



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DOCTORADO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y SALUD HUMANA

TESIS DOCTORAL

Adición de microencapsulados de extracto de canela
(*Cinnamomum zeylanicum*) en una matriz láctea y su efecto en
síndrome metabólico de conejo (*Oryctolagus cuniculus*)

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y SALUD HUMANA

PRESENTA:

M.C. MARÍA FERNANDA RÍOS PÉREZ

Directora: Dra. Aurora Quintero Lira

Co-director: Dr. Javier Piloni Martini

ASESORES:

Dra. Raquel Cariño Cortés

Dra. Abigail Reyes Munguía

Tulancingo, Hidalgo; junio de 2023

San Agustín, Tlaxiaca, Hgo., 3 julio 2023

ICSa-DCASH-julio 2023

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar

Por este medio se informa que el comité tutorial asignado al M. en C. Maria Fernanda Ríos Pérez con número de cuenta 171484, estudiante del Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana ha terminado el trabajo de tesis titulado "Adición de microencapsulados de extracto de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) en una matriz láctea y su efecto en síndrome metabólico de conejo (*Oryctolagus cuniculus*)", y por lo tanto se autoriza la impresión del documento en extenso propuesto por la estudiante después de haber sido revisado, analizado y evaluado de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 73, VI del Reglamento General de Estudios de Posgrado.

Lo anterior, en función de que, la estudiante realizó todas las correcciones, adiciones y/o modificaciones sugeridas por el comité en la revisión previa con fecha 30 de junio 2023.

Por tal motivo, solicitamos a usted tenga a bien permitir al doctorando dar continuidad al proceso necesario que conlleve a la obtención del grado de Doctor en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana.

DRA. AURORA QUINTERO LIRA

Director de tesis

DR. JAVIER PILONI MARTINI

Co-Director de tesis

DRA. RAQUEL CARIÑO CORTÉS

DRA. ABIGAIL REYES MUNGUÍA

ATENTAMENTE

Pachuca, Hidalgo, 3 de julio del 2023

"Amor, Orden y Progreso"

Dra. Rebeca Ma. Elena Guzmán Saldaña
Director del Instituto de Ciencias de la Salud
Dean

Dra. Lydia López Pontigo
Coordinadora de Posgrado del ICSa
Director of Graduate Studies of ICSa

Dra. Guadalupe López Rodríguez
Jefa del Área Académica de Nutrición
Chair of Academic Area of Nutrition

Dra. Teresita de Jesús Saucedo Molina
Representante del Programa Educativo ICSa
Director of Graduate Studie



ÍNDICE

I RESUMEN	VIII
II INTRODUCCIÓN	1
1.ANTECEDENTES	2
1.1. Síndrome metabólico	2
1.2. Canela	2
1.3. Microencapsulación	6
1.3.1. Tipos de encapsulación	7
1.4. Yogurt	9
1.5. Modelos <i>in vivo</i>	10
2. JUSTIFICACIÓN	11
3. OBJETIVOS	12
3.1. Objetivo general	12
3.2. Objetivos específicos	12
4. HIPOTESIS	12
5. METODOLOGÍA	13
5.1. Diseño experimental	13
6. REFERENCIAS	14
CAPÍTULO 1	23
1.1. Resumen	24
1.2. <i>Introducción</i>	25
1.3. <i>Materiales y métodos</i>	26
1.4. Resultados	27
1.4.1. Características generales de la canela	27
1.4.2. Efecto hipoglucemiante	28
1.4.3. Efecto antiobesogénico	29
1.4.4. Efecto antiinflamatorio	29
1.4.5. Efectos sobre el metabolismo lipídico	30
1.4.6. Efecto antihipertensivo	31
1.4.7. Mecanismos de acción	31
1.5. Conclusiones	33
1.6. Referencias	34
CAPÍTULO 2	47
2.1. Resumen	48

2.2. Introducción	49
2.3. Materiales y métodos	50
2.3.1. Obtención de materias primas y extractos acuosos	50
2.3.2. Caracterización del extracto acuoso	50
2.3.3. Microencapsulación de extracto acuoso	52
2.3.4. Determinaciones fisicoquímicas en la microencapsulación	52
2.3.5. Análisis estadístico	52
2.4. Resultados y discusión	53
2.4.1 Extracto acuoso de <i>Cinnamon zeylanicum</i>	53
2.4.2. Características del extracto acuoso de <i>Cinnamon zeylanicum</i>	53
2.4.3. Microencapsulación de extracto acuoso	59
2.4.4. Características del microencapsulado de <i>Cinnamon zeylanicum</i>	61
2.5. Conclusión	62
2.6. Referencias	63
CAPÍTULO 3	70
3.1. Resumen	70
3.2. Introducción	71
3.3. Materiales y métodos	71
3.3.1. Elaboración del yogurt	71
3.3.2. Caracterización fisicoquímica	72
3.3.3. Análisis microbiológicos	73
3.3.4. Análisis químico proximal	73
3.3.5. Cuantificación de fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante	73
3.3.6. Bioaccesibilidad intestinal	74
3.3.7. Análisis sensorial	74
3.3.8. Inducción del Síndrome Metabólico	74
3.3.8.1. Características de la dieta y agua	75
3.3.8.2. Mediciones morfológicas	76
3.3.8.3. Sacrificio	77
3.3.8.4. Análisis bioquímicos	77
3.3.8.5. Lipoperoxidación de hígado y corazón	77
3.3.9. Análisis estadístico	78
3.4. Resultados	78
3.4.1. Caracterización fisicoquímica	78

3.4.2. Textura	80
3.4.3. Análisis microbiológico	82
3.4.4. Análisis químico proximal	83
3.4.5. Compuestos y capacidad antioxidante	84
3.4.6. Bioaccesibilidad intestinal	86
3.4.7. Análisis sensorial	87
3.4.8. Modelo <i>in vivo</i>	89
3.4.8.1. Resultados dietéticos	89
3.4.8.2. Bioquímicos	91
3.4.8.3. Morfológicos	96
3.4.9. Lipoperoxidación de hígado y corazón	98
3.5. Conclusión	99
3.6. Referencias	100
CAPÍTULO 4	111
4.1. Resumen	111
4.2. Introducción	112
4.3. Materiales y métodos	113
4.3.1. Diseño experimental	113
4.3.2. Alimentación	113
4.3.3. Mediciones de factores productivos	113
4.3.4. Sacrificio	114
4.3.5. Canal caliente	114
4.3.6. Canal fría	114
4.3.7. Caracterización fisicoquímica de la canal	115
4.3.8. Análisis de perfil de textura	115
4.4. Análisis estadístico	115
4.5. Resultados y discusión	116
4.6. Conclusión	125
4.7. Referencias	125
7. CONCLUSIONES	131

Índice de Tablas

1.ANTECEDENTES

Tabla 1. Especies principales de canela	3
---	---

Capítulo 1

Tabla 1. Estudios reportados con intervención de canela <i>in vivo</i> , <i>in vitro</i> y ensayos clínicos	27
---	----

Capítulo 2

Tabla 1. Efecto del método y tiempo de extracción sobre la actividad antioxidante del extracto acuoso de canela	53
---	----

Tabla 2. Propiedades antioxidantes y tamizaje fitoquímico de microencapsulados obtenidos con decocción	59
--	----

Tabla 3. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante del extracto de canela microencapsulado con una matriz diferente	61
--	----

Tabla 4. Características fisicoquímicas del microencapsulado de <i>Cinnamomum zeylanicum</i>	62
--	----

Capítulo 3

Tabla 1. Formulación de dieta y agua	76
--------------------------------------	----

Tabla 2. Composición de las dietas de los conejos	76
---	----

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de yogurt	79
--	----

Tabla 4. Textura de yoghurt con Microencapsulados <i>Czeylanicum</i>	82
--	----

Tabla 5. Análisis microbiológico de yogur con microencapsulados de <i>Czeylanicum</i>	83
---	----

Tabla 6. Análisis Químico Proximal de yogur con microencapsulados de <i>Czeylanicum</i>	84
---	----

Tabla 7. Actividad antioxidante de yogurt con microencapsulados de <i>Czeylanicum</i>	86
---	----

Tabla 8. Bioaccesibilidad antioxidante de yogurt con microencapsulados de <i>Czeylanicum</i>	87
--	----

Tabla 9. Evaluación sensorial de muestras de yogurt	89
---	----

Tabla 10. Consumo de Alimento en Kilocalorías	90
---	----

Tabla 11. Consumo de Agua en kilocalorías	91
---	----

Tabla 12. Ganancia de peso	97
----------------------------	----

Tabla 13. Circunferencia de cintura	98
-------------------------------------	----

Tabla 14. Lipoperoxidación de hígado y corazón	99
--	----

Capítulo 4

Tabla 1. Ganancia diaria de peso de los conejos	117
Tabla 2. Consumo de alimento de los conejos	118
Tabla 3. Conversión alimenticia de los conejos	119
Tabla 4. Características de la canal caliente de los conejos	120
Tabla 5. Características de la canal fría de los conejos	122
Tabla 6. Características de la carne de los conejos	124
Tabla 7. Análisis de perfil de textura en lomos de conejos	125

Índice de Figuras

1.ANTECEDENTES

Figura 1. Mecanismos propuestos de la canela sobre comorbilidades de SM	5
---	---

