






Efecto de microcápsulas de aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) sobre las propiedades fisicoquímicas, bioactivas y sensoriales del chocolate oscuro

Effect of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) essential oil microcapsules on the physicochemical, bioactive, and sensory properties of dark chocolate

David Mego-Chauca^{1*} , Segundo Chavez² , Sandra Mori-Vigo¹ ,

Robin Oblitas-Delgado¹ , Luz Quispe-Sanchez¹ 

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de las microcápsulas de aceite esencial de canela sobre las propiedades fisicoquímicas, bioactivas, reológicas, texturales y sensoriales del chocolate negro. Para ello, se elaboraron chocolates negros incorporando microcápsulas de aceite esencial de canela, empleando maltodextrina y goma arábica como materiales de recubrimiento, en diferentes concentraciones y niveles de incorporación. Se determinaron el pH, la acidez titulable, el índice de blancura, la capacidad antioxidante, el contenido de fenoles totales, los parámetros reológicos de Casson, la dureza, el tamaño de partícula y la aceptación sensorial. Los datos fueron analizados mediante ANOVA y la prueba de Tukey, considerando un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los resultados evidenciaron que la incorporación de microcápsulas afectó significativamente el pH, la acidez titulable, el índice de blancura, los fenoles totales, la tensión de fluencia, la viscosidad, la dureza y el tamaño de partícula. En contraste, la capacidad antioxidante no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que la aceptación sensorial general se mantuvo. En consecuencia, se concluye que las microcápsulas de aceite esencial de canela modificaron las propiedades fisicoquímicas, bioactivas y tecnológicas del chocolate negro, sin disminuir su aceptación sensorial general.

Palabras clave: capacidad antioxidante, tamaño de partícula, chocolate negro, microcápsulas de aceite esencial de *Cinnamomum zeylanicum*.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of cinnamon essential oil microcapsules on the physicochemical, bioactive, rheological, textural, and sensory properties of dark chocolate. To this end, dark chocolates were prepared by incorporating cinnamon essential oil microcapsules, using maltodextrin and gum arabic as coating materials, at different concentrations and incorporation levels. The following parameters were determined: pH, titratable acidity, whiteness index, antioxidant capacity, total phenolic content, Casson rheological parameters, hardness, particle size, and sensory acceptance. The data were analyzed using ANOVA and Tukey's test, with a significance level of $p < 0.05$. The results showed that the incorporation of microcapsules significantly affected pH, titratable acidity, whiteness index, total phenols, yield stress, viscosity, hardness, and particle size. In contrast, antioxidant capacity did not show significant differences among the treatments, while overall sensory acceptance remained unchanged. Consequently, it is concluded that cinnamon essential oil microcapsules modified the physicochemical, bioactive, and technological properties of dark chocolate without reducing its overall sensory acceptance.

Keywords: antioxidant capacity, particle size, dark chocolate, *Cinnamomum zeylanicum* essential oil microcapsules.

¹Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

²Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú.

*Autor de correspondencia. E-mail: 7086436172@untrm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

El chocolate oscuro es un alimento ampliamente consumido y valorado por sus propiedades nutricionales y organolépticas, entre las que destacan el aroma, el sabor, la textura y la sensación en boca (Glicerina et al., 2013). Dentro de los distintos tipos de chocolate, el chocolate oscuro presenta especial interés debido a su mayor contenido de sólidos de cacao y compuestos bioactivos, particularmente polifenoles, los cuales se asocian con una importante capacidad antioxidante y con una percepción favorable por parte del consumidor (Zugravu & Otelea, 2019). Su formulación básica está constituida principalmente por licor de cacao, manteca de cacao y azúcar, componentes que determinan no solo sus características sensoriales, sino también sus propiedades fisicoquímicas, reológicas y texturales (Afoakwa, 2010).

En los últimos años, la industria alimentaria ha mostrado un creciente interés por el desarrollo de chocolates funcionales mediante la incorporación de ingredientes naturales con actividad bioactiva. En este contexto, los aceites esenciales representan una alternativa prometedora debido a que están constituidos por mezclas complejas de compuestos volátiles producidos por las plantas durante su metabolismo secundario. Estos compuestos son responsables de atributos como aroma y sabor, y pueden obtenerse de distintas partes vegetales, como hojas, flores, cortezas, semillas y cáscaras, mediante métodos especializados de extracción (Asbahani et al., 2015; Moghaddam & Mehdizadeh, 2017). Entre ellos, el aceite esencial de canela ha despertado interés por su potencial para mejorar el perfil bioactivo y sensorial de productos alimentarios, debido a la presencia de compuestos fenólicos y sustancias aromáticas características (Samanta et al., 2022).

La canela (*Cinnamomum zeylanicum*) ha sido utilizada tradicionalmente con fines culinarios, aromáticos y funcionales. Diversos estudios han reportado que posee propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias, lo que la convierte en un ingrediente de interés para el diseño de alimentos con valor agregado (Weerasekera et

al., 2021). En el caso del chocolate, la incorporación de aceite esencial de canela puede contribuir a mejorar determinadas propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales; sin embargo, su aplicación directa presenta limitaciones debido a la alta volatilidad de sus compuestos, su sensibilidad frente a factores ambientales y la posible modificación del sabor, la textura y la aceptabilidad del producto final (Dwijatmoko et al., 2016; Ilmi et al., 2017; Mehran et al., 2020).

Frente a estas limitaciones, la microencapsulación constituye una estrategia tecnológica relevante para proteger compuestos bioactivos, mejorar la estabilidad de los aceites esenciales y controlar su liberación dentro de matrices alimentarias. Esta técnica permite reducir la exposición de los compuestos volátiles al oxígeno, la luz, la temperatura y la humedad, factores que pueden acelerar su degradación y disminuir su funcionalidad. Entre los materiales de pared más utilizados se encuentran la goma arábiga y la maltodextrina. La goma arábiga destaca por su capacidad emulsificante y por favorecer la formación de sistemas estables, mientras que la maltodextrina contribuye a mejorar la eficiencia de encapsulación, la estabilidad térmica y la protección del compuesto activo durante el procesamiento y almacenamiento (Fernandes et al., 2014; de Araújo et al., 2020).

No obstante, aunque la incorporación de aceites esenciales microencapsulados en productos alimentarios ha sido estudiada en distintas matrices, aún existe información limitada sobre el efecto conjunto del tipo de pared encapsulante, la concentración de microcápsulas y la dosis de aceite esencial de canela sobre la calidad fisicoquímica, bioactiva, reológica, textural y sensorial del chocolate oscuro. Esta brecha resulta relevante, ya que la adición de compuestos volátiles puede incrementar el valor funcional del producto, pero también modificar parámetros tecnológicos importantes, como el pH, la acidez, el índice de blancura, la viscosidad, la dureza, el tamaño de partícula y la aceptación sensorial. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la incorporación de microcápsulas de aceite esencial de canela sobre las propiedades

fisicoquímicas, bioactivas, reológicas, texturales y sensoriales del chocolate oscuro, considerando como variables de respuesta el pH, la acidez titulable, el índice de blancura, la capacidad antioxidante, el contenido de fenoles totales, los parámetros reológicos de Casson, la dureza, el tamaño de partícula y la aceptación sensorial.

II. METODOLOGÍA

Reactivos y materiales

Se emplearon NaOH, fenolftaleína, metanol al 80 %, solución DPPH 0.1 mM, agua desionizada, reactivo Folin-Ciocalteu, carbonato de sodio al 10 %, 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo y ácido gálico al 96 % (Spectrum).

Adquisición de canela

Se adquirieron dos kilogramos de canela seca, sellada en bolsa hermética, en el mercado central de Chachapoyas, Perú. Las muestras fueron transportadas y almacenadas a 20 °C hasta su uso.

