tabla 3. Resultados microbiológicos de vida útil para la avena sinuana

Día	Emp	F	Ps	CT, bact/g	CF, bact/g	M y L	BAL	<i>B. cereus</i>	<i>S. aureus</i>
0	P	C	<10	<3	<3	<100	<10	Ausencia	<10
0	P	F1	<10	<3	<3	<100	<10	Ausencia	<10
0	P	F2	<10	<3	<3	<100	<10	Ausencia	<10
0	P	F3	<10	<3	<3	<100	<10	Ausencia	<10
4	P	C	<10	<3	<3	200	<10	Ausencia	<10
4	P	F1	<10	<3	<3	<100	<10	Ausencia	<10
4	P	F2	<10	<3	<3	<100	<10	Ausencia	<10
4	P	F3	<10	10	<3	<100	<10	Ausencia	<10
7	P	C	<10	<3	<3	350	<10	Ausencia	<10
7	P	F1	<10	<3	<3	187	<10	Ausencia	<10
7	P	F2	<10	<3	<3	155	<10	Ausencia	<10
7	P	F3	<10	8	<3	110	<10	Ausencia	<100

Fuente: Elaboración propia

Se ha encontrado que los aceites esenciales que contienen aldehídos y fenoles, tales como el cinamaldehído, citral, carvacrol, eugenol o timol como principales componentes, muestran gran actividad antibacteriana. Este es el caso de la canela y el clavo, seguidos de los aceites esenciales que contienen alcoholes terpenoides (Bassolé y Juliani 2012). Los estudios sobre el uso de antimicrobianos

naturales para prevenir la pérdida de calidad de diferentes alimentos y garantizar la seguridad microbiológica de los productos han aumentado significativamente en los últimos años (Bassolé y Juliani 2012). Investigaciones realizadas por Smith-Palmer et al. (1998) ensayaron las propiedades antimicrobianas de los aceites esenciales de 21 plantas contra cinco patógenos importantes,

incluyendo *Campylobacter jejuni*, *Salmonella enteritidis*, *E. coli*, *S. aureus* y *Listeria monocytogenes*. En dicha investigación se encontró que los aceites de laurel, clavo y canela fueron los más inhibitorios y se reportó que las bacterias gramnegativas fueron las más resistentes a estos tipos de aceites. De estos patógenos analizados, *C. jejuni* fue la bacteria más resistente al ser tratada con estos tipos de aceites.

Se ha observado el efecto antimicrobiano de la canela contra varios microorganismos (Gupta et al. 2008, 2010; Pina-Pérez et al. 2012), cuyos principios activos incluyen aceites volátiles (cinamaldehído, eugenol, ácido cinámico, mucílagos, diterpenos y proantocianidinas). Respecto al efecto antimicrobiano de la canela, se puede decir que este ingrediente en concentraciones de 0,7 g/1.000 mL muestra un descenso de $1,33 \pm 0,040 \log_{10}$ contra *B. cereus* para una bebida láctea (bacterias grampositivas), mientras que el efecto bacteriostático se limita cuando este antimicrobiano se utiliza contra *Salmonella typhimurium* (bacterias gramnegativas) (Hong et al. 2016). Por otra parte, Herrera y García (2006) evaluaron *in vitro* el efecto bactericida de extractos

de laurel, clavo y canela sobre *Salmonella* spp., *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *S. aureus* (coagulasa positiva) y *B. cereus*. Sus resultados comprobaron que el extracto de laurel mostró mayor poder inhibitorio sobre *S. aureus*, pero no se observó ningún efecto inhibitorio sobre *P. aeruginosa*.

Análisis fisicoquímico

En la tabla 4 se detalla el análisis de varianza (Anova) con su respectiva desviación estándar, realizado a las formulaciones de estudio para las variables pH, acidez y grados Brix. En el caso del pH se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre la muestra de control y la F3, sin embargo, en F1 y F2 no se observaron diferencias con respecto a la muestra control ni con respecto a F3. En cuanto a la acidez, hubo diferencias entre la muestra de control y las formulaciones F2 y F3, pero no se observaron diferencias entre F1 y las otras formulaciones. Para el caso de los sólidos solubles, se observaron diferencias entre la muestra de control y las formulaciones F1 y F3, pero la formulación F2 no presentó diferencias con las muestras F1 y F3.