5.METODOLOGÍA

Figura 2. Diagrama de diseño experimental	13
---	----

Capítulo 1

Figura 1. Portada de artículo de revisión publicado	23
---	----

Figura 2. Mecanismos de acción de los compuestos bioactivos de la canela en las comorbilidades de diabetes, obesidad e inflamación (Autoría propia)	32
---	----

Figura 3. Mecanismos de acción de los compuestos bioactivos de la canela en las comorbilidades de hiperlipidemia e hipertensión. (Autoría propia)	33
---	----

Capítulo 2

Figura 1. Portada artículo original publicado	47
---	----

Capítulo 3

Figura 1a. Glucosa mmol/L	92
---------------------------	----

Tabla 1b. Colesterol mmol/L	92
-----------------------------	----

Tabla 1c. Triglicéridos mmol/L	92
--------------------------------	----

Tabla 1d. Lipoproteínas de alta densidad (HDL)	92
--	----

Tabla 1e. Lipoproteínas de baja densidad (LDL)	92
--	----

Tabla 1f. Índice aterogénico	92
------------------------------	----

ANEXOS

Figura 1. Constancia 1er foro de trabajos de investigación en Ciencias de los alimentos y salud humana	132
--	-----

Figura 2. Constancia XIV Congreso Internacional sobre Inocuidad, calidad y funcionalidad de los alimentos en la industria y servicios de la alimentación	133
--	-----

Figura 3. Constancia XVIII Encuentro Nacional de Cunicultura	134
--	-----

Figura 4. Constancia 3er Foro de trabajos de investigación en Ciencias de los alimentos y salud humana	135
--	-----

Figura 5. Constancia 1era Estancia Nacional en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí	136
---	-----

Figura 6. Constancia 2da Estancia Nacional en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí	137
--	-----

I RESUMEN

El síndrome metabólico es un conjunto de alteraciones metabólicas, relacionadas con aumento del riesgo de diabetes y mortalidad cardiovascular. Investigaciones científicas han demostrado que los tratamientos a base de plantas medicinales disminuyen las comorbilidades del síndrome metabólico, como es el caso de la canela (*Cinnamomum*), que presenta compuestos bioactivos antioxidantes, antidiabéticos y cardioprotectores; sin embargo su biodisponibilidad es baja debido a la labilidad ambiental de los agentes benéficos, motivo por el cual no son aprovechados en la industria alimentaria, por lo que la técnica de microencapsulación es una alternativa viable para mejorar su biodisponibilidad, incorporándose en productos alimenticios, como el yogurt el cual es considerado como un vehículo viable para los microencapsulados. Por lo que la siguiente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto y características fisicoquímicas, nutraceuticas, sensoriales y actividad biológica de un yogurt adicionado con microencapsulados de extracto de canela de la especie (*Cinnamomum zeylanicum*) sobre un modelo animal con inducción de síndrome metabólico. Para determinar este efecto el estudio constó de cuatro etapas, en la primera se realizó un extracto acuoso, su caracterización fisicoquímica y determinación de propiedades antioxidantes, en la segunda etapa se microencapsulo el extracto acuoso de canela, determinando sus propiedades antioxidantes, en la tercer etapa se elaboró el yogurt para beber adicionado con los microencapsulados, evaluando sus características fisicoquímicas, propiedades antioxidantes, análisis microbiológico, análisis proximal y evaluación sensorial y en la cuarta etapa se realizó prueba de bioaccesibilidad *in vitro*, evaluación del efecto de los microencapsulados sobre síndrome metabólico en un modelo *in vivo* en conejo, determinando parámetros morfológicos, bioquímicos, dietéticos, índice aterogénico y lipoperoxidación en hígado y corazón.

Palabras clave: microencapsulación, proantocianidinas y cinamaldehído, yogurt, pruebas *in vitro* e *in vivo* y síndrome metabólico.

II INTRODUCCIÓN

La canela está clasificada como una planta medicinal en muchos países del mundo (1), además de ser considerada como la especia más antigua y de mayor uso, ya que ha sido utilizada para diferentes prácticas y por diversas culturas desde hace miles de años. En la actualidad se encuentran documentadas 300 especies, las cuales se pueden encontrar en países con regiones tropicales y subtropicales, frecuentemente en la región asiática, América del Sur, América Central y Australia (2). Basado en la evidencia científica reciente la canela posee una diversidad de efectos benéficos para la salud, como protector cardiovascular y reducción de complicaciones en el síndrome metabólico, debido a sus efectos hipoglucémicos, antioxidantes, antiinflamatorios y disminución del perfil lipídico (3,4). Estos efectos se deben a los compuestos bioactivos contenidos en la canela (5) principalmente antioxidantes como las proantocianidinas, cumarina, cinamaldehído, eugenol, ácido cinámico, polifenoles, flavonoides, glucósidos y taninos (5–9). Sin embargo, la actividad es susceptible a la degradación provocada por luz, oxígeno, temperatura, humedad y la existencia de enlaces insaturados en las estructuras moleculares. Por lo tanto, la microencapsulación es una tecnología alternativa que mejora el almacenamiento, estabilidad química y la biodisponibilidad de compuestos bioactivos, además de enmascarar el sabor amargo y astringencia de los polifenoles presentes en la canela (10). Actualmente existe un creciente interés en la incorporación de micropartículas de antioxidantes naturales en productos alimenticios, así como la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y aceptación del consumidor por estos alimentos. Sin embargo, no existen estudios suficientes, que comprueben los efectos bioactivos e interacción con alimentos (11), por lo que hay escasez de estudios *in vitro*, *in vivo* y clínicos que reporten los efectos sobre síndrome metabólico. Por lo cual es necesaria la realización de investigaciones teniendo en cuenta la evaluación y determinación de dichos parámetros.

1. ANTECEDENTES

1.1. Síndrome metabólico

El síndrome metabólico (SM) es un conjunto de alteraciones metabólicas causadas por la combinación de factores genéticos y ambientales, principalmente por una mala alimentación e inactividad física, se relaciona con aumento del riesgo de diabetes, enfermedad coronaria, cerebrovascular, e incremento de la mortalidad cardiovascular (12), incluye obesidad central, presión arterial elevada, intolerancia a la glucosa, resistencia a la insulina y dislipidemia (3), por lo que para su diagnóstico se considera presentar al menos 3 o más de los siguientes criterios: circunferencia de la cintura >102 para los hombres y >88 en mujeres, presión alta, niveles altos de glucosa en ayunas (Diabetes), triglicéridos y bajos niveles de lipoproteínas de alta densidad (13). Sus síntomas se han relacionado con el estrés oxidativo que junto con la inflamación crónica inducida por una dieta alta en carbohidratos y alta en grasas pueden iniciar cambios en la estructura y función cardiovascular como disfunción endotelial, hipertrofia cardíaca, fibrosis cardíaca y disfunción contráctil ventricular (14). La prevalencia de este padecimiento en niños y adolescentes comprende de un 37.5 a 54.5 % (15), mientras que en adultos es del 52.3 % (16). Por lo que las enfermedades no transmisibles representan uno de los mayores retos que enfrenta el sistema de salud de México debido a su creciente aumento como causa de mortalidad e incapacidad laboral, así como la complejidad y costo elevado de su tratamiento (17).

Muchos estudios han demostrado que tratamientos a base de plantas medicinales o sus extractos son útiles en la disminución de las comorbilidades del síndrome metabólico, debido a sus propiedades terapéuticas, de menor costo, mayor aceptación por el consumidor y con menores efectos secundarios (18), por lo que diferentes estudios se basan en identificar los mecanismos de la actividad hipoglucémica e hipolipemiante que son tan cruciales en el SM (19,20).

1.2. Canela

La canela es una especia comercializada como vara o polvo (21) obtenida de la corteza seca de los árboles del género *Cinnamomum* (22), se compone de

aproximadamente 250 especies en las regiones tropicales y subtropicales de Asia, América del Sur y Australia (23). Comprende cuatro especies principales, las cuales se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Especies principales de canela

Especie	Origen	Características	Foto
<i>zeylanicum</i> <i>/ verum</i>	Sri Lanka y Ceilán	Color tenue, textura y sabor suave, de consistencia fina y quebradiza.	
<i>cassia /</i> <i>aromaticum</i>	Vietnam	Color marrón rojizo y tostado, sabor intenso, ligeramente picante.	
<i>burmannii</i>	Java e Indonesia	Color marrón con toques de rojo, sabor ligeramente picante.	
<i>loureiroi /</i> <i>Saigón</i>	Vietnam y Saigón	Color marrón oscuro tostado, sabor dulce y ligeramente picante.	

Fuente:(2,9,24).

La especia de canela se utiliza en todo el mundo (25) para mejorar el sabor en alimentos, bebidas y como un estimulante digestivo (8). Proporciona proteínas, fibra, componentes volátiles, vitaminas (A, B, K y C), minerales como potasio, calcio,

sodio, magnesio, manganeso, fósforo, colina, nitrógeno, cobre, hierro y zinc (26). Contiene una alta cantidad de antioxidantes que eliminan especies reactivas de oxígeno como los aniones superóxido, radical hidroxilo y otros radicales libres (8,25) como son fenoles (proantocianidinas), glucósidos y taninos (7), además de compuestos bioactivos a los cuales se les han comprobado los efectos en la salud humana entre los que se incluyen: aumento del flujo sanguíneo, efecto en cáncer como antimutagénico y antitumoral, hipoglucemiante, antidiabético, hipolipemiante, antimicrobiano (microbios, bacterias y hongos), trastornos digestivos (diarrea y flatulencias), problemas respiratorios (asma y bronquitis), infecciones, regeneración de tejidos, antiinflamatoria, hepatoprotectora y pérdida de peso (2,5,27–36). Su composición química y los compuestos bioactivos, difieren entre especies, partes de la planta (corteza, raíz y hojas), condiciones de crecimiento, tiempos de cosecha, propiedades del suelo, clima, origen, condiciones ambientales y parámetros geográficos (2,21,37).