Obtención de aceite esencial de canela

Se realizó en el Laboratorio de Control de Calidad de Cacao del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), perteneciente a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Fue extraído de acuerdo a la metodología descrita por Matínez (2001), utilizando un destilador de aceites esenciales por arrastre de vapor de marca TECNAL, modelo (TE-2761-20). Para la extracción de aceite esencial de canela se utilizó una pera de decantación, con la finalidad de separar el aceite esencial del agua, finalmente fue envasado en frascos ámbar y se almacenó a 4° C hasta su posterior uso.

Obtención de licor de cacao

Se utilizaron granos de cacao fermentados secos, con humedad menor a 7 %, provenientes de la Cooperativa APROCAM de Bagua, Amazonas-

Perú. En el Laboratorio de Control de Calidad de Cacao del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de selva (INDES-CES), los granos fueron tostados a 120 °C durante 30 minutos utilizando una estufa (Venticell, Ecoline, Alemania), siguiendo los protocolos establecidos por la industria chocolatera. Los granos tostados fueron descascarillados en un descascarillador industrial (AyZ- DS-Perú), hasta obtener nibs de cacao sin cascarilla. Estos nibs fueron molidos en un molino industrial (Prosol Sac, Tritur-50, Perú), hasta obtener el licor de cacao. Finalmente, el refinado se realizó durante 3 horas utilizando refinadores de dos rodillos de granito (Premier, India), con una capacidad de 3 kilogramos.

Formulación de chocolate

La formulación base para la elaboración de los chocolates oscuros fue de 70 % compuesto en un 65 % de pasta de cacao, 5 % de manteca de cacao y 30 % de azúcar rubia para el chocolate control que se muestra en el flujograma de chocolate oscuro (Figura 1). Una vez formulada la base para chocolate se pasó al proceso de refinado por 21 horas, siguiendo la metodología descrita por Leite et al. (2013). En el proceso de templado se añadieron las microcápsulas de aceite esencial de canela (MAC) al 0.3, 0.5, 0.7 % (p/p); el proceso de templado se realizó con fluctuación de temperatura de 38 °C a 28 °C, se moldearon a 32 °C, en moldes de policarbonato para tabletas de 14 x 12 x 6 cm de 50 gramos de capacidad y muestras de 1 x 1.5 x 0.5 cm de 0.75 g de capacidad. Para el proceso del envasado se realizó después de 15 minutos, extrayendo las tabletas de chocolate, para ser envueltos en papel aluminio y ser almacenados a 8 °C hasta su posterior análisis.

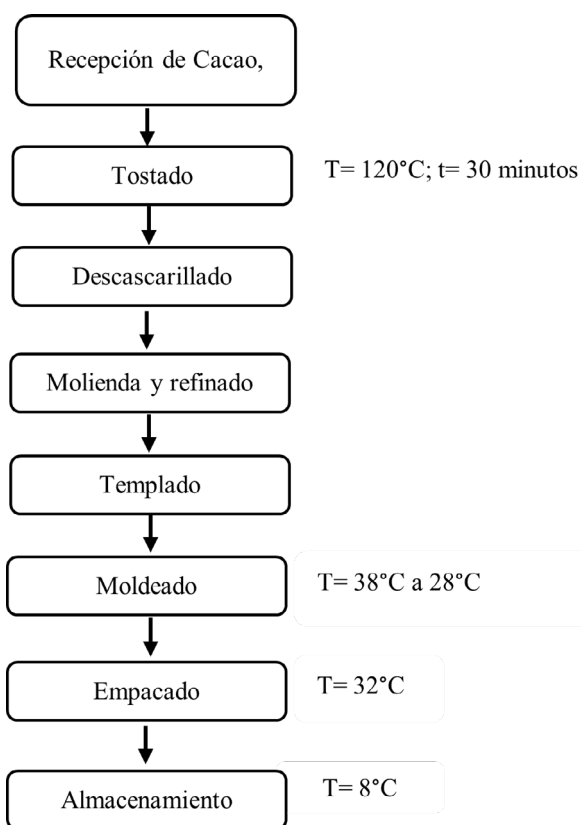


Figura 1. Flujograma de elaboración de chocolate oscuro.

Análisis fisicoquímico de los chocolates oscuros con incorporación de aceite esencial de canela

pH

El pH se determinó mediante el método AOAC 981.21/90 (AOAC International, 2000), a partir de una solución preparada para medir el pH y la acidez titulable de chocolate oscuro con adición de microcápsulas de aceite esencial de canela (MAC), utilizando un potenciómetro digital (HANNA Instruments).

Acidez titulable

La determinación de la acidez titulable se hizo a partir de la solución preparada para la medición del pH, en donde la acidez titulable se midió según AOAC 981.12/90 (AOAC, 1990). En donde se utilizó NaOH como solución de neutralización y fenolftaleína como indicador. Los resultados de la acidez se expresaron como porcentaje de equivalente de ácido cítrico por cada 100 g de muestras.

Determinación del índice de blancura (WI)

La medición del índice de blancura (WI) se llevó a cabo utilizando el equipo de medidor de croma (CR-400), según la metodología descrita por Tirgarian et al. (2023). Las mediciones se realizaron utilizando el sistema de CIELAB, que proporciona valores de L^* , a^* y b^* para poder determinar WI. Donde a^* representa el grado de verdor o enrojecimiento, con un rango de -80 que indica verde y 80 que indica el color rojo. El valor de b^* representa la transición del azul al amarillo, con un rango de -80 para el azul y 80 que indica el color amarillo. El valor L^* representa la luminosidad que va desde 0 que representa el color negro hasta 100 que representa el color blanco, ya que utilizando estos valores también se puede obtener una evaluación estandarizada y cuantitativa del índice de blancura del chocolate oscuro (Jin et al., 2019). El índice de blancura se calculó mediante la ecuación 1.

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$$

Determinación de capacidad antioxidante del chocolate

Para la preparación de la solución metanólica (80 %) de radical DPPH se siguió la metodología descrita por Melo et al. (2021). Se agregó 100 mg de muestra desgrasada a los tubos falcon de 15ml, luego se agregó 10 ml de metanol al 80 %, se procedió a agitar a 300 RPM por 15 min en un Shaker orbital, para luego centrifugar a 3000 RPM por el lapso de 30 min utilizando una centrífuga Pro-Analytical, los sobrenadantes se procedieron a filtrar utilizando papel filtro (Watman N° 42), luego se pusieron a -24°C en ausencia de luz. Las muestras fueron realizadas por triplicado.

La actividad de antioxidante se determinó mediante el ensayo de depuración del radical libre 2,2-difenil-1-picril-hidrazilo (DPPH). Se preparó una solución en metanol de DPPH (0.1 mM), luego se adicionó 2 mL de esta solución a un tubo y adicionó 200 μ L de extracto. Posteriormente se agitaron la mezcla e incubo a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad. Mediante un espectrofotómetro UV-Vis (T 9200 PEAK Instruments, USA) se midió la absorbancia a 517 nm. Posteriormente para calcular la capacidad antioxidante se trabajó mediante la ecuación lineal de la curva de calibración ($y = 0.2352x + 26.62$), los resultados se expresaron en micromoles de Trolox por 100g de muestra (μ mol TE/100g de muestra)

Contenido fenólico

El contenido fenólico de los chocolates oscuros con adición de microcápsulas de aceite esencial de canela se determinó mediante el método Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999), de acuerdo a la metodología modificada descrita por Medina-Mendoza et al. (2023). Para ello, se disolvió la muestra en 200 μ L de agua desionizada con 25 μ L de muestra, posteriormente en un tubo de ensayo se agregó 250 μ L Folin Ciocalteu con 2ml de muestra, se agitó en un vórtex hasta homogenizarlo, luego de 5min se agregó 250 μ L de la solución carbonato de sodio al 10 % y se agitó nuevamente hasta homogenizar. Seguidamente se guardó en un lugar oscuro durante 60 min para que este reaccione, transcurrido el tiempo se midió la absorbancia a una longitud de onda de 725 nm. Terminado de medir la absorbancia de todas las muestras anteriormente desgrasadas, los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra (mg GAE/100g de muestra), usando de referencia la curva de calibración ($y = 244.42x - 21.15$, $R^2 = 0.977$).