Tabla 4. Resultados del test de medias para las variables pH, acidez y grados Brix ($^{\circ}$ Bx) de la avena sinuana

Concentración	pH	Acidez	$^{\circ}$ Bx
Control	$6,88 \pm 0,05^a$	$0,097 \pm 0,17^a$	$12,44 \pm 0,07^a$
F1	$6,76 \pm 0,03^{ab}$	$0,081 \pm 0,32^{ba}$	$11,59 \pm 0,03^b$
F2	$6,59 \pm 0,12^{ab}$	$0,078 \pm 0,21^b$	$10,35 \pm 0,01^{cb}$
F3	$6,57 \pm 0,23^b$	$0,078 \pm 0,03^b$	$10,75 \pm 0,15^c$

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las interacciones entre los factores, se observó que la combinación empaque-concentración (Emp*Conc) afectó la acidez, mientras que la interacción día-concentración (Día*Conc) afectó significativamente el pH y la acidez, lo cual comprueba que la proporción de clavo y canela influye en las características según los diversos empaques y en los diferentes días. La interacción Día*Emp fue significativa, puesto que el empaque afectó las propiedades de acidez y grados Brix en el tiempo.

Por su parte, Tirado et al. (2015) reportaron diferencias significativas en el pH, la acidez y los grados Brix para una bebida láctea a base de lactosuero fermentada con tres tipos de microorganismos. El aumento de la acidez en la muestra de control y la formulación F1 se debe a que, durante el proceso de fermentación, las bacterias utilizan la lactosa presente para convertirla en ácido láctico. El pH descendió a medida que aumentaba la concentración de clavo y canela. Esto indica que el descenso del pH no favorece el crecimiento

de bacterias patógenas, lo cual quedó demostrado en los análisis microbiológicos.

En la tabla 5 se observa el análisis de varianza realizado a la avena empacada en envases de vidrio y de plástico con su respectiva desviación estándar. Se evidencia que el promedio de la acidez para el envase de vidrio tuvo diferencias significativas con la muestra empacada en botellas de plástico. También se detalla que los sólidos solubles tuvieron diferencias estadísticas en relación con el envase de vidrio y de plástico, es decir, el envase influye en el comportamiento de la acidez y de los grados Brix, puesto que el vidrio es un material inerte, impermeable y hermético, que actúa como una barrera contra cambios de temperatura y no altera el sabor ni el aroma de su contenido (INTI 2012). Por su parte, el envase de plástico es fuertemente resistente al ataque microbiológico y no reacciona con el alimento, es una barrera contra gases y ofrece protección contra la luz ultravioleta (UV), lo cual aumenta la vida útil de los productos en él envasados (Cooper 2013).

Tabla 5. Resultados del test de medias para las variables de acidez y grados Brix de la avena sinuana

Empaque	Acidez	°Bx
Vidrio	0,078 ± 0,12 ^a	11,38 ± 0,80 ^a
Plástico	0,086 ± 0,23 ^b	11,25 ± 0,56 ^b

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Cinéticas de crecimiento de bacterias mesófilas aerobias

En la figura 1 se observan las cinéticas de crecimiento de bacterias mesófilas para la muestra de control y las formulaciones F1, F2 y F3. Se observa que el tratamiento de control tuvo un incremento pronunciado sobre la fase logarítmica, hasta llegar a una fase estable, comportamiento normal de estos microorganismos. En la F1 (figura 1) se evidencia que, en diferentes temperaturas, el crecimiento de

bacterias mesófilas tuvo un comportamiento exponencial marcado, además de que la fase de adaptación y la fase estacionaria no fueron muy notables. En general, se aprecia que las formulaciones F2 y F3 (figura 1) fueron las que presentaron menor tasa de duplicación de bacterias mesófilas, mientras que en F3 (figura 1) hubo un mejor comportamiento en el crecimiento de este tipo de bacterias. Además, se observa que a 15 °C la muestra conservó aún más la tasa de crecimiento de aerobios mesófilos.