La canela tiene efecto potencial en la reducción de las complicaciones del síndrome metabólico debido a sus efectos antidiabéticos, antioxidantes, antiinflamatorios e hipolipemiantes, sin embargo, el mecanismo de acción en el tratamiento de estas patologías aún no está claro (38), aunque se han propuesto ciertos modelos que podrían explicar su acción, los cuales se simplifican en la Figura 1, en la cual se muestra que la acción antidiabética se debe principalmente como receptor de insulina, transportador de glucosa, péptido similar al glucagón, activador de PPAR α y PPAR γ , inhibidor de gluconeogénesis, regenerando células β dañadas en el páncreas y estimulando la captación de glucosa por receptores GLUT-4 (11,29,39–42). También se han planteado mecanismos relacionados a su efecto hipolipemiante actuando de manera similar a las estatinas mediante la Inhibición de la enzima HMG-CoA reductasa y por ende de la síntesis de colesterol, así como mejorando la producción posprandial de lipoproteínas apoB48, aumentando la expresión de genes que regulan positivamente el colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y genes que contribuyen en la oxidación de lípidos y carbohidratos (29,42–45). El efecto antiobesogénico se atribuye a la inhibición de la diferenciación de adipocitos, efectos sobre absorción de lípidos intestinales, inducción de

oxidación de ácidos grasos y antagonismo en los receptores de cannabinoides, así como a la regulación positiva de la biogénesis mitocondrial en las células del músculo esquelético (39,46).

El potencial antiinflamatorio radica en la inhibición de producción de óxido nítrico y factor de necrosis tumoral (TNF- α) (47) y al potencial de eliminación de radicales libres, mejorando los biomarcadores antiinflamatorios (48,49). El efecto antihipertensivo se ha atribuido a el engrosamiento de las arterias como respuesta a la resistencia a la insulina (50), o a la inhibición de la conversión de la enzima angiotensina activando una serie de reacciones del sistema renina-angiotensina-aldosterona, con lo que disminuye la presión arterial mediante la inducción de la vasodilatación periférica (51,52).

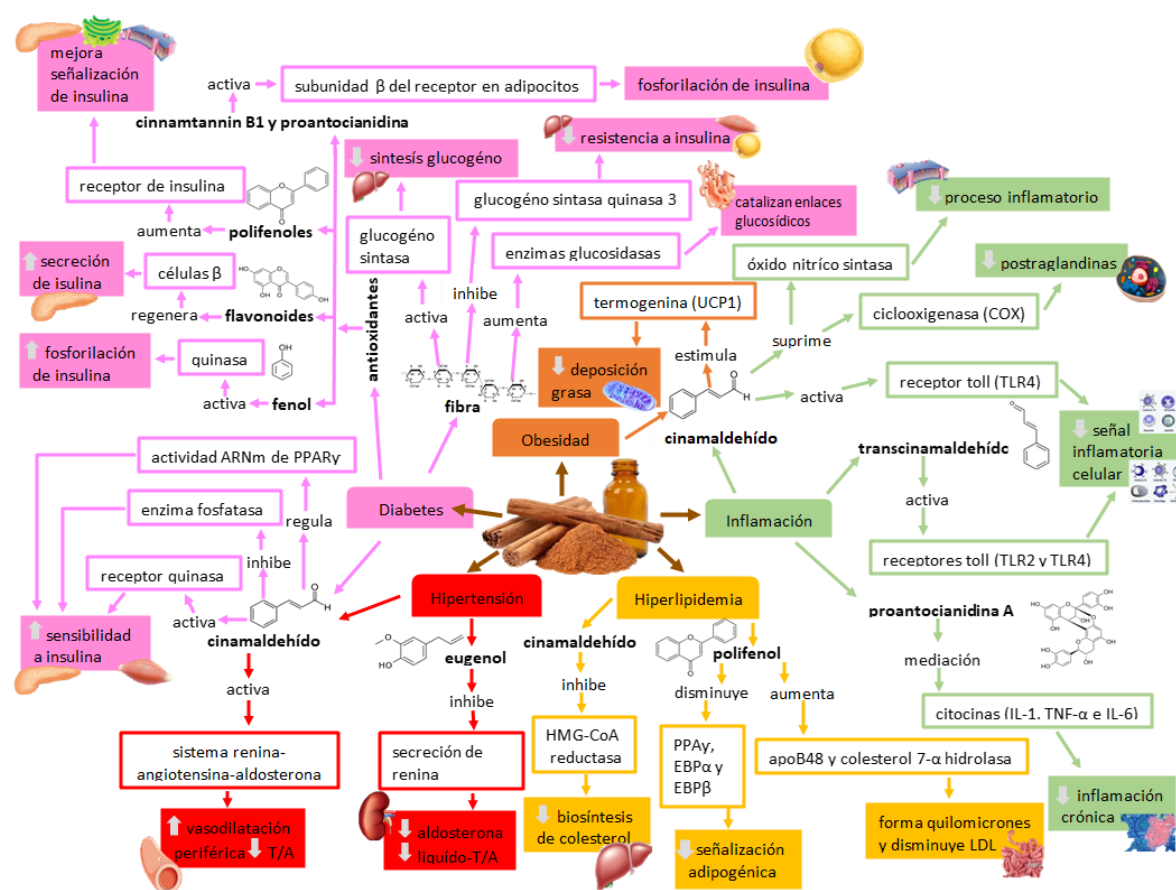


Figura 1. Mecanismos propuestos de la canela sobre comorbilidades de SM

La Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos declaró que la canela es considerada como segura (GRAS). Además, estudios realizados sobre su

toxicidad (1,53–56) indican que es un ingrediente seguro para usar en alimentos y está permitido como conservante en la mayoría de los países con efectos protectores contra toxinas naturales y químicas. Esta especia puede ser adquirida por los consumidores en forma líquida como un extracto acuoso o aceite, en vara seca y en polvo resultante de un proceso de molienda (21). Para su consumo diario en humanos es preferible un extracto acuoso en forma de infusión o decocción, lo que permite la ingesta de un mayor contenido de compuestos bioactivos (22).

La aplicación de la canela en la industria alimentaria es limitada (57), debido a que estos compuestos sufren reacciones de degradación por factores externos como calor, luz y oxígeno causando baja disponibilidad y alta susceptibilidad al almacenamiento, además de otorgar un sabor amargo y fuerte con sensación de astringencia ocasionada por la precipitación de proteínas salivales en la boca (8,58). En el caso del extracto acuoso este debe ser consumido inmediatamente debido a que los compuestos fenólicos se pueden polimerizar volviéndose insolubles, perdiendo sus actividades antioxidantes durante el almacenamiento (22), presentando baja biodisponibilidad oral (59).

1.3. Microencapsulación

La microencapsulación es una técnica en la cual se encapsulan materiales sólidos, líquidos o gaseosos con una película continua como recubrimiento para formar cápsulas de tamaño de micrómetro a milímetro (micropartícula) (10), utilizado principalmente en extractos y compuestos bioactivos como: enzimas, pigmentos, minerales y vitaminas, los cuales al ser encapsulados dentro de un polímero son protegidos contra la acción de agentes atmosféricos como luz, humedad, calor, pH y oxígeno, manteniendo su estabilidad, aumentando su biodisponibilidad y vida útil, durante el procesamiento y almacenamiento evitando interacciones alimentarias, disminuyendo degradación por oxidación o hidrólisis, enmascarando sabores u olores y permitiendo una liberación controlada y dirigida, siendo incorporados en una matriz alimenticia (57–62). Su tamaño puede clasificarse como: macro (> 5000 mm), micro (1.0 - 5000 mm) y nano (<1.0 mm), el cual influye en las aplicaciones alimentarias, principalmente en las propiedades sensoriales de textura, por lo que

la presencia de partículas mayor de 30 mm puede inducir una textura arenosa (57). La principal función de la incorporación de ingredientes bioactivos en alimentos funcionales es mantener los componentes estables y liberarlos en el sitio de absorción ofreciendo oportunidades para la industria de alimentos funcionales (63), desde cárnicos (64,65), pan (66,67) y productos lácteos (62,68), por mencionar algunos.

1.3.1. Tipos de encapsulación

De acuerdo con Tyagi et al. (69), las técnicas de microencapsulación se clasifican en métodos físicos que incluyen el secado por pulverización, liofilización, precipitación de fluido supercrítico y evaporación de solvente. Métodos fisicoquímicos (coacervación, liposomas y gelificación iónica) y métodos químicos polimerización interfacial y formación de complejos de inclusión molecular.