Propiedades reológicas

La viscosidad de los chocolates oscuros se realizó usando un reómetro compacto modular (Anton Paar, Modelo MCR 302, Austria), equipado con un Peltier de cilindros concéntricos CC27. Para el análisis de las muestras de chocolates con adición de MAC fueron

fundidas a 40 °C en una estufa (Venticell, Ecoline, alemana) durante 1 hora, luego las muestras de chocolates fueron colocadas en la copa de cilindros concéntricos CC27 hasta la capacidad señalada por los fabricantes (50mL). Donde las velocidades de corte aplicada fueron de 5 s^{-1} durante 1 min y 40 segundos, incrementando la velocidad de corte de 2 a 50 s^{-1} . Los datos fueron procesados por el software del equipo (RheoCompass vs s 1.30) siguiendo la metodología descrita por Glicerina et al. (2013). Las curvas de flujo se ajustaron al modelo Casson, ecuación (2) se utilizó para medir el comportamiento reológico del fluido de límite elástico:

$$\sigma^{0.5} = (\sigma_0)^{0.5} + K_1(\dot{\gamma})^{0.5}$$

Donde σ (Pa) es el esfuerzo cortante, σ_0 es el límite elástico de Casson (Pa), K_1 es el índice de consistencia (Pa·s) (s^{-1}) es la velocidad de corte.

Dureza

Para determinar los parámetros de dureza de las muestras de los chocolates, se realizó con un analizador de textura CTX (AMETEK Brookfield con software TexturePro 1.0.19), siguiendo la metodología propuesta por Lillah et al. (2017). Las muestras se analizaron usando una sonda cónica de 30 grados con una celda de carga de 10 kg a una velocidad de prueba de 10 mm/s. Donde las muestras fueron comprimidas a una velocidad inicial de 5 mm/s y una profundidad de 0.8 mm. Cada muestra se analizó por triplicado.

Tamaño de partícula

El tamaño de partícula se analizó siguiendo la metodología descrita por Ibrahim et al. (2020), con algunas modificaciones. En un vaso de precipitación se elaboró una solución de chocolate disuelto en aceite de girasol a 50 %. Se añadió una gota de la solución dentro de la mordaza del micrómetro (Mitutoyo-2017) y se cerró para su lectura.

Análisis sensorial de los chocolates

El análisis sensorial se realizó de acuerdo a la escala hedónica de 9 puntos (Tabla 1), siguiendo la metodología descrita por Abdul et al. (2019). Esta

evaluación se realizó con 60 panelistas no entrenados en el Laboratorio de Control de Calidad del Cacao de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Las características sensoriales evaluadas fueron: sabor, color, textura y aceptabilidad general, mediante pruebas orientadas hacia los panelistas no entrenados. Las muestras de los chocolates se mantuvieron a una temperatura de 20 °C durante 1 hora antes de la evaluación.

Tabla 1. Escala hedónica de 9 puntos utilizada para medir el grado de aceptación sensorial.

Escala hedónica de 9 puntos	
Me gusta extremadamente	9
Me gusta mucho	8
Me gusta moderadamente	7
Me gusta ligeramente	6
Ni me gusta ni me disgusta	5
Me disgusta un poco	4
No me gusta moderadamente	3
Me disgusta mucho	2
No me gusta	1

Análisis de datos

Los datos se analizaron mediante ANOVA de una vía, considerando los tratamientos como factor fijo. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los análisis se realizaron con software InfoStat, versión 2020. Previamente, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

pH

En la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de chocolates oscuros con microcápsulas de aceite esencial de canela (MAC), mostrando que su adición tiene un impacto significativo ($p < 0.05$) en las características fisicoquímicas. Los chocolates con maltodextrina como pared encapsulante tienen un pH entre 5.30 y 5.47, menor que el de la muestra testigo (5.49), mientras que los encapsulados con goma arábica presentan un pH más alto, de 5.51 a

5.61, siendo el valor más elevado en el chocolate con 0.5 % de MAC, microencapsulado con 30 % de maltodextrina y 12 μ L de aceite esencial. El pH desempeña un papel crucial en la inhibición del crecimiento microbiano, y su disminución está relacionada con factores como la temperatura, las propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales y la presencia de ácido cinámico, que modifican el sistema alimentario (Karimi Sani et al., 2020; Rahayu et al., 2021; Agibert & Lannes, 2018).

Acidez

La acidez de los chocolates oscuros con adición de microcápsulas de aceite esencial de canela (MAC) varió entre 0.23 % y 0.36 % de ácido cítrico, siendo el valor más alto (0.36 %) observado en el chocolate con 0.3 % de MAC, microencapsulado con maltodextrina al 30 % y 10 μ L de aceite esencial. En contraste, la muestra testigo, sin adición de MAC, presentó una acidez de 0.28 %. Estos resultados, presentados en la Tabla 2, reflejan el efecto de la incorporación de MAC en la acidez del chocolate. Estudios previos (Galvagni et al., 2020) han demostrado que la aromatización de chocolates con aceites esenciales, como el de naranja, influye en la acidez dependiendo de la concentración utilizada, lo cual está asociado a la acidez inherente del aceite esencial. Además, el aumento en la acidez también puede atribuirse a la hidrólisis de la sacarosa por el ácido cítrico (Dar & Sharma, 2011). Estas investigaciones respaldan el uso de aceites esenciales microencapsulados para mejorar las propiedades bioactivas de los chocolates.

Índice de blancura (WI)

El índice de blancura (WI) de los chocolates oscuros con adición de microcápsulas de aceite esencial de canela (MAC) varió entre 19.10 y 25.79, según los resultados del análisis fisicoquímico presentados en la Tabla 2. El valor más alto 25.79 se obtuvo al incorporar MAC al 0.5 %, microencapsulado con maltodextrina al 30 % y 12 μ L de aceite esencial. Este parámetro, que describe la calidad del color y el blanqueamiento de la superficie del chocolate, se ve afectado significativamente ($p < 0.05$) con la adición de MAC. Factores como el enfriamiento inadecuado y el mal almacenamiento también influyen en el

índice de blancura (Popov-Raljić & Laličić-Petronijević, 2009). Mexis et al. (2010) destacan que el índice de blancura es eficaz para monitorear la distribución de grasas en el chocolate, manifestada en áreas blancas. Estudios previos han mostrado aumentos significativos en el índice de blancura con la adición de microcápsulas de aceite de maní debido a su color blanco (Agibert & Lannes, 2018; Erdem et al., 2014), mientras que Galvagni et al. (2020) reportaron ligeras variaciones en los valores de L*, a* y b* al agregar aceite esencial de canela. Además, Silva et al. (2017) relacionaron el WI con la floración de grasa, responsable de la formación de una capa blanquecina en la superficie del chocolate.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de chocolate oscuro con adición de microcápsulas de aceite esencial de canela.