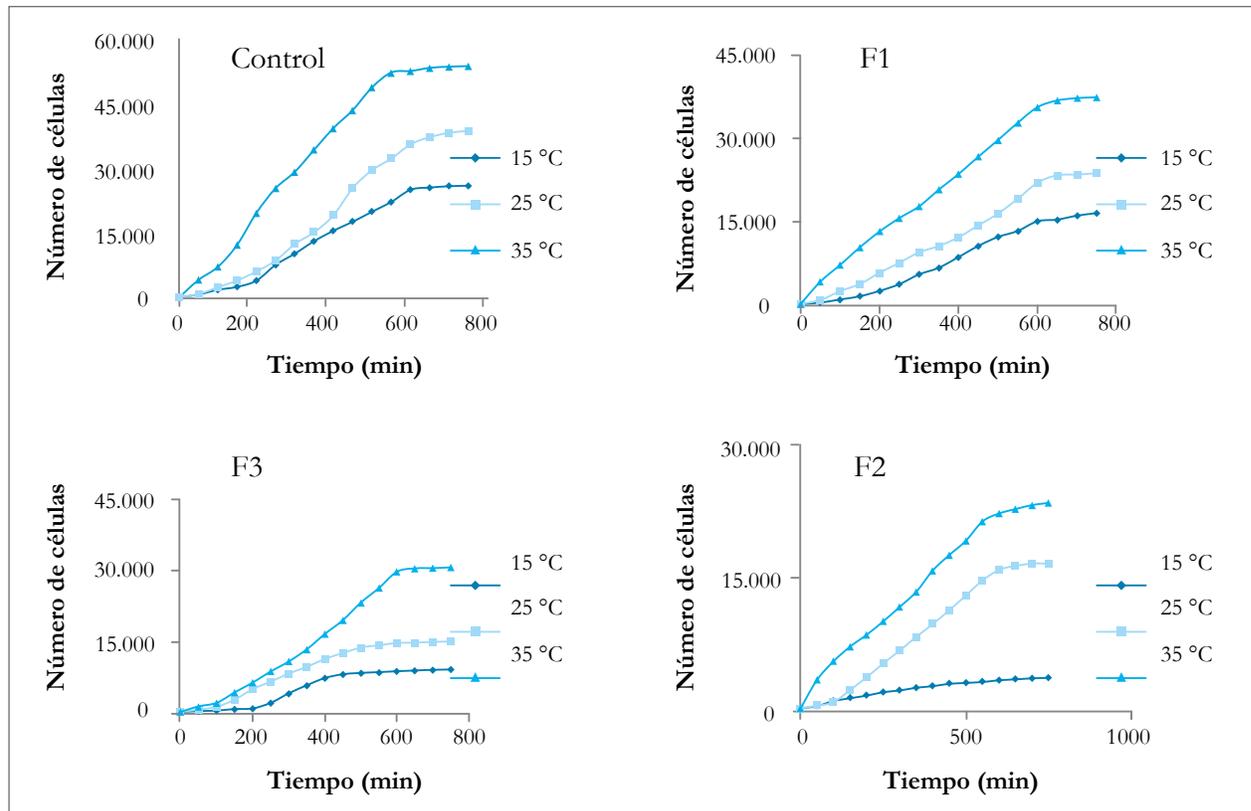


Figura 1. Cinéticas de crecimiento para diferentes temperaturas en cada una de las formulaciones.

Fuente: Elaboración propia

Investigaciones realizadas por Le Marc et al. (2009) reportaron que la presencia de bacterias ácido-lácticas no tuvo efectos significativos en la fase de latencia y la tasa de crecimiento inicial de *Staphylococcus aureus*. El cese del crecimiento de este microorganismo se observó antes de la caída del pH. En un estudio realizado por Bednarko-Młynarczyk et al. (2015) sobre el modelamiento cinético, se afirmó que el crecimiento de *S. aureus* en yogur durante el almacenamiento se redujo significativamente después de 167,25 h desde un nivel inicial de 3,56 log UFC/g a 2,1 log UFC/g; además, las cepas utilizadas en la elaboración del yogur afectaron la necrosis de los estafilococos en el producto.

En otro tipo de matrices alimentarias, diferentes a los lácteos, González et al. (2015) reportaron diferencias de los tratamientos en la fase de adaptación, así como en la etapa logarítmica, en la cual hubo un incremento en la pendiente que se correspondió

con el aumento de la temperatura para una muestra de camarón blanco. Estos autores también indicaron que las muestras recubiertas con biopelículas activas tardan mayor tiempo en entrar en la fase estacionaria, comportamiento que atribuyen al agotamiento de los nutrientes presentes en el sustrato.

Estimación de la vida útil de la avena sinuana

En la tabla 6 se observa la determinación de la vida útil (reportada en días) de la bebida láctea. Allí, C es la muestra de control; F1, F2 y F3 corresponden a las formulaciones; y P y V hacen referencia al envase de plástico y de vidrio respectivamente. La vida útil microbiológica de un producto alimenticio se puede calcular mediante la obtención de los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano de acuerdo con la fase exponencial, en la cual las células bacterianas están sanas y estables desde un punto de vista fisiológico (González et al. 2015).