El secado por pulverización o aspersion es una técnica relacionada con la atomización de un líquido en una corriente de gas caliente para obtener un polvo instantáneamente, por medio de un inyector que incluye una corriente de gas de secado caliente (70), utiliza goma arábica, ciclodextrinas y maltodextrina con diferentes valores equivalentes de dextrosa, proteínas de suero de leche, caseinato de sodio, proteínas de soja y otras que incluyen almidón modificado, gelatina, goma gelana y quitosano como materiales de pared. Se aplica para sabores, colores, vitaminas, minerales, grasas y aceites. Sus principales ventajas son que es una técnica rápida, continua, simple, económica y reproducible, sin embargo, se lleva a cabo a altas temperaturas, dañando compuestos termolábiles como: licopeno, β -caroteno, antocianinas, vitamina C, colores y sabores. Además, puede presentar pérdidas de partículas por adhesión en la pared del recipiente de secado (71). Es la técnica más utilizada en la industria de alimentos, debido a la simplicidad del proceso (60), bajo costo, flexibilidad de operación continua, alta estabilidad del producto final (debido al bajo contenido de humedad), reducción de volumen, facilidad de manipulación, transporte y almacenamiento de las partículas. Por lo que es ampliamente utilizado para la encapsulación a gran escala de varias sustancias

como antibióticos, ingredientes médicos, aditivos, vitaminas, polifenoles, entre otros (57).

1.3.2. Materiales de recubrimiento

Las propiedades fisicoquímicas, la eficiencia de encapsulación y estabilidad de las micropartículas están determinadas por el material de recubrimiento, el cual debe ser compatible con el núcleo o material a encapsular, además de ser aceptado para su uso en la industria alimentaria. Por lo cual el material de recubrimiento debe formar una película cohesiva con el material del núcleo; permitir la estabilización del material interno en el núcleo y proporcionar estabilidad, resistencia y flexibilidad, además de permitir la liberación controlada bajo ciertas condiciones (57,68).

Los materiales de pared más utilizados en la industria alimentaria de acuerdo con Aguiar et al. (57) incluyen: carbohidratos (almidón, maltodextrinas, quitosano, dextrano, almidón modificado, ciclodextrinas), celulosa (carboximetilcelulosa, metilcelulosa, etilcelulosa), gomas (goma arábica, agar, alginato de sodio, carragenina), lípidos (cera, parafina, cera de abejas, aceites, grasas) y proteínas (gluten, caseína, gelatina, albúmina, péptidos, proteína de suero, proteína de soja). El paso final de la microencapsulación es su incorporación directa en productos alimenticios, como un aditivo presentando un efecto benéfico para la salud, generando un alimento o bebida funcional, incorporándose en productos de panadería, cereales, lácteos, productos cárnicos, gomas, dulces, pastas y jugos. Sin embargo, el proceso de adición afecta la composición fisicoquímica y las propiedades sensoriales del alimento original (57) a través de las interacciones de los compuestos bioactivos y la matriz alimentaria que los contiene (60). Por lo tanto, se deben añadir a un alimento sensorialmente aceptable, garantizando la biodisponibilidad del compuesto bioactivo, evitando las interacciones con los alimentos, permitiendo una mayor absorción del compuesto y por ende un efecto benéfico al organismo (57). Este método puede considerarse como una opción de incorporar canela en los sistemas alimentarios con una alta aceptabilidad del consumidor (1). Debido a su potencial bioactivo, la canela se ha utilizado para mejorar la actividad antioxidante de alimentos como café, chocolate y yogur (59).

1.4. Yogurt

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana el yogurt comprende al producto obtenido tras la fermentación de la leche, a través de la acción de microorganismos *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subespecie bulgaricus*, teniendo como resultado la reducción del pH (72). Nutricionalmente es fuente de calcio, fósforo, zinc, vitaminas del complejo B y facilita el proceso digestivo, es el alimento lácteo más consumido a nivel mundial, comprende el segundo grupo de alimentos recomendables para consumo cotidiano, después del agua (73). Es un producto con buenas propiedades organolépticas y nutricionales (74,75), que los consumidores de todas las edades asocian con propiedades benéficas para la salud, presenta un precio accesible y es de fácil transporte, lo que permite su incorporación en la alimentación diaria (73,76), además presenta sistemas de suministro dietético para antioxidantes durante su procesamiento y almacenamiento (68,77–79), razón por la cual existe un gran interés en incorporar antioxidantes y demás compuestos bioactivos en bebidas lácteas proporcionando un valor agregado debido a la cantidad de nutrientes que podría otorgar, mejorando las propiedades sensoriales, estabilidad, aumento de vida útil (80) y la promoción de efectos benéficos en el organismo (57,76). Instituciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y los Alimentos (FAO) incitan a la modificación de alimentos naturales para la obtención de productos más saludables, (81), los cuales además de aportar los nutrientes básicos, deben contener compuestos con efectos benéficos para la salud del consumidor (82). Se han desarrollado yogures funcionales con la adición de microencapsulados de antioxidantes de origen natural con el objetivo de proporcionar color y compuestos bioactivos (62,68,83), sin embargo, aún existe poca información sobre su estabilidad, biodisponibilidad y actividad biológica de los compuestos bioactivos microencapsulados adicionados en productos lácteos, cuyo desarrollo debe ser una prioridad para responder a los problemas actuales de salud global. La larga lista de efectos fisiológicos beneficiosos de la canela respalda que puede ser considerado como un ingrediente bioactivo viable para convertirse en un producto alimenticio funcional, innovador y

tecnológicamente factible para incorporarse en la dieta humana (84). Sin embargo, aún se requieren de investigaciones que incluyan estudios *in vitro*, *in vivo* y estudios clínicos, que respalden la creación de alimentos funcionales que promuevan la salud humana en base de canela.

1.5 Modelo *in vivo*

Los modelos experimentales *in vivo* sirven para comprender los diversos procesos fisiopatológicos asociados al síndrome metabólico (85), por lo que para poder evaluar el efecto de cualquier tratamiento se debe hacer a través de los cambios a nivel histológico, fisiológico y bioquímico, por lo que es necesario utilizar un modelo animal que represente los signos clínicos humanos, para poder dilucidar los mecanismos involucrados en la fisiopatología y que nos permita evaluar estos cambios (86). Se han utilizado varios modelos animales para el estudio del síndrome metabólico como son: cerdos, conejos, perros, pez cebra y primates, sin embargo, se debe elegir aquel modelo que mejor se adapte a la línea de investigación del síndrome metabólico y que se pueda extrapolar al modelo humano (85). En laboratorios principalmente se utilizan los modelos de roedores siendo la rata la de mayor uso, sin embargo, presentan inconvenientes debido a que no desarrollan todos los signos presentes en el síndrome metabólico humano, por lo que su utilización no sería muy viable. Por el contrario, el conejo presenta mayor similitud con la fisiología humana, debido principalmente a que son susceptibles a las dietas ricas en grasas y tienen perfiles altos de proteína de transferencia de lípidos plasmáticos (CETP) y de lipoproteínas de baja densidad (LDL), similares a los de los humanos, por lo que desarrollan rápidamente cambios bioquímicos y vasculares (86), imitando factores específicos del estilo de vida que presentan los seres humanos (85). Por lo que la experimentación del síndrome metabólico en conejos representa un modelo traslacional para el estudio del síndrome metabólico y otras enfermedades ateroscleróticas.

2. JUSTIFICACIÓN

El síndrome metabólico se presenta en un 53 % de la población mexicana, lo que aumenta el riesgo de padecer diabetes, enfermedades cardiovasculares e incrementar la mortalidad e incapacidad laboral, cuyo tratamiento es de por vida e implica el uso de fármacos que producen daños secundarios. Por lo que representa un problema de salud, razón por la que se requiere una alternativa terapéutica, principalmente a base de plantas medicinales. La evidencia científica reciente ha demostrado que la canela tiene potencial en el tratamiento y prevención de enfermedades crónicas, principalmente por su efecto antidiabético y su acción hipolipemiente, sugiriendo un efecto benéfico contra las comorbilidades del síndrome metabólico. Derivado del efecto de los compuestos bioactivos presentes, principalmente polifenoles, los cuales son muy susceptibles a su degradación por factores externos como la luz, el oxígeno y temperatura, motivo por el cual su utilización en la industria alimentaria y farmacéutica es limitada. La técnica de microencapsulación es una alternativa que protege a los compuestos de los factores externos evitando su degradación mediante la encapsulación con una cubierta polimérica que los vuelve más estables, permitiendo su incorporación en alimentos para integrarse fácilmente en la dieta. El yogurt presenta un alto potencial de adición debido a su aporte nutrimental, consumo por todos los grupos de edad y etapas fisiológicas, así como la percepción del consumidor como un alimento saludable, lo que lo ubica en el segundo lugar de bebidas de mayor consumo por la población mexicana. Para dilucidar el mecanismo de acción en los diferentes órganos y sistemas, es necesaria la elección de un modelo experimental que reproduzca los principales componentes del SM humano y el ratón difiere en el metabolismo de los lípidos, por lo que el modelo animal de conejo presenta similares cambios fisiopatológicos y bioquímicos. En la actualidad no existe evidencia científica reportada de la evaluación del efecto en un modelo *in vivo* de conejo imitando la patogénesis humana de síndrome metabólico inducido mediante la alimentación con microencapsulados de polifenoles de canela, adicionados a un alimento lácteo, evidenciando un campo de oportunidad de estudio aún sin abordar.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto y características fisicoquímicas, nutraceuticas y actividad biológica de un yogurt adicionado con microencapsulados de extracto de canela de la especie (*Cinnamomum zeylanicum*) sobre un modelo animal de conejo (*Oryctolagus cuniculus*) con inducción de síndrome metabólico.