Tipo de pared encapsulante	Dosis de pared encapsulante (%)	Adición de aceite esencial de canela (μL)	Adición de agente encapsulado (%)	pH	Acidez titulable (% de ácido cítrico)	Índice de Blancura (WI)	
Maltodextrina	10	10	0.3	5.36 \pm 0.02 ^{ef}	0.34 \pm 0.01 ^{a-c}	25.66 \pm 0.56 ^{ab}	
		12	0.5	5.30 \pm 0.01 ^f	0.35 \pm 0.01 ^{ab}	23.39 \pm 0.61 ^{ab}	
		14	0.7	5.47 \pm 0.02 ^{b-c}	0.31 \pm 0.01 ^{a-c}	25.12 \pm 0.47 ^{ab}	
	20	10	0.3	5.37 \pm 0.00 ^{ef}	0.34 \pm 0.01 ^{a-c}	24.26 \pm 0.53 ^{ab}	
		12	0.5	5.39 \pm 0.05 ^{d-f}	0.28 \pm 0.01 ^{c-f}	23.32 \pm 0.47 ^{ab}	
		14	0.7	5.45 \pm 0.04 ^{c-c}	0.33 \pm 0.01 ^{a-d}	23.64 \pm 0.85 ^{ab}	
		10	0.3	5.30 \pm 0.01 ^f	0.36 \pm 0.01 ^a	24.14 \pm 0.15 ^{ab}	
		30	12	0.5	5.47 \pm 0.01 ^{a-c}	0.29 \pm 0.01 ^{c-f}	25.79 \pm 0.40 ^a
			14	0.7	5.46 \pm 0.01 ^{b-c}	0.29 \pm 0.01 ^{c-f}	24.18 \pm 0.31 ^{ab}
Goma Arábiga	10	10	0.3	5.51 \pm 0.01 ^{a-d}	0.23 \pm 0.01 ^f	25.47 \pm 0.29 ^{ab}	
		12	0.5	5.55 \pm 0.00 ^{a-c}	0.26 \pm 0.01 ^{ef}	23.12 \pm 0.47 ^{ab}	
		14	0.7	5.55 \pm 0.02 ^{a-c}	0.33 \pm 0.01 ^{a-d}	23.39 \pm 0.13 ^{ab}	
	20	10	0.3	5.54 \pm 0.04 ^{a-c}	0.27 \pm 0.01 ^{d-f}	19.10 \pm 5.16 ^c	
		12	0.5	5.54 \pm 0.01 ^{a-c}	0.29 \pm 0.01 ^{b-f}	24.50 \pm 0.22 ^{ab}	
		14	0.7	5.56 \pm 0.00 ^{ab}	0.31 \pm 0.01 ^{a-c}	24.29 \pm 0.80 ^{ab}	
	30	10	0.3	5.52 \pm 0.03 ^{a-d}	0.33 \pm 0.01 ^{a-d}	25.02 \pm 0.98 ^{ab}	
		12	0.5	5.61 \pm 0.05 ^a	0.34 \pm 0.01 ^{a-c}	21.84 \pm 0.50 ^{bc}	
		14	0.7	5.58 \pm 0.02 ^{a-c}	0.27 \pm 0.01 ^{d-f}	25.66 \pm 0.56 ^{ab}	
Muestra testigo	0	0	0	5.49 \pm 0.00 ^{a-c}	0.28 \pm 0.01 ^{c-f}	23.83 \pm 0.59 ^{ab}	

Nota. Los valores expresados como promedio \pm desviación estándar. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según tukey ($p < 0.05$).

Capacidad antioxidante

En la Tabla 3 se presentan los resultados de las propiedades bioactivas de los chocolates oscuros con adición de microcápsulas de aceite esencial de canela (MAC). La capacidad antioxidante de los chocolates oscuros osciló entre 0.28 \pm 0.01 y 0.31 \pm 0.02 $\mu\text{mol}(\text{TE})/100\text{g}$, sin diferencias significativas ($p > 0.05$). Aunque los componentes bioactivos de la canela podrían mejorar la capacidad antioxidante como sugiere Muhammad et al. (2020) y Praseptiangga et al. (2019), la incorporación de MAC no mostró un impacto significativo en este caso. Estudios previos han demostrado que la microencapsulación con maltodextrina y goma arábiga es efectiva para preservar y dispersar antioxidantes y compuestos bioactivos, reduciendo su degradación mediante procesos como la liofilización (Hu et al., 2020; Al-Hamayda et al., 2023). Estos resultados destacan el potencial de las MAC como portadores de compuestos bioactivos en aplicaciones alimentarias, aunque la efectividad depende de las condiciones específicas de formulación y procesamiento.

Contenido de fenoles

El contenido de fenoles es una propiedad bioactiva clave en los chocolates oscuros. Los resultados de nuestra investigación mostraron valores entre 640.49 ± 49 y 1032.30 ± 31.32 mg GAE/100 g, evidenciando un aumento significativo ($p < 0.05$) al incorporar microcápsulas de aceite esencial de canela (MAC) en comparación con la muestra testigo (640.49 mg GAE/100 g). La muestra con mayor contenido fenólico (1032.30 mg GAE/100 g) utilizó goma arábica al 10 % como pared encapsulante, con $10 \mu\text{L}$ de aceite esencial de canela y 0.3 % de MAC. Este aumento se debe a la interacción entre los polifenoles de los aceites esenciales y el chocolate, logrando un producto más saludable e innovador (Contreras-López et al., 2022; Jasel A. et al., 2024). Estudios previos asocian este incremento con factores como la temperatura de almacenamiento, que retrasa la liberación de fenoles microencapsulados a 4°C (Hashim et al., 2024), y con la inclusión de aceites esenciales liofilizados, que optimizan la interacción con los polifenoles, especialmente aquellos que contienen cinamaldehído (Başer & Buchbauer, 2009). Además, Praseptiangga et al. (2019) y Muhammad et al. (2021) destacan que la concentración de microcápsulas y el uso de métodos tradicionales para extraer compuestos fenólicos potencian estos valores en los chocolates.

Tabla 3. Propiedades bioactivas del chocolate oscuro con adición de microcápsulas de aceite esencial de canela.

Tipo de pared encapsulante	Dosis de pared encapsulante (%)	Dosis de adición de aceite esencial de canela (μL)	Adición de agente encapsulado (%)	Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ de muestra)	Fenoles totales (mg GAE/100g)	
Maltodextrina	10	10	0.3	0.30 ± 0.01^a	$807.87 \pm 80.48^{b-c}$	
		12	0.5	0.31 ± 0.02^a	913.73 ± 44.61^{ab}	
		14	0.7	0.29 ± 0.01^a	$898.44 \pm 4.33^{a-c}$	
		10	0.3	0.29 ± 0.01^a	$749.15 \pm 8.80^{c-f}$	
		12	0.5	0.29 ± 0.01^a	$676.34 \pm 20.29^{c-f}$	
		14	0.7	0.30 ± 0.01^a	$766.91 \pm 48.58^{b-f}$	
	20	10	10	0.3	0.29 ± 0.01^a	$748.47 \pm 1.51^{c-f}$
			12	0.5	0.29 ± 0.01^a	$704.02 \pm 2.88^{d-f}$
			14	0.7	0.29 ± 0.01^a	$694.95 \pm 2.92^{d-f}$
		30	10	0.3	0.29 ± 0.01^a	1032.30 ± 31.23^a
			12	0.5	0.30 ± 0.01^a	$765.15 \pm 49.06^{b-f}$
			14	0.7	0.29 ± 0.01^a	$699.24 \pm 1.53^{d-f}$
Goma Arábica	20	10	0.3	0.30 ± 0.01^a	$722.92 \pm 2.22^{d-f}$	
		12	0.5	0.29 ± 0.01^a	$704.80 \pm 2.88^{d-f}$	
		14	0.7	0.29 ± 0.01^a	$741.22 \pm 2.05^{c-f}$	
	30	10	0.3	0.29 ± 0.01^a	$852.38 \pm 17.53^{b-d}$	
		12	0.5	0.30 ± 0.01^a	$744.21 \pm 5.63^{c-f}$	
		14	0.7	0.29 ± 0.01^a	$740.87 \pm 3.85^{c-f}$	
Muestra testigo	0	0	0	0.28 ± 0.01^a	640.49 ± 2.26^f	

Nota. Valores expresados como promedio \pm desviación estándar. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según Tukey ($p < 0.05$).