La velocidad de crecimiento μ para cada temperatura corresponde al valor de la pendiente de la recta de la fase exponencial. Td se calcula teniendo en cuenta la ecuación de una recta $Y = mx + b$, donde Y es el valor de la temperatura a 4 °C, para la cual se determina la vida útil microbiológica. Luego, el valor Td se reemplaza en la ecuación de Monod-Hinshelwood. Se evidencia que la muestra F3-V, en comparación con la muestra de control, obtuvo un porcentaje mayor de vida útil (80,78%). Asimismo, se observa que a medida que se incrementa la concentración de clavo y canela, también aumenta la vida útil del alimento.

En investigaciones realizadas por Xanthiakos et al. (2006) se afirmó que los datos de crecimiento microbiano fueron ajustados al modelo primario de Baranyi y Roberts (1994), con el fin de calcular

parámetros cinéticos de la tasa máxima de crecimiento específico, la cual se incrementó con el aumento de la temperatura de forma lineal. Es de resaltar que en productos lácteos la aplicación del modelo no se encuentra en la literatura, sin embargo, en otras matrices cárnicas como la tilapia, González-Cuello et al. (2016) reportaron valores de μ de 2,030 y 2,073 con y sin recubrimiento de biopelículas terciarias, respectivamente. Dichos autores explican que esto se puede atribuir al efecto de las biopelículas sobre los microorganismos, puesto que, con ellas, estos últimos no cuentan con las condiciones ambientales óptimas para su crecimiento. También González et al. (2015) reportaron valores de Ts de 11,6 para muestras de camarón blanco sin biopelículas binarias y de 17,67 para muestras con biopelículas binarias.

Tabla 6. Vida útil calculada para la avena sinuana

Parámetros	C	F1-P	F1-V	F2-P	F2-V	F3-P	F3-V
Td (h)	4,53	5,22	5,47	5,35	5,87	8,92	9,14
Ts (días)	2,10	3,28	3,52	7,14	8,38	9,30	10,93
R ²	0,98	0,96	0,99	0,97	0,99	0,99	0,98

Fuente: Elaboración propia

En investigaciones realizadas por Lee et al. (2014) se aplicaron los modelos de predicción desarrollados por Baranyi, el modelo de Gompertz y modelos logísticos basados en datos experimentales. El modelo de Baranyi predijo que la tasa de crecimiento específico $\mu_{\text{máx}}$ aumentaría gradualmente, con valores de 0,05, 0,47 y 0,65 log UFC/g/h, para temperaturas de almacenamiento de 5, 15 y 25 °C, respectivamente. Sin embargo, las tasas de crecimiento específico en los modelos de Gompertz y en el modelo logístico fueron más altas que las tasas previstas en el modelo de Baranyi. Lo anterior demuestra que el crecimiento de microorganismos puede depender de la temperatura de almacenamiento.

Análisis sensorial

En la tabla 7 están reportados los resultados del análisis de varianza para las características sensoriales de la avena durante distintos tiempos de almacenamiento. Se observa que en el parámetro “sabor” hubo diferencias entre el día 0 y el día 15, pero entre los días 0, 4, 7 y 12 no se observaron diferencias estadísticamente significativas. Además, entre los días 4, 12 y 15 no se observaron diferencias. En cuanto al olor, no se observaron diferencias estadísticas durante los primeros 12 días de almacenamiento, sin embargo, se observaron diferencias estadísticamente significativas para el día 15.

Tabla 7. Resultados del test de medias para las variables “sabor” y “olor” de avena sinuana

Días	Sabor	Olor
0	7,25 ^a	6,99 ^a
4	7,12 ^{ba}	6,86 ^a
7	7,26 ^a	7,06 ^a
12	6,98 ^{ba}	6,82 ^a
15	6,43 ^b	5,83 ^b

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los factores, se evidenció que la interacción Día*Conc afectó significativamente los atributos sensoriales de la avena. La variable independiente “día”, por ejemplo, afectó las características de sabor y olor del producto, mientras que la concentración afectó solo el olor. Las interacciones del empaque (Día*Emp y Emp*Conc) no influyeron en las respuestas de los catadores para los atributos evaluados. El factor “día” no influyó en el atributo “olor” para la percepción de los participantes.