3.2. Objetivos específicos

1. Establecer la técnica de extracción acuosa de canela (*Cinnamomum zeylanicum*), a través de actividad antioxidante y realizar su caracterización fisicoquímica y tamiz fitoquímico.
2. Determinar la concentración de maltodextrina y goma arábica de acuerdo a la concentración de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante, para microencapsular con mini spray drying el extracto de canela.
3. Realizar la caracterización fisicoquímica de la formulación de microencapsulados con mayor actividad y capacidad antioxidante a través de su determinación.
4. Desarrollar un yogurt para beber con la adición de los microencapsulados y su caracterización fisicoquímica, análisis microbiológico, análisis químico proximal, actividad y capacidad antioxidante.
5. Evaluar el efecto del microencapsulado en una matriz de yogurt para beber en un modelo animal de conejo (*Oryctolagus cuniculus*) con inducción de síndrome metabólico.

4. HIPÓTESIS

La adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) en un yogurt para beber, disminuirá los parámetros de síndrome metabólico (dietéticos, bioquímicos y morfológicos) en conejo (*Oryctolagus cuniculus*).

5. METODOLOGÍA

5.1. Diseño experimental

Como se muestra en la Figura 2, el estudio constó de cuatro etapas, la primera consistió en el desarrollo de un extracto acuoso de canela de la especie (*Cinnamomum zeylanicum*) mediante decocción por 5 min., su caracterización fisicoquímica, determinación de compuestos antioxidantes (fenoles totales), capacidad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP) y tamiz fitoquímico. La segunda etapa comprendió la microencapsulación de este extracto, al se le determino su actividad y capacidad antioxidante, caracterización fisicoquímica (humedad, solubilidad, ° Brix, color, pH y densidad volumétrica). La tercera etapa contempló la elaboración de un yogurt para beber adicionado con los microencapsulados, evaluando sus características fisicoquímicas que incluyen pH, acidez titulable, color, viscosidad aparente y actividad de agua, así como un análisis microbiológico, análisis químico proximal, bioaccesibilidad *in vitro* y análisis sensorial. La cuarta etapa incluyó la evaluación del efecto de los microencapsulados sobre un modelo animal con inducción de síndrome metabólico, determinando parámetros dietéticos, bioquímicos y morfológicos, lipoperoxidación en hígado / corazón y la evaluación de la canal obtenida.

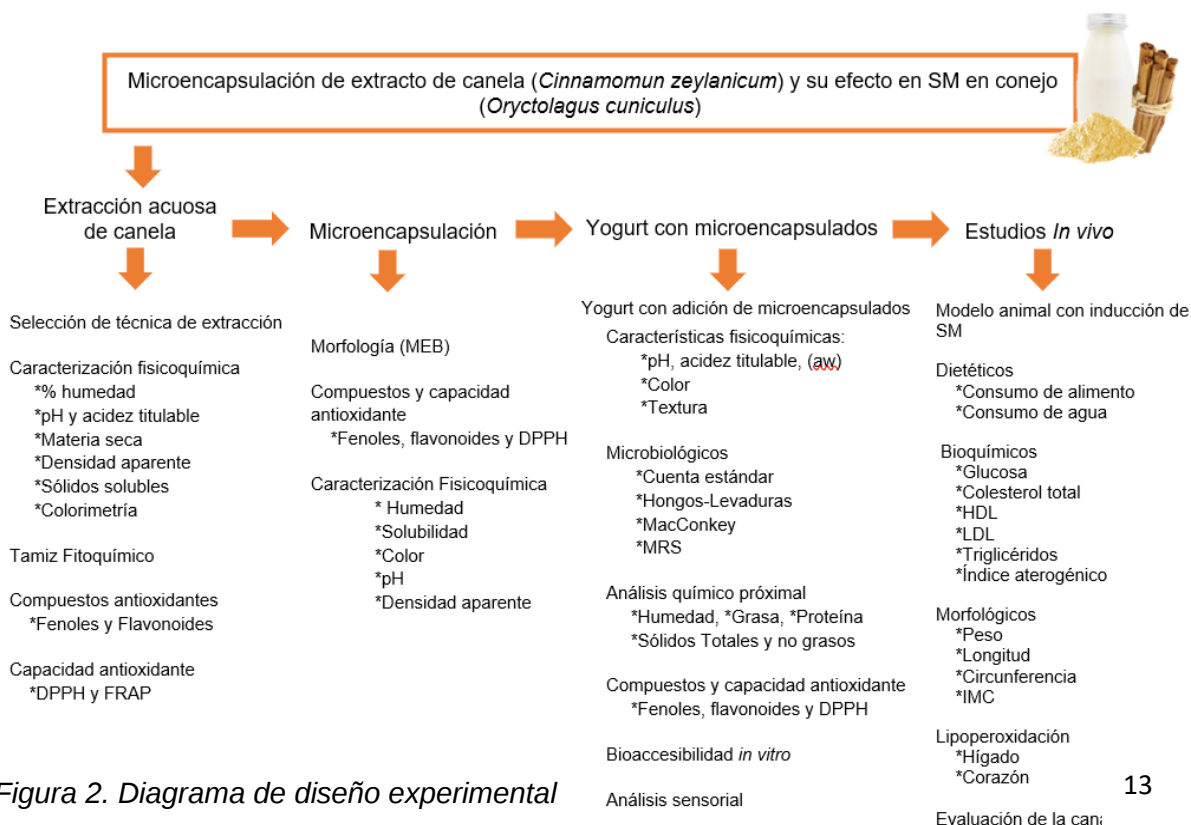


Figura 2. Diagrama de diseño experimental

6. REFERENCIAS

1. Muhammad DRA, Dewettinck K. Cinnamon and its derivatives as potential ingredient in functional food—A review. *Int J Food Prop.* 2017; 20:1–27. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1369102>.
2. Kumar S, Kumari R, Mishra S. Pharmacological properties and their medicinal uses of Cinnamomum: a review. *Journal of Pharmacy and Pharmacology.* 2019; 71(12):1735–61. <https://doi.org/10.1111/jphp.13173>.
3. Mollazadeh H, Hosseinzadeh H. Cinnamon effects on metabolic syndrome: A review based on its mechanisms. *Iran J Basic Med Sci.* 2016;19(12):1258–70. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2016.7906>.
4. Balijepalli MK, Buru AS, Sakirolla R, Pichika MR. Cinnamomum genus: A review on its Biological Activities. *Int J Pharm Pharm Sci.* 2017; 9:1–11. <https://doi.org/10.22159/ijpps.2017v9i2.11156>.
5. Abou Khalil R, Rayane BA, Doumit S, Bitar J, Nasser R, Khoury E. Cinnamaldehyde and cinnamic acid from cinnamon bark (*Cinnamomum verum*) increase the binding of glucose to human albumin. *Biochim Clin.* 2018;42(2):112–8. https://doi.org/10.19186/BC_2018.023.
6. Shimna K, Krishnamurthy KS, Shamina A. Coumarin, essential oil and total phenol levels in bark and leaves of cinnamomum species. *J Plant Crop.* 2017;45(3):200–5. <https://doi.org/10.19071/jpc.2017.v45.i3.3345>.
7. Vakilwala M, Macan K, Tandel A. Phytochemical Screening, Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Cinnamon verum Bark. *Int J Innov Sci Res.* 2017;4(4):69–74. <https://doi.org/10.9734/irjpac/2020/v21i1130222>.
8. Assefa AD, Keum YS, Saini RK. A comprehensive study of polyphenols contents and antioxidant potential of 39 widely used spices and food condiments. *J Food Meas Charact.* 2018;12(3):1548–55. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9770-z>.
9. Shawky E, Selim DA. Rapid Authentication and Quality Evaluation of *Cinnamomum verum* Powder Using Near-Infrared Spectroscopy and Multivariate Analyses. *Planta Med.* 2018;84(18):1380–7. <https://doi.org/10.1055/a-0654-5468>.
10. Ozkan G, Franco P, De Marco I, Xiao J, Capanoglu E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chem.* 2019; 272:494–506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>.