Propiedades reológicas

En la Tabla 4 se presentan las propiedades reológicas, de dureza y texturales de los chocolates oscuros con adición de MAC, observándose un efecto significativo ($p < 0.05$) en el límite elástico y la viscosidad. Los valores del límite elástico variaron entre 12.31 y 23.87 Pa, siendo el más alto obtenido al adicionar 0.5 % de MAC microencapsulado con goma arábica al 10 % y $12 \mu\text{L}$ de aceite esencial de canela, mientras que el más bajo correspondió a 0.3 % de MAC con la misma pared encapsulante y $10 \mu\text{L}$ de aceite esencial de canela. En cuanto a la viscosidad, se

observaron incrementos significativos ($p < 0.05$) al utilizar maltodextrina como pared encapsulante (2.43 a 3.77 Pa·s) en comparación con la muestra testigo (2.33 Pa·s), mientras que con goma arábica los valores oscilaron entre 1.24 y 3.27 Pa·s. Según estudios previos, el límite elástico y la viscosidad están influenciados por las interacciones entre partículas sólidas, el contenido de grasa y los aceites esenciales añadidos, siendo sensibles a la concentración y al tipo de aceite (Hadnađev et al., 2023; Quispe-Sanchez et al., 2023). Por ejemplo, la adición de microcápsulas de aceite de maní aumenta la viscosidad (Agibert & Lannes, 2018), mientras que aceites como el de coco o limoneno tienden a reducirla, mejorando la aceptabilidad del producto (Abdul et al., 2019; Do et al., 2008). Estas propiedades reológicas son esenciales para garantizar la textura y calidad de los chocolates oscuros, haciendo al producto más atractivo para los consumidores (Gonçalves & Lannes, 2010).

Propiedades texturales

En el estudio de las propiedades reológicas y texturales de los chocolates oscuros con adición de MAC, se observaron variaciones significativas en la dureza. Las muestras con maltodextrina como pared encapsulante presentaron valores de dureza entre 26.28 y 46.79 gramos, lo que representó una reducción significativa ($p < 0.05$) en comparación con la muestra testigo con 49.88 gramos. Por otro lado, al emplear goma arábica como pared encapsulante, los valores de dureza variaron entre 33.62 y 58.53 gramos, siendo el valor más alto de 58.53 gramos al agregar 0.7 % de MAC encapsulado con goma arábica al 20 % y 14 μL de aceite esencial de canela. Estos resultados resaltan la importancia de la dureza en la percepción y calidad del chocolate (Fibrianto et al., 2021), ya que influye directamente en la textura y aceptación del producto. En estudios previos, se ha observado que la adición de microcápsulas de aceites esenciales, como el de *S. chamaecyparissus* y aceite de semilla de chía, tiende a reducir la dureza del chocolate debido a la concentración de aceite (Camelo-Silva et al., 2024; Razavizadeh & Tabrizi, 2021). Sin embargo, otros estudios, como el de Bölek et al. (2022), no reportaron efectos significativos sobre la dureza al incorporar microcápsulas de aceite de *Santolina Chamaecyparissus*.

Tamaño de partícula

El tamaño de partícula en los chocolates oscuros con adición de MAC varió entre 51.22 y 185.00 μm , mostrando una diferencia significativa ($p < 0.05$) respecto a la muestra testigo, que fue de 70.70 μm . Según Afoakwa et al. (2009), las combinaciones de azúcar y licor de cacao, con un contenido de grasa del 25 % al 35 %, se refinan hasta alcanzar un tamaño de partícula inferior a 30 μm . En este estudio, los resultados obtenidos evidencian un aumento significativo en el tamaño de partícula al incorporar MAC. Investigaciones previas han relacionado el tamaño de partícula con la textura del chocolate: el incremento en el encapsulado de mora está asociado con un mayor tamaño de partícula (Lončarević et al., 2018), y la adición de aceite esencial de hoja de kaffir (*Citrus hystrix DC.*) también aumenta el tamaño de partícula, lo que impacta la textura (Glicerina et al., 2013). Además, Praseptiangga et al. (2019) encontraron que partículas mayores de 30 μm pueden generar una textura arenosa y áspera, mientras que Zohreh (2020) detectó que la incorporación de microcápsulas de café aumenta el tamaño de partícula debido al recubrimiento de gelatina-pectina de los ácidos clorogénicos.

Tabla 4. Propiedades reológicas, dureza y tamaño de partícula de chocolate oscuro con adición de microcápsulas de aceite esencial de canela.

Pared encapsulante	Dosis de pared encapsulante (%)	Dosis de adición de aceite esencial (μL)	Adición de aceite encapsulado (%)	Límite elástico (Pa)	Viscosidad (Pa·s)	Dureza (gramos)	Tamaño de partícula (μm)	
Malto-dextrina	10	10	0.3	22.84±0.98 ^{ab}	2.44±42.43 ^{bc}	39.14±8.03 ^{a-c}	51.22±8.22 ⁱ	
		12	0.5	16.67±0.19 ^{cd}	3.12±17.28 ^{a-c}	26.28±3.98 ^c	159.17±16.67 ^{ab}	
		14	0.7	21.01±0.43 ^{a-c}	2.80±36.15 ^{bc}	32.79±8.72 ^{bc}	73.66±15.31 ^{f-i}	
	20	10	0.3	23.27±0.17 ^a	2.49±14.29 ^{bc}	46.79±4.75 ^{a-c}	68.58±11.82 ^{g-i}	
		12	0.5	17.94±3.25 ^{bc}	3.77±402.4 ^{6a}	38.26±9.28 ^{a-c}	185.00±10.82 ^a	
		14	0.7	19.84±0.17 ^{a-c}	2.52±15.08 ^{bc}	42.42±2.49 ^{a-c}	116.84±18.67 ^{cd}	
	30	10	0.3	21.15±0.81 ^{a-c}	2.43±67.02 ^{bc}	40.07±7.60 ^{a-c}	90.17±2.84 ^{c-g}	
		12	0.5	17.71±0.92 ^{bc}	2.99±70.13 ^{a-c}	32.94±3.24 ^{bc}	71.54±14.02 ^{f-i}	
		14	0.7	19.63±0.28 ^{a-c}	2.67±12.82 ^{bc}	33.01±6.49 ^{bc}	127.85±5.42 ^{bc}	
	Goma Arábica	10	10	0.3	12.31±0.38 ^d	1.24±55.5 ^{3d}	33.62±4.60 ^{bc}	59.27±4.56 ^{hi}
			12	0.5	23.87±0.3 ^{6a}	2.53±31.22 ^{bc}	34.74±4.27 ^{bc}	72.81±8.38 ^{f-i}
			14	0.7	17.19±0.23 ^{cd}	2.81±19.91 ^{bc}	38.30±8.18 ^{a-c}	55.88±7.90 ^{hi}
20		10	0.3	23.30±3.89 ^a	3.02±750.62 ^{a-c}	41.66±1.74 ^{a-c}	63.08±17.32 ^{hi}	
		12	0.5	20.07±0.99 ^{a-c}	2.63±112.83 ^{bc}	48.53±4.65 ^{a-c}	67.73±9.80 ^{g-i}	
		14	0.7	16.93±0.11 ^{cd}	2.27±8.89 ^c	58.53±10.33 ^a	66.04±3.59 ^{g-i}	
30	10	0.3	21.33±1.19 ^{a-c}	2.53±199.99 ^{bc}	43.45±5.94 ^{a-c}	79.16±4.25 ^{fh}		
	12	0.5	17.36±2.22 ^{cd}	3.27±462.70 ^{ab}	42.09±2.29 ^{a-c}	95.67±11.33 ^{d-f}		
Muestra testigo	0	0	0	21.02±0.29 ^{a-c}	2.33±27.43 ^c	49.88±5.49 ^{ab}	70.70±7.10 ^{g-i}	

Nota. Valores expresados como promedio ± desviación estándar. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según Tukey ($p < 0.05$).