Conclusiones

Las avenas con la concentración más alta de especias (F3, con 0,219%) lograron un mayor tiempo de almacenamiento sin alteraciones negativas. Las más duraderas fueron las envasadas en botellas de vidrio, con una duración de 12 días en promedio. Se evidenció que la bebida empacada en envase de plástico fue la que tuvo una mayor acidez durante el almacenamiento. Se observó que la concentración de especias influyó en los atributos fisicoquímicos

(como la acidez, los grados Brix y el pH) para los envases de vidrio y de plástico en los diferentes días evaluados.

El análisis sensorial de los atributos examinados (sabor y olor) indicó que el empaque no influye significativamente en las respuestas de los catadores con respecto a estos. Del mismo modo, el factor “día” tampoco influyó en el olor. Con respecto a la cinética de crecimiento de bacterias mesófilas, se pudo establecer que la muestra que presentó mayor vida útil fue la formulación F3-V, es decir, el tratamiento que en su composición tenía mayor concentración de clavo y canela, con una vida útil de 10,93 días.

Descargos de responsabilidad

El desarrollo de esta investigación fue financiado por los autores. El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Referencias

- Acevedo D, Navarro M, Monroy L. 2013a. Composición química del aceite esencial de hojas de orégano (*Origanum vulgare*). Inf Tecnol. 24(4):43-48.
- Acevedo D, Navarro M, Montero P. 2013b. Composición química del aceite esencial de las hojas de toronjil (*Melissa officinalis* L.). Inf Tecnol. 24(4):49-54.
- Alzate LM, Arteaga DM, Jaramillo Y. 2011. Evaluation to potential uses of the carob tree's fruit (*Hymenaea Courbaryl* L) —shell and seeds— as a natural preserver for food. Rev Lasallista Investig. 8(1):90-95.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists. 15th. Helrich K, editor. Arlington, EE. UU.: AOAC.
- Arora DS, Kaur J. 1999. Antimicrobial activity of spices. Int. J. Antimicrob. Agents. 12(3):257-262.
- Baranyi J, Roberts TA. 1995. Mathematics of predictive food microbiology. Int J Food Microbiol. 26(2):199-218.
- Bassolé IH, Juliani HR. 2012. Essential oils in combination and their antimicrobial properties. Molecules. 17(4):3989-4006.
- Bednarko-Młynarczyk E, Szteyn J, Białobrzewski I, Wiszniewska-Łaszczych A, Liedtke K. 2015. Modeling the kinetics of survival of *Staphylococcus aureus* in regional yogurt from goat's milk. Pol J Vet Sci. 18(1):39-45.
- Cooper TA. 2013. Developments in plastic materials and recycling systems for packaging food, beverages and other fast-moving consumer goods. En: Farmer N, editor. Trends in packaging of food, beverages and other fast-moving consumer goods (FMCG): Markets, materials and technologies. Philadelphia, EE. UU.: Woodhead Publishing Limited. pp. 58-107.
- Córdoba M, Gottret MV, López T, Montes A, Ortega L, Perry S. 2004. Innovación participativa: experiencias con pequeños productores agrícolas en seis países de América Latina. No. 159 Santiago de Chile, Chile: Organización de las Naciones Unidas.
- Gende L, Maggi M, Van Baren C, Di Leo A, Bandoni A, Fritz R. 2010. Antimicrobial and miticide activities of *Eucalyptus globulus* essential oils obtained from different Argentine regions. Span J Agric Res. 8(3):642-650.
- González RE, Castro J, Caro Y. 2015. Obtención de biopelículas binarias activas y su efecto en la vida útil microbiológica del camarón blanco (*Penaeus vannamei*). Inf Tecnol. 26(5):3-10.
- González-Cuello RE, Paternina L, Carrillo A. 2016. Biopelículas terciarias: fuerza de ruptura y efecto sobre la vida útil de cortes de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*). Inf Tecnol. 27(1):33-40.
- Gupta C, Garg AP, Uniyal RC, Kumari A. 2008. Comparative analysis of the antimicrobial activity of cinnamon oil and cinnamon extract on some food-borne microbes. Afr J Microbiol Res. 2(9):247-251.
- Gupta S, Cox S, Abu-Ghannam N. 2010. Process optimization for the development of a functional beverage based on lactic acid fermentation of oats. Biochem Eng J. 52 (2-3):199-204.
- Herrera E, García R. 2006. Evaluación *in vitro* del efecto bactericida de extractos acuosos de laurel, clavo, canela y tomillo sobre cinco cepas bacterianas patógenas de origen alimentario. Bistua. 4(2):13-19.
- Hong YK, Huang L, Yoon WB. 2016. Mathematical modeling and growth kinetics of *Clostridium sporogenes* in cooked beef. Food Control. 60:471-477.
- [Icontec] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2004. NTC 5246. Productos lácteos. Bebida láctea con avena. Primera actualización. Bogotá, Colombia: Icontec.
- [INTI] Instituto Nacional de Tecnología Industrial. 2012. Envases y embalajes. San Martín, Buenos Aires, Argentina: Departamento Imprenta del INTI.
- Kamatou GP, Vermaak I, Viljoen AM. 2012. Eugenol—from the remote Maluku Islands to the international market place: a review of a remarkable and versatile molecule. Molecules. 17(6):6953-6981.
- Kim YS, Lee SH, Kim SH, Joo Y, Bahk GJ. 2015. Investigation of the experience of foodborne illness and estimation of the incidence of foodborne disease in South Korea. Food Control. 47:226-230.
- Kunyanga CN, Imungi JK, Okoth MW, Biesalski HK, Vadivel V. 2012. Total phenolic content, antioxidant and antidiabetic properties of methanolic extract of raw and traditionally processed Kenyan indigenous food ingredients. LWT Food Sci Technol. 45(2):269-276.
- Le Marc Y, Valík L, Medvedová A. 2009. Modelling the effect of the starter culture on the growth of *Staphylococcus aureus* in milk. Int J Food Microbiol. 129(3):306-311.
- Lee YJ, Jung BS, Yoon HJ, Kim KT, Paik HD, Lee JY. 2014. Predictive model for the growth kinetics of *Listeria monocytogenes* in raw pork meat as a function of temperature. Food Control. 44:16-21.
- Nsoesie EO, Kluberg SA, Brownstein JS. 2014. Online reports of foodborne illness capture foods implicated in official foodborne outbreak reports. Prev Med. 67:264-269.
- Oiye SO, Muroki NM. 2002. Use of spices in foods. J Food Technol Afr. 7(2):39-44.
- Pina-Pérez MC, Martínez-López A, Rodrigo D. 2012. Cinnamon antimicrobial effect against *Salmonella typhimurium* cells treated by pulsed electric fields (PEF) in pasteurized skim milk beverage. Food Res Int. 48(2):777-783.
- Rodríguez EN. 2011. Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. Ra Ximhai. 7(1):153-170.
- Shan LC, Panagiotopoulos P, Regan A, De Brún A, Barnett J, Wall P, McConnon A. 2015. Interactive communication with the public: Qualitative exploration of the use of social media by food and health organizations. J Nutr Educ Behav. 47(1):104-108.