11. Medagama AB. The glycaemic outcomes of Cinnamon, a review of the experimental evidence and clinical trials. *Nutr J*. 2015;14(1). <https://doi.org/10.1186/s12937-015-0098-9>.
12. Pacheco-Armenta MC, Jáquez-Torres JÁ. Prevalencia de síndrome metabólico en la consulta externa. *Rev Sanid Milit*. 2017;71(3):264–75.
13. Punthakee Z, Goldenberg R, Katz P. Definition, Classification and Diagnosis of Diabetes, Prediabetes and Metabolic Syndrome. *Can J Diabetes*. 2018; 42:S10–5. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2017.10.003>.
14. Panchal SK, Poudyal H, Iyer A, Nazer R, Alam A, Diwan V, Kauter K, Sernia C, Campbell F, Ward L, Gobe G, Fenning A, Marrón L. High-carbohydrate high-fat diet-induced metabolic syndrome and cardiovascular remodeling in rats. *J Cardiovasc Pharmacol*. 2011;57(1):51–64. <https://doi.org/10.1097/FJC.0b013e3181feb90a>.
15. Romero-Velarde E, Aguirre-Salas LM, Álvarez-Román YA, Vásquez-Garibay EM, Casillas-Toral E, Fonseca-Reyes S. Prevalencia de síndrome metabólico y factores asociados en niños y adolescentes con obesidad. *Rev Med Inst Mex Seg Soc*. 2016;54(5):568–75.
16. Trujillo-Hernández B, Trujillo-Magallón E, Trujillo-Magallón M, Brizuela-Araujo CA, García-Medina MA, González-Jiménez MA. Frequency of metabolic syndrome and risk factors in adults with and without diabetes mellitus and arterial hypertension. *Rev Salud Pública*. 2017;19(5):609–16. <https://doi.org/10.15446/rsap.v19n5.56960>.
17. Tabatabai SM, Dashti S, Doosti F, Hosseinzadeh H. Phytotherapy of opioid dependence and withdrawal syndrome: A review. *Phyther Res*. 2014;28(6):811–30. <https://doi.org/10.1002/ptr.5073>.
18. Chen L, Sun P, Wang T, Chen K, Jia Q, Wang H, Yiming li. Diverse mechanisms of antidiabetic effects of the different procyanidin oligomer types of two different cinnamon species on db/db mice. *J Agric Food Chem*. 2012;60(36):9144–50. <https://doi.org/10.1021/jf3024535>.
19. Iqbal Z, Ashraf T, Khan AA, Hussain R, Mudassar M. Antihyperlipidemic efficacy of cinnamon in albino rats. *Asian J Agric Biol*. 2015;4(1):8–16.
20. Anand V, Varalakshmi, Prasana, Kumar S, Pushpa, Hedina A. *Cinnamomum zeylanicum* Linn. The spice with multi potential. *Syst Rev Pharm*. 2016;7(1):24–9. <https://doi.org/10.5530/srp.2016.7.3>.

21. Gupta Jain S, Puri S, Misra A, Gulati S, Mani K. Effect of oral cinnamon intervention on metabolic profile and body composition of Asian Indians with metabolic syndrome: A randomized double -blind control trial. *Lipids Health Dis.* 2017;16(1):1–11.
22. Hosni AA, Abdel-Moneim AA, Abdel-Reheim ES, Mohamed SM, Helmy H. Cinnamaldehyde potentially attenuates gestational hyperglycemia in rats through modulation of PPAR γ , proinflammatory cytokines and oxidative stress. *Biomed Pharmacother.* 2017; 88:52–60. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.01.054>.
23. Jahangir MA, Shehzad A, Butt MS, Shahid M. Therapeutic Potential of *Cinnamomum zeylanicum* extract to mitigate Hyperglycemia. *Ann King Edward Med Univ.* 2017;23(2):225–34. <https://doi.org/10.21649/akemu.v23i2.1586>.
24. Beji RS, Khemir S, Wannes WA, Ayari K, Ksouri R. Antidiabetic, antihyperlipidemic and antioxidant influences of the spice cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) in experimental rats. *Brazilian J Pharm Sci.* 2018;54(2):2–9. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902018000217576>.
25. Zare R, Nadjarzadeh A, Zarshenas MM, Shams M, Heydari M. Efficacy of cinnamon in patients with type II diabetes mellitus: A randomized controlled clinical trial. *Clin Nutr.* 2019;38(2):549–56. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.03.003>.
26. Sharafeldin K, Rizvi MR. Effect of traditional plant medicines (*Cinnamomum zeylanicum* and *Syzygium cumini*) on oxidative stress and insulin resistance in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Basic Appl Zool.* 2015; 72:126–34. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2015.09.002>.
27. Kassae SM, Goodarzi MT, Roodbari NH, Yaghmaei P. The effects of *Cinnamomum zeylanicum* on lipid profiles and histology via up-regulation of LDL receptor gene expression in hamsters fed a high cholesterol diet. *Jundishapur J Nat Pharm Prod.* 2017;12(3):37340–8. <https://doi.org/10.5812/jjnpp.37340>.
28. Bastos MS, Del Vesco AP, Santana TP, Santos TS, De Oliveira Junior GM, Fernandes RPM, Barbosa T and Gasparino E. The role of cinnamon as a modulator of the expression of genes related to antioxidant activity and lipid metabolism of laying quails. *PLoS One.* 2017;12(12):1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189619>.
29. Song MY, Kang SY, Kang A, Hwang JH, Park YK, Jung HW. *Cinnamomum cassia* Prevents High-Fat Diet-Induced Obesity in mice through the Increase of muscle energy. *Am J Chin Med.* 2017;45(5):1017–31. <https://doi.org/10.1142/S0192415X17500549>.

30. Gunawardena D, Karunaweera N, Lee S, Van Der Kooy F, Harman DG, Raju R, Bennet L, Gyengesi E, Sucher N, and Munch G. Anti-inflammatory activity of cinnamon (*C. zeylanicum* and *C. cassia*) extracts - Identification of E-cinnamaldehyde and o-methoxy cinnamaldehyde as the most potent bioactive compounds. *Food Funct.* 2015;6(3):910–9. <https://doi.org/10.1039/c4fo00680a>.
31. Haidari F, Mohammadshahi M, Abiri B, Zarei M, Fathi M. Cinnamon extract supplementation improves inflammation and oxidative stress induced by acrylamide: An experimental animal study. *Avicenna J phytomedicine.* 2020;10(3):243–52.
32. Tangvarasittichai S, Sanguanwong S, Sengsuk C, Tangvarasittichai Y. Effect of Cinnamon Supplementation on Oxidative Stress, Inflammation and Insulin Resistance in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Artic Int J Toxicol Pharmacol Res.* 2015; 7:1–8.
33. Nagendra Nayak IM, Rajasekhar C, Jetti R. Anti-atherosclerotic potential of aqueous extract of *Cinnamomum zeylanicum* bark against glucocorticoid induced atherosclerosis in wistar rats. *J Clin Diagnostic Res.* 2017;11(5):FC19–23. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/23910.9864>.
34. Shirzad F, Morovatdar N, Rezaee R, Tsarouhas K. Cinnamon effects on blood pressure and metabolic profile: A double-blind, randomized, placebo-controlled trial in patients with stage 1 hypertension. *Avicenna J Phytomedicine.* 2020;7(11):1–10.
35. Ranjini HS, Padmanabha Udupa EG, Kamath SU, Setty M, Hadapad B, Kamath A. An *in vitro* study of *Cinnamomum zeylanicum* as natural inhibitor of angiotensin-converting enzyme (ACE) on sheep (*ovis aries*) tissues. *Asian J Pharm Clin Res.* 2016;9(5):249–52. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2016.v9i5.13424>.
36. Ribeiro-Santos R, Andrade M, Madella D, Martinazzo AP, de Aquino Garcia Moura L, de Melo NR, Sancges-Silva A. Revisiting an ancient spice with medicinal purposes: Cinnamon. *Trends Food Sci Technol.* 2017; 62:154–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.011>.
37. Tulini FL, Souza VB, Echalar-Barrientos MA, Thomazini M, Pallone EMJA, Favaro-Trindade CS. Development of solid lipid microparticles loaded with a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*): Potential for increasing antioxidant content in functional foods for diabetic population. *Food Res Int.* 2016; 85:10–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.006>.
38. Hammid. S. A, Assim Z, Ahmad F. Chemical composition of *Cinnamomum* species collected in Sarawak - *UKM Journal Article Repository.* 2016;45(4):627–32.

39. Liyanage T, Madhujith T, Wijesinghe KGG. Comparative study on major chemical constituents in volatile oil of true cinnamon (*Cinnamomum verum Presl. syn. C. zeylanicum Blum.*) and five wild cinnamon species grown in Sri Lanka. *Trop Agric Res.* 2017;28(3):270–80. <https://doi.org/10.4038/tar.v28i3.8231>.
40. Vidanagamage SA, Pathiraje PMHD, Perera ODAN. Effects of Cinnamon (*Cinnamomum Verum*) Extract on Functional Properties of Butter. *Procedia Food Sci.* 2016; 6:136–42. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2016.02.033>.
41. Maiti R, González RH, Kumari CHA, y Sarkar N. Macro and micro-nutrient contents of 18 medicinal plants used traditionally to alleviate diabetes in nuevo leon, northeast of Mexico. *Pakistan J Bot.* 2016; 48:271–6.
42. Alsoodeeri FN, Alqabbani HM, Aldossari NM. Effects of Cinnamon (*Cinnamomum cassia*) Consumption on Serum Lipid Profiles in Albino Rats. *J Lipids.* 2020; 2020:1–7. <https://doi.org/10.1155/2020/8469830>.
43. Hadi A, Campbell MS, Hassani B, Pourmasoumi M, Salehi-sahlabadi A, Hosseini SA. The effect of cinnamon supplementation on blood pressure in adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Nutr ESPEN.* 2020; 36:10–6. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.01.002>.
44. Maruthamuthu R, Ramanathan K. Phytochemical Analysis of Bark Extract of *Cinnamomum verum*: A Medicinal Herb Used for the Treatment of Coronary Heart Disease in Malayali Tribes, Pachamalai Hills, Tamil Nadu, India. *Int J Pharmacogn Phytochem Res.* 2016;8(7):1218–22.
45. Pratibha, Yadav SS, Bhandari U, Naik G. Antioxidant properties and phytochemical screening of commercial cinnamon bark. *Eur J Biomed Pharm Sci.* 2018;5(2):964–70.
46. Deyno S, Eneyew K, Seyfe S, Tuyiringire N, Peter EL, Muluye RA, Umba TC and Ogwang PE. Efficacy and safety of cinnamon in type 2 diabetes mellitus and pre-diabetes patients: A meta-analysis and meta-regression. *Diabetes Research and Clinical Practice.* 2019; 156, <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.107815>.
47. Hendre AS, Sontakke A V., Patil SR, Phatak RS. Effect of cinnamon supplementation on fasting blood glucose and insulin resistance in patients with type 2 diabetes. *Pravara Med Rev.* 2019;11(2):4–8.
48. Mousavi SM, Karimi E, Hajishafiee M, Milajerdi A, Amini MR, Esmailzadeh A. Anti-hypertensive effects of cinnamon supplementation in adults: A systematic review and

- dose-response Meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2020;60(18):3144–54. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1678012>.
49. Namazi N, Khodamoradi K, Khamechi SP, Heshmati J, Ayati MH, Larijani B. The impact of cinnamon on anthropometric indices and glycemic status in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Complement Ther Med*. 2019; 43:92–101.
 50. Talaei B, Amouzegar A, Sahranavard S, Hedayati M, Mirmiran P, Azizi F. Effects of cinnamon consumption on glycemic indicators, advanced glycation end products, and antioxidant status in type 2 diabetic patients. *Nutrients*. 2017;9(9):1–9. <https://doi.org/10.3390/nu9090991>.
 51. Ranasinghe P, Jayawardena R, Pigera S, Wathurapatha WS, Weeratunga HD, Premakumara GAS. Evaluation of pharmacodynamic properties and safety of *Cinnamomum zeylanicum* (Ceylon cinnamon) in healthy adults: A phase I clinical trial. *BMC Complement Altern Med*. 2017;17(1).
 52. Ju J, Xu X, Xie Y, Guo Y, Cheng Y, Qian H. Inhibitory effects of cinnamon and clove essential oils on mold growth on baked foods. *Food Chem*. 2018; 240:850–5. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.120>.
 53. Dorri M, Hashemitabar S, Hosseinzadeh H. Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) as an antidote or a protective agent against natural or chemical toxicities: a review. *Drug Chem Toxicol*. 2018;41(3):338–51. <https://doi.org/10.1080/01480545.2017.1417995>.
 54. Yun JW, You JR, Kim YS, Kim SH, Cho EY, Yoon JH, Kwon E, Ja-June J, Jin Sung P, Hyoung-Chin K, Hwan Che J and Cheol Kang B. *In vitro* and *in vivo* safety studies of cinnamon extract (*Cinnamomum cassia*) on general and genetic toxicology. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2018; 95:115–23. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.02.017>
 55. Aguiar J, Estevinho BN, Santos L. Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. *Trends Food Sci Technol*. 2016; 58:21–39. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.012>.
 56. de Souza VB, Thomazini M, Echalar Barrientos MA, Nalin CM, Ferro-Furtado R, Genovese and Silva FC. Functional properties and encapsulation of a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*) by complex coacervation using gelatin and different polysaccharides. *Food Hydrocoll*. 2018; 77:297–306. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.040>.

57. Muhammad DRA, Sedaghat Doost A, Gupta V, bin Sintang MD, Van de Walle D, Van der Meeren P, and Dewettinck K. Stability and functionality of xanthan gum–shellac nanoparticles for the encapsulation of cinnamon bark extract. *Food Hydrocoll.* 2020; 100:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105377>.
58. Onwulata CI. Microencapsulation and Functional Bioactive Foods. *J Food Process Preserv.* 2013;37(5):510–32. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00680.x>.
59. Lima EMF, Madalão MCM, dos Santos WC, Bernardes PC, Saraiva SH, Silva PI. Spray-dried microcapsules of anthocyanin-rich extracts from *Euterpe edulis* M. as an alternative for maintaining color and bioactive compounds in dairy beverages. *J Food Sci Technol.* 2019;56(9):4147–57. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03885-5>.
60. Ye Q, Georges N, Selomulya C. Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. *Trends Food Sci Technol.* 2018; 78:167–79. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.025>.
61. Hernández-Hernández E, Lira-Moreno CY, Guerrero-Legarreta I, Wild-Padua G, Di Pierro P, García-Almendárez BE and Regalado-González C. Effect of Nanoemulsified and Microencapsulated Mexican Oregano (*Lippia graveolens* Kunth) Essential Oil Coatings on Quality of Fresh Pork Meat. *J Food Sci.* 2017;82(6):1423–32. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13728>.
62. Baldin JC, Munekata PES, Michelin EC, Polizer YJ, Silva PM, Canan TM, Pires MA, Gogoy SHS, Fávaro-Trinade CS, Lima CG, Fernandes AM and Trindade MA. Effect of microencapsulated Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) extract on quality and storage stability of mortadella sausage. *Food Res Int.* 2018;108(2):551–7. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.076>.
63. Papillo VA, Locatelli M, Travaglia F, Bordiga M, Garino C, Arlorio M and Coisson JD. Spray-dried polyphenolic extract from Italian black rice (*Oryza sativa* L., var. *Artemide*) as new ingredient for bakery products. *Food Chem.* 2018; 269:603–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.059>.
64. Hidalgo A, Brandolini A, Čanadanović-Brunet J, Četković G, Tumbas Šaponjac V. Microencapsulates and extracts from red beetroot pomace modify antioxidant capacity, heat damage and colour of pseudocereals-enriched einkorn water biscuits. *Food Chem.* 2018; 268:40–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.062>.
65. El-Messery TM, El-Said MM, Demircan E, Özçelik B. Microencapsulation of natural polyphenolic compounds extracted from apple peel and its application in yoghurt.

- Acta Sci Pol Technol Aliment.* 2019;18(1):25–34.
<https://doi.org/10.17306/J.AFS.0597>.
66. Tyagi V V., Kaushik SC, Tyagi SK, Akiyama T. Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2011;15(2):1373–91.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.006>.
 67. Esquivel-González BE, Ochoa MLA, Rutiaga-Quiñones OM. Microencapsulación mediante secado por aspersión de Compuestos Bioactivos. *Rev Iber Technol Postcosecha.* 2015;16(2):180–92.
 68. Diario Oficial de la Federación N 181. Yogurt-Denominación, especificaciones físicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba”. Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-181-SCFI/SAGARPA-2017 [Internet]. PROY-NOM-181-SCFI/SAGARPA-2017. 2017 [cited 2021 Mar 30]. Available from: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5511978&fecha=01/02/2018
 69. Gaona-Pineda EB, Martínez-Tapia B, Arango-Angarita A, Valenzuela-Bravo D, Gómez-Acosta LM, Shamah-Levy T. and Rodríguez-Ramírez S. Food groups consumption and sociodemographic characteristics in Mexican population. *Salud Publica Mex.* 2018; 60(3):272–82. <https://doi.org/10.21149/8803>.
 70. Bastos MS, Del Vesco AP, Santana TP, Santos TS, de Oliveira Junior GM, Fernandes RPM, Teixeira BL. and Gasparino E. The role of cinnamon as a modulator of the expression of genes related to antioxidant activity and lipid metabolism of laying quails. *PLoS One.* 2017; 12(12):1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189619>.
 71. Šeregelj V, Tumbas Šaponjac V, Lević S, Kalušević A, Četković G, Čanadanović-Brunet J, Nedovic V, Stajcic S, Vulic J and Vidakovic A. Application of encapsulated natural bioactive compounds from red pepper waste in yogurt. *J Microencapsul.* 2019; 36(8):704–14. <https://doi.org/10.1080/02652048.2019.1668488>.
 72. Francisco CRL, Heleno SA, Fernández IPM, Barreira JCM, Calhella RC, Barros L, Hess GO, Ferreira CFR and Barreiro MF. Functionalization of yogurts with *Agaricus bisporus* extracts encapsulated in spray-dried maltodextrin crosslinked with citric acid. *Food Chem.* 2018; 245:845–53.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.098>.

73. Illupapalayam V V., Smith SC, Gamlath S. Consumer acceptability and antioxidant potential of probiotic-yogurt with spices. *LWT - Food Sci Technol*. 2014; 55(1):255–62. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.025>.
74. Michael M, Phebus RK, Schmidt KA. Plant extract enhances the viability of *lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* and *lactobacillus acidophilus* in probiotic nonfat yogurt. *Food Sci Nutr*. 2015; 3(1):48–55. <https://doi.org/10.1002/fsn3.189>.
75. Helal A, Tagliazucchi D. Impact of in-vitro gastro-pancreatic digestion on polyphenols and cinnamaldehyde bioaccessibility and antioxidant activity in stirred cinnamon-fortified yogurt. *LWT*. 2018; 89:164–70. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.047>.
76. Granato D, Santos JS, Salem RD, Mortazavian AM, Rocha RS, Cruz AG. Effects of herbal extracts on quality traits of yogurts, cheeses, fermented milks, and ice creams: a technological perspective. *Curr Opin Food Sci*. 2018; 19:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.11.013>.
77. Katherine A, Sánchez R. Ventajas competitivas de los alimentos funcionales en el marco Internacional y Nacional. *Boletín Semillas Ambient*. 2018;12(1):2463–0691.
78. Zamora IIE, Barbosa Y. The importance of functional foodstuff manipulation risks for human health. *Correo Científico Médico de Holguín*. 2019;23(3):1560–79.
79. Martins A, Barros L, Carvalho AM, Santos-Buelga C, Fernandes IP, Barreiro F. and Ferreira ICFR. Phenolic extracts of *Rubus ulmifolius* Schott flowers: Characterization, microencapsulation and incorporation into yogurts as nutraceutical sources. *Food Funct*. 2014;5(6):1091–100. <https://doi.org/10.1039/c3fo60721f>.

CAPÍTULO 1

Compuestos bioactivos de canela y su efecto en la disminución del síndrome metabólico: revisión sistemática

ARCHIVOS LATINOAMERICANOS DE NUTRICIÓN
Revista de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición

<https://doi.org/10.37527/2023.73.1.007>

Vol. 73 N° 1; enero - marzo 2023

Artículo de Revisión

Compuestos bioactivos de canela y su efecto en la disminución del síndrome metabólico: revisión sistemática

Fernanda Riós¹ , Aurora Quintero¹ , Javier Piloni¹ , Raquel Cariño² , Abigail Reyes² .

Resumen: Compuestos bioactivos de canela y su efecto en la disminución del síndrome metabólico: revisión sistemática.

Introducción. El síndrome metabólico (SM) aumenta el ingreso hospitalario y el riesgo de desarrollar COVID-19, los fármacos utilizados para su tratamiento ocasionan efectos secundarios por lo que se ha optado por la búsqueda de alternativas terapéuticas a base de compuestos bioactivos contenidos en plantas medicinales. La canela se utiliza como agente terapéutico debido a sus propiedades comprobadas con diversos mecanismos de acción reportados en el tratamiento de varias patologías. **Objetivo.** Documentar los estudios *in vitro*, *in vivo*, estudios clínicos y los mecanismos de acción reportados del efecto de la administración de extractos y polvo de canela en las comorbilidades relacionadas con el SM. **Materiales y métodos.** Revisión sistemática de artículos en bases de datos electrónicas, incluyendo estudios de canela en polvo, extractos acuosos, de acetato de etilo y metanol de la corteza de canela, período de 5 años, excluyendo todo artículo relacionado a su efecto antimicrobiano, antifúngico y aceite de canela. **Resultados.** Las evidencias de los principales compuestos bioactivos contenidos en la canela validan su potencial en el tratamiento de enfermedades relacionadas al SM, con limitados estudios que indagan en los mecanismos de acción correspondientes a sus actividades biológicas. **Conclusiones.** Las evidencias de las investigaciones validan su potencial en el tratamiento de estas patologías, debido a sus principales compuestos bioactivos: cinamaldehído, transcinamaldehído, ácido cinámico, eugenol y, antioxidantes del tipo proantocianidinas A y flavonoides, los cuales participan en diversos mecanismos de acción que activan e inhiben enzimas, con efecto hipoglucemiante (quinasa y fosfatasa), antiobesogénico (UPC1), antiinflamatorio (NOS y COX), hipolipemiante (HMG-CoA) y antihipertensivo (ECA). *Arch Latinoam Nutr* 2023; 73(1): 74-85.

Palabras clave: canela, síndrome metabólico, compuestos bioactivos.

Abstract: Bioactive compounds of cinnamon and their effect on decreasing metabolic syndrome: systematic review.

Introduction. Metabolic syndrome (MS) increases hospital admission and the risk of developing COVID-19. Due to the side effects caused by the drugs used for its treatment, the search for therapeutic alternatives based on bioactive compounds contained in medicinal plants has been chosen. Cinnamon is used as a therapeutic agent due to its proven properties with various mechanisms of action reported in the treatment of various pathologies. **Objective.** To document the *in vitro* and *in vivo* studies, clinical studies and the mechanisms of action reported on the effect of the administration of cinnamon extracts and powder on comorbidities related to MS. **Materials and methods.** Systematic review of articles in electronic databases, including studies of cinnamon powder, aqueous extracts, ethyl acetate and methanol from cinnamon bark, over a period of 5 years, excluding all those articles related to its antimicrobial, antifungal and antimicrobial effect. cinnamon oil. **Results.** The evidence of the main bioactive compounds contained in cinnamon validates its potential in the treatment of diseases related to MS, with limited studies that investigate the mechanisms of action corresponding to its biological activities. **Conclusions.** Research evidence validates its potential in the treatment of these pathologies, due to its main bioactive compounds: cinnamaldehyde, transcinnamaldehyde, cinnamic acid, eugenol, and antioxidants of the proanthocyanidin A type and flavonoids, which participate in various mechanisms of action that activate and they inhibit enzymes, with hypoglycemic (kinase and phosphatase), antiobesogenic (UPC1), anti-inflammatory (NOS and COX), lipid-lowering (HMG-CoA) and antihypertensive (ACE) effects. *Arch Latinoam Nutr* 2023; 73(1): 74-85.

Keywords: cinnamon, metabolic syndrome, bioactive compounds.

1.1. Resumen

El síndrome metabólico (SM) aumenta el ingreso hospitalario y el riesgo de desarrollar COVID-19, los fármacos utilizados para su tratamiento ocasionan efectos secundarios por lo que se ha optado por la búsqueda de alternativas terapéuticas a base de compuestos bioactivos contenidos en plantas medicinales. La canela se utiliza como agente terapéutico debido a sus propiedades comprobadas con diversos mecanismos de acción reportados en el tratamiento de varias patologías. **Objetivo.** Documentar los estudios in vitro, in vivo, estudios clínicos y los mecanismos de acción reportados del efecto de la administración de extractos y polvo de canela en las comorbilidades relacionadas con el SM. **Materiales y métodos.** Revisión sistemática de artículos en bases de datos electrónicas, incluyendo estudios de canela en polvo, extractos acuosos, de acetato de etilo y metanol de la corteza de canela, período de 5 años, excluyendo todo artículo relacionado a su efecto antimicrobiano, antifúngico y aceite de canela. **Resultados.** Las evidencias de los principales compuestos bioactivos contenidos en la canela validan su potencial en el tratamiento de enfermedades relacionadas al SM, con limitados estudios que indagan en los mecanismos de acción correspondientes a sus actividades biológicas. **Conclusiones.** Las evidencias de las investigaciones validan su potencial en el tratamiento de estas patologías, debido a sus principales compuestos bioactivos: cinamaldehído, transcinamaldehído, ácido cinámico, eugenol y, antioxidantes del tipo proantocianidinas A y flavonoides, los cuales participan en diversos mecanismos de acción que activan e inhiben enzimas, con efecto hipoglucemiante (quinasa y fosfatasa), antiobesogénico (UPC1), antiinflamatorio (NOS y COX), hipolipemiante (HMG-CoA) y antihipertensivo (ECA).

Palabras clave: canela, síndrome metabólico, compuestos bioactivos

1.2. Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define el síndrome metabólico como una condición patológica caracterizada por presentar obesidad, resistencia a la insulina, hipertensión e hiperlipidemia. Se estima que una cuarta parte de la población mundial la padecen (1), aumentando el ingreso hospitalario, contagio de COVID-19 (2,3) y la muerte (4,5). Hasta el momento no existe un tratamiento para este síndrome, solo se controla y previene mediante un régimen dietético, actividad física y medicamentos; sin embargo, la población mexicana tiene poca adherencia a este (6,7) y debido al confinamiento ocasionado por el COVID-19 este se ha incrementado (8); además la ingesta constante de medicamentos, ocasiona efectos secundarios que afectan la calidad de vida del paciente (9-20), surgiendo el interés por tratamientos no farmacológicos mediante compuestos bioactivos (21,22). La OMS estima que el 80% de la población mundial utilizan extractos de plantas para tratar sus problemas de salud (23-24), entre las que destacan las especias (3,24) que presentan capacidad de disminuir la glucosa en sangre (25–28) y el colesterol total (29–31). La canela se consume en todo el mundo (3,32,33) y se utiliza en inflamación, náuseas, flatulencias, cólicos (34), fiebre, dolor de cabeza y amenorrea (35), además se le atribuyen múltiples propiedades biológicas (22,36) por los compuestos bioactivos que contiene entre los que destacan los polifenoles contenidos en un 90 % y el cinamaldehído entre un 60–75 %, otros constituyentes importantes incluyen el metileugenol, felandreno, benzaldehído, acetato de cinamilo, kaempferol, catequina, isorhamnetin, quercetina (23,37), ácido cinámico, alcohol de cinamilo y cumarina (38), además contiene vitaminas (A, B, K y C), minerales como: potasio, calcio, sodio, magnesio, manganeso, fósforo, colina, nitrógeno, cobre, hierro y zinc (39) y antioxidantes (40) que se pueden encontrar en forma volátil como: trans-cinnamaldehído, cis-cinnamaldehído, eugenol, linalol, borneol, carvacrol, citral, limoneno, cimeno, safrol, alcohol cinnamílico, cariofileno, benzaldehído, pineno, acetato de L-bornilo y terpineol y en forma de fenoles como: ácido gálico, ácido vanílico, ácido clorogénico, ácido tánico, ácido cinámico