Análisis sensorial

En la Tabla 5 se presentan los resultados del análisis sensorial de los chocolates oscuros con adición de MAC, donde se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en color, textura y sabor entre los tratamientos. El chocolate con MAC al 0.3 %, microencapsulado con maltodextrina al 30 % y 10 μL de aceite esencial de canela, obtuvo la puntuación más alta en color, con un promedio de 7.32 en la escala hedónica de aceptación sensorial. En cuanto a textura, el chocolate con MAC al 0.3 %, microencapsulado con goma arábica al 20 % y 10 μL de aceite esencial de canela, alcanzó el valor más alto con 7.20. En sabor, el chocolate con MAC al 0.3 %, microencapsulado con goma arábica al 10 % y 12 μL de aceite esencial de canela, obtuvo la puntuación más alta de 7.30. Sin embargo, en términos de aceptación general, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Estudios previos (Dwijatmoko et al., 2016; Ilmi et al., 2017; Praseptiangga et al., 2019; Rasuluntari et al., 2016) han indicado que la adición de mayores cantidades de aceite esencial y polvo de canela puede disminuir la aceptación sensorial de los chocolates. Aunque los resultados de este estudio muestran una buena aceptación sensorial, investigaciones previas han demostrado que el sabor es un factor clave para la aceptación de alimentos funcionales (Frost et al., 2021; Puputti et al., 2019; Ueda, 2021; Velasco et al., 2018). Además, Faccinnetto-Beltrán et al. (2021) destacaron que los consumidores no siempre asocian el sabor con los beneficios funcionales del producto.

Tabla 5. Aceptación sensorial de chocolate oscuro con adición de microcápsulas de aceite esencial de canela, utilizando la escala hedónica de 9 puntos.

Tipo de pared encapsulante	Dosis de pared encapsulante (%)	Dosis de adición de aceite esencial de canela μ L	Adición de agente encapsulado (%)	Color	Textura	Sabor	Aceptación general
Maltodextrina	10	10	0.3	6.48 \pm 1.40ab	6.73 \pm 1.33 ab	6.25 \pm 1.67 bc	6.27 \pm 1.34 a
		12	0.5	7.28 \pm 1.27	6.50 \pm 1.77ab	6.47 \pm 1.59a-c	6.63 \pm 1.47 a
		14	0.7	6.15 \pm 1.49b	6.57 \pm 1.43 ab	6.37 \pm 1.57 a-c	6.31 \pm 1.45 a
	20	10	0.3	6.63 \pm 1.65ab	6.6 \pm 1.31 ab	6.03 \pm 1.63 c	6.53 \pm 1.36 a
		12	0.5	7.18 \pm 1.34 a	6.00 \pm 1.84b	6.72 \pm 1.76 a-c	6.57 \pm 1.87 a
		14	0.7	7.08 \pm 1.20a	7.08 \pm 1.20a	7.08 \pm 1.20ab	7.08 \pm 1.20 a
	30	10	0.3	7.32 \pm 1.37 a	6.78 \pm 1.52 ab	6.62 \pm 1.39 a-c	6.95 \pm 1.37 a
		12	0.5	6.75 \pm 1.53ab	6.85 \pm 1.33 ab	6.65 \pm 1.39 a-c	6.68 \pm 1.30 a
		14	0.7	7.08 \pm 1.20 a	7.08 \pm 1.20 a	7.08 \pm 1.20 ab	7.08 \pm 1.20 a
Goma Arábica	10	10	0.3	6.85 \pm 1.18ab	6.78 \pm 1.29 ab	6.65 \pm 1.31 a-c	6.62 \pm 1.34 a
		12	0.5	6.88 \pm 1.36ab	7.10 \pm 1.41 a	7.30 \pm 1.33a	7.17 \pm 1.24 a
		14	0.7	6.98 \pm 1.42ab	6.82 \pm 1.31 ab	7.00 \pm 1.35 a-c	6.88 \pm 1.32 a
	20	10	0.3	7.20 \pm 1.18 a	7.20 \pm 1.18 a	6.65 \pm 1.50 a-c	7.08 \pm 1.31 a
		12	0.5	7.08 \pm 1.20 a	7.05 \pm 1.19 a	6.08 \pm 1.61c	6.46 \pm 1.32 a
		14	0.7	7.08 \pm 1.20 a	7.08 \pm 1.20 a	7.08 \pm 1.20 ab	7.08 \pm 1.20 a
	30	10	0.3	7.25 \pm 1.23 a	6.97 \pm 1.57 a	6.53 \pm 1.96 a-c	6.85 \pm 1.65 a
		12	0.5	7.02 \pm 1.18 a	6.83 \pm 1.47 ab	6.43 \pm 1.63 a-c	6.75 \pm 1.53 a
		14	0.7	7.22 \pm 1.34 a	6.62 \pm 1.70 ab	6.63 \pm 1.75 a-c	6.73 \pm 1.49 a
Muestra testigo	0	0	0	7.08 \pm 1.20 a	7.08 \pm 1.20 a	7.08 \pm 1.20 ab	7.08 \pm 1.20 a

Nota. Valores expresados como promedio \pm desviación estándar. Las letras iguales muestran que no hubo diferencia significativa, según Tukey ($p > 0.05$)

V. CONCLUSIONES

La incorporación de microcápsulas de aceite esencial de canela modificó significativamente el pH, la acidez titulable, el índice de blancura, el contenido fenólico, el límite elástico, la viscosidad, la dureza y el tamaño de partícula del chocolate oscuro; por otro lado, la capacidad antioxidante no presentó diferencias significativas frente al control. El tratamiento con goma arábica al 10 %, 10 μ L de aceite esencial y 0.3 % de MAC alcanzó el mayor contenido fenólico, mientras que la aceptabilidad general no disminuyó significativamente. En conjunto, los resultados evidencian que las microcápsulas de aceite esencial de canela pueden emplearse como ingrediente funcional en chocolate oscuro, siempre que se controle su efecto sobre la textura y el tamaño de partícula.

DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los autores facilitarán sin reservas los datos brutos en los que se basan las conclusiones de este artículo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: D.M., S.C. y L.Q.S. Metodología: D.M., S.C. y L.Q.S. Validación: S.C., S.M.V. y L.Q.S. Análisis formal: D.M., S.C. y L.Q.S. Investigación: D.M., S.C., S.M.V., R.O.D. y L.Q.S. Depuración de datos: D.M. y S.M.V. Redacción del borrador original: D.M. y S.M.V. Redacción, revisión y edición: S.C. y L.Q.S. Visualización: D.M. y S.M.V. Supervisión: S.C. y L.Q.S. Administración del proyecto: S.C. Adquisición de fondos: S.C.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que la investigación se llevó a cabo en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un posible conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT), otorgado al proyecto PE501082113-2023, titulado “Desarrollo tecnológico de una línea de envases biodegradables con biomasa amazónica, altamente impermeables”. Asimismo, expresan su agradecimiento por el apoyo del proyecto contratado n.º 012-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV y del proyecto SNIP n.º 352641 “CEINCACAO”. El costo de procesamiento del artículo (APC) fue financiado por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

VI. REFERENCIAS

- Abdul Halim, H. S., Selamat, J., Mirhosseini, S. H., & Hussain, N. (2019). Sensory preference and bloom stability of chocolate containing cocoa butter substitute from coconut oil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 443–448. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.02.005>
- Afoakwa, E. O. (2010). *Chocolate Science and Technology*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781444319880>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2009). Microstructure and mechanical properties related to particle size distribution and composition in dark chocolate. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(1), 111–119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01677.x>
- Agibert, S. A., & Lannes, S. C. da S. (2018). Dark chocolate with a high oleic peanut oil microcapsule content. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5591–5597. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9102>
- Al-Hamayda, A., Abu-Jdayil, B., Ayyash, M., & Tannous, J. (2023). Advances in microencapsulation techniques using Arabic gum: A comprehensive review. *Industrial Crops and Products*, 205, 117556. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117556>
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analytical Chemist*. Association of Official Analytical Chemists.
- Asbahani, A. El, Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Addi, E. H. A., Casabianca, H., Mousadik, A. El, Hartmann, D., Jilale, A., Renaud, F. N. R., & Elaissari, A. (2015). Essential oils: From extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*, 483(1–2), 220–243. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.12.069>
- Bölek, S., Tosya, F., & Akçura, S. (2022). Effects of *Santolina chamaecyparissus* essential oil on rheological, thermal and antioxidative properties of dark chocolate. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27, 100481. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100481>
- Camelo-Silva, C., Mota e Souza, B., Vicente, R., Arend, G. D., Sanches, M. A. R., Barreto, P. L. M., Ambrosi, A., Verruck, S., & Di Luccio, M. (2024). Polyfunctional sugar-free white chocolate fortified with *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG co-encapsulated with beet residue extract (*Beta vulgaris* L.). *Food Research International*, 179, 114016. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114016>
- Chandula Weerasekera, A., Samarasinghe, K., Krishantha Sameera de Zoysa, H., Chathuranga Bamunuarachchige, T., & Yashasvi Waisundara, V. (2021). *Cinnamomum zeylanicum*: Morphology, Antioxidant Properties and Bioactive Compounds. In *Antioxidants - Benefits, Sources, Mechanisms of Action*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97492>
- Contreras-López, E., Muñoz, A. M., Fernández Jerí, Y., & Anaya-Meléndez, F. (2022).

- Actividad antioxidante, compuestos fenólicos y evaluación sensorial de formulaciones para infusiones a base de cáscara de sanky (*Corryocactus brevistylus*) y canela (*Cinnamomum verum*). *Revista de la Sociedad Química Del Perú*, 88(1), 13–24. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i1.372>
- Dar, B. N., & Sharma, S. (2011). Total Phenolic Content of Cereal Brans using Conventional and Microwave Assisted Extraction. *American Journal of Food Technology*, 6(12), 1045–1053. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.1045.1053>
- de Araújo, J. S. F., de Souza, E. L., Oliveira, J. R., Gomes, A. C. A., Kotzebue, L. R. V., da Silva Agostini, D. L., de Oliveira, D. L. V., Mazzetto, S. E., da Silva, A. L., & Cavalcanti, M. T. (2020). Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium var. dulcis*) by liophilization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 991–999. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.160>
- Do, T. -A. L., Vieira, J., Hargreaves, J. M., Wolf, B., & Mitchell, J. R. (2008). Impact of Limonene on the Physical Properties of Reduced Fat Chocolate. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(10), 911–920. <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1281-3>
- Dwijatmoko, M. I., Praseptianga, D., & Muhammad, D. R. A. (2016). Effect of cinnamon essential oils addition in the sensory attributes of dark chocolate. *Nusantara Bioscience*, 8(2), 301–305. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n080227>
- Erdem, Ö., Gültekin-Özgülven, M., Berktaş, I., Erşan, S., Tuna, H. E., Karadağ, A., Özçelik, B., Güneş, G., & Cutting, S. M. (2014). Development of a novel synbiotic dark chocolate enriched with *Bacillus indicus* HU36, maltodextrin and lemon fiber: Optimization by response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 56(1), 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.020>
- Faccineto-Beltrán, P., Gómez-Fernández, A. R., Orozco-Sánchez, N. E., Pérez-Carrillo, E., Marín-Obispo, L. M., Hernández-Brenes, C., Santacruz, A., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2021). Physicochemical Properties and Sensory Acceptability of a Next-Generation Functional Chocolate Added with Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Probiotics. *Foods*, 10(2), 333. <https://doi.org/10.3390/foods10020333>
- Fernandes, R. V. de B., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 101, 524–532. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>
- Fibrianto, K., Azhar, L. O. M. F., Widiotomo, S., & Harijono, H. (2021). Effect of cocoa bean origin and conching time on the physicochemical and microstructural properties of Indonesian dark chocolate. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.24919>
- Frost, M. B., Hartmann, A., Petersen, M. A., Duelund, L., & Mouritsen, O. G. (2021). Odour-induced umami – Olfactory contribution to umami taste in seaweed extracts (dashi) by sensory interactions. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100363. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100363>
- Galvagni, E., Fritzen, A. A., Graboski, A. M., Ballen, S. C., Steffens, J., & Steffens, C. (2020). Detection of Volatiles in Dark Chocolate Flavored with Orange Essential Oil by Electronic Nose. *Food Analytical Methods*, 13(7), 1421–1432. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01763-x>
- Glicerina, V., Balestra, F., Rosa, M. D., & Romani,

- S. (2013). Rheological, textural and calorimetric modifications of dark chocolate during process. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.012>
- Gonçalves, E. V., & Lannes, S. C. da S. (2010). Chocolate rheology. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(4), 845–851. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000400002>
- Hadnađev, M., Kalić, M., Krstonošić, V., Jovanović-Lješkovčić, N., Erceg, T., Škrobot, D., & Dapčević-Hadnađev, T. (2023). Fortification of chocolate with microencapsulated fish oil: Effect of protein wall material on physicochemical properties of microcapsules and chocolate matrix. *Food Chemistry: X*, 17, 100583. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100583>
- Hashim, S. B. H., Tahir, H. E., Mahdi, A. A., Al-Maqtari, Q. A., Shishir, M. R. I., Mahunu, G. K., Aalim, H., Khan, S., Zhai, X., Xiaobo, Z., & Jiyong, S. (2024). Fabrication of biopolymer stabilized microcapsules for enhancing physicochemical stability, antioxidant and antimicrobial properties of cinnamon essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 271, 132336. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132336>
- Hu, Q., Li, X., Chen, F., Wan, R., Yu, C., Li, J., McClements, D. J., & Deng, Z. (2020). Microencapsulation of an essential oil (cinnamon oil) by spray drying: Effects of wall materials and storage conditions on microcapsule properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14805>
- Ibrahim, S. F., Dalek, N. S. E. M., Raffie, Q. A. F. M., & Ain, M. R. F. (2020). Quantification of physicochemical and microstructure properties of dark chocolate incorporated with palm sugar and dates as alternative sweetener. *Materials Today: Proceedings*, 31, 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.235>
- Ilmi, A., Praseptianga, D., & Muhammad, D. R. A. (2017). Sensory Attributes and Preliminary Characterization of Milk Chocolate Bar Enriched with Cinnamon Essential Oil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 193, 012031. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/193/1/012031>
- Jasel A., I., Fanzone, M. L., Chirife, J., Ferreras-Charro, R., García-Estévez, I., Teresa Escribano-Bailón, M., & Galmarini, M. V. (2024). Phenolic composition and sensory dynamic profile of chocolate samples enriched with red wine and blueberry powders. *Food Research International*, 179, 113971. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113971>
- Jin, J., Jin, Q., Wang, X., & Akoh, C. C. (2019). Improving heat and fat bloom stabilities of “dark chocolates” by addition of mango kernel fat-based chocolate fats. *Journal of Food Engineering*, 246, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.027>
- K. Hüsni Can Başer, & Gerhard Buchbauer. (2009). *Handbook of Essential Oils*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420063165>
- Karimi Sani, I., Alizadeh Khaledabad, M., Pirsai, S., & Moghaddas Kia, E. (2020). Physicochemical, organoleptic, antioxidative and release characteristics of flavoured yoghurt enriched with microencapsulated *Melissa officinalis* essential oil. *International Journal of Dairy Technology*, 73(3), 542–551. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12691>
- Leite, P. B., Bispo, E. da S., & Santana, L. R. R. de. (2013). Sensory profiles of chocolates produced from cocoa cultivars resistant to *Moniliophthora Perniciosa*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(2), 594–602. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200031>
- Lillah, Asghar, A., Pasha, I., Murtaza, G., & Ali, M. (2017). Improving heat stability along with