- Shang-Tzen C, Pin-Fun C, Shan-Chwen C. 2001. Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum*. J Ethnopharmacol. 77(1):123-127.
- Smith-Palmer A, Stewart J, Fyfe L. 1998. Antimicrobial properties of plant essential oils and essences against five important food-borne pathogens. Lett Appl Microbiol. 26(2):118-122.
- Tapsell LC, Hemphill I, Cobiac L. 2006. Patch CS, Sullivan DR, Fenech M, et al. Health benefits of herbs and spices: the past, the present, the future. Med J Aust. 185(4 -Suppl):S4-24.
- Tirado DF, Granados C, Acevedo D, Marulanda M, De la Hoz E. 2015. Elaboración de una bebida láctea a base de lactosuero fermentado usando *Streptococcus salivarius* ssp., *Thermophilus* y *Lactobacillus casei* ssp. casei. Cienc Tecnol Aliment. 13(1):13-19.
- Ulte A, Bennik M, Moezelaar R. 2002. The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. Appl Environ Microb. 68(4):1561-1568.
- Vargas-Sánchez RD, Torrescano-Urrutia GR, Sánchez-Escalante A. 2013. El propóleo: conservador potencial para la industria alimentaria. Interciencia. 38(10):705-711.
- Young I, Waddell L, Sanchez J, Wilhelm B, McEwen SA, Rajić A. 2014. The application of knowledge synthesis methods in agri-food public health: Recent advancements, challenges and opportunities. Prev Vet Med. 113(4):339-355.
- Xanthiakos K, Simos D, Angelidis AS, Nychas GE, Koutsoumanis K. 2006. Dynamic modeling of *Listeria monocytogenes* growth in pasteurized milk. J Appl Microbiol. 100(6):1289-1298.