- quality of compound dark chocolate by adding optimized cocoa butter substitute (hydrogenated palm kernel stearin) emulsion. *LWT*, *80*, 531–536. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.042>
- Lončarević, I., Pajin, B., Fišteš, A., Tumbas Šaponjac, V., Petrović, J., Jovanović, P., Vulić, J., & Zarić, D. (2018). Enrichment of white chocolate with blackberry juice encapsulate: Impact on physical properties, sensory characteristics and polyphenol content. *LWT*, *92*, 458–464. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.002>
- Matínez, A. (2001). Aceites esenciales. *Universidad de Antioquia*, 1–34.
- Medina-Mendoza, M., Rodríguez-Pérez, R. J., Rojas-Ocampo, E., Torrejón-Valqui, L., Fernández-Jeri, A. B., Idrogo-Vásquez, G., Cayo-Colca, I. S., & Castro-Alayo, E. M. (2021). Rheological, bioactive properties and sensory preferences of dark chocolates with partial incorporation of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Heliyon*, *7*(2), e06154. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06154>
- Mehran, M., Masoum, S., & Memarzadeh, M. (2020). Microencapsulation of *Mentha spicata* essential oil by spray drying: Optimization, characterization, release kinetics of essential oil from microcapsules in food models. *Industrial Crops and Products*, *154*, 112694. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112694>
- Melo, T. S., Pires, T. C., Engelmann, J. V. P., Monteiro, A. L. O., Maciel, L. F., & Bispo, E. da S. (2021). Evaluation of the content of bioactive compounds in cocoa beans during the fermentation process. *Journal of Food Science and Technology*, *58*(5), 1947–1957. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04706-w>
- Mexis, S. F., Badeka, A. V., Riganakos, K. A., & Kontominas, M. G. (2010). Effect of active and modified atmosphere packaging on quality retention of dark chocolate with hazelnuts. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *11*(1), 177–186. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.09.001>
- Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2017). Chemistry of Essential Oils and Factors Influencing Their Constituents. In *Soft Chemistry and Food Fermentation* (pp. 379–419). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811412-4.00013-8>
- Muhammad, D. R. A., Lemarcq, V., Alderweireldt, E., Vanoverberghe, P., Praseptianga, D., Juvinal, J. G., & Dewettinck, K. (2020). Antioxidant activity and quality attributes of white chocolate incorporated with *Cinnamomum burmannii* Blume essential oil. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(5), 1731–1739. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04206-6>
- Muhammad, D. R. A., Tuenter, E., Patria, G. D., Foubert, K., Pieters, L., & Dewettinck, K. (2021). Phytochemical composition and antioxidant activity of *Cinnamomum burmannii* Blume extracts and their potential application in white chocolate. *Food Chemistry*, *340*, 127983. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127983>
- Official, A. O. A. C. (2000). *Methods of analysis of AOAC International* (AOAC International, Ed.; AOAC International).
- Popov-Raljić, J., & Laličić-Petronijević, J. (2009). Sensory Properties and Color Measurements of Dietary Chocolates with Different Compositions During Storage for Up to 360 Days. *Sensors*, *9*(3), 1996–2016. <https://doi.org/10.3390/s90301996>
- Praseptianga, D., Invicta, S. E., & Khasanah, L. U. (2019). Sensory and physicochemical characteristics of dark chocolate bar with addition of cinnamon (*Cinnamomum burmannii*) bark oleoresin microcapsule. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(9), 4323–4332. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03901-8>

- Puputti, S., Aisala, H., Hoppu, U., & Sandell, M. (2019). Factors explaining individual differences in taste sensitivity and taste modality recognition among Finnish adults. *Journal of Sensory Studies*, 34(4). <https://doi.org/10.1111/joss.12506>
- Quispe-Sanchez, L., Mestanza, M., Oliva-Cruz, M., Rimarachín, N., Caetano, A. C., Chuquizuta, T., Goñas, M., Ambler Gill, E. R., & Chavez, S. G. (2023). Oxidative stability and physicochemical changes of dark chocolates with essential oils addition. *Heliyon*, 9(7), e18139. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18139>
- Rahayu, I., Casey Christiany, & Susana Elya Sudrajat. (2021). The Potency of *Cinnamomum Zeylanicum* to Prevent Diseases: a Review. *Eureka Herba Indonesia*, 2(1), 52–62. <https://doi.org/10.37275/ehi.v2i1.11>
- Rasuluntari, I. nisa, Muhammad, D. R. A., & Praseptiangga, D. (2016). Panelist acceptance level on milk chocolate bar with cinnamon (*Cinnamomum burmannii*) powder addition. *Nusantara Bioscience*, 8(2), 297–300. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n080226>
- Razavizadeh, B. M., & Tabrizi, P. (2021). Characterization of fortified compound milk chocolate with microcapsulated chia seed oil. *LWT*, 150, 111993. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111993>
- Samanta, S., Sarkar, T., Chakraborty, R., Rebezov, M., Shariati, M. A., Thiruvengadam, M., & Rengasamy, K. R. R. (2022). Dark chocolate: An overview of its biological activity, processing, and fortification approaches. *Current Research in Food Science*, 5, 1916–1943. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.017>
- Silva, M. P., Tulini, F. L., Marinho, J. F. U., Mazzocato, M. C., De Martinis, E. C. P., Luccas, V., & Favaro-Trindade, C. S. (2017). Semisweet chocolate as a vehicle for the probiotics *Lactobacillus acidophilus* LA3 and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BLC1: Evaluation of chocolate stability and probiotic survival under in vitro simulated gastrointestinal conditions. *LWT*, 75, 640–647. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.025>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent (pp. 152–178). [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Tirgarian, B., Yadegari, H., Bagheri, A., Neshagaran, E., Mardani, M., & Farmani, J. (2023). Reduced-fat chocolate spreads developed by water-in-oleogel emulsions. *Journal of Food Engineering*, 337, 111233. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111233>
- Ueda, H. (2021). The philosophy of taste education: Reading Jacques Puisais as a contemporary humanist-gastronome. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100385. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100385>
- Velasco, C., Hyndman, S., & Spence, C. (2018). The role of typeface curvilinearity on taste expectations and perception. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 11, 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2017.11.007>
- Zohreh, D. (2020). Properties of dark chocolate enriched with free and encapsulated chlorogenic acids extracted from green coffee. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.11819>
- Zugravu, C., & Otelea, M. R. (2019). Dark Chocolate: To Eat or Not to Eat? A Review. *Journal of AOAC International*, 102(5), 1388–1396. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0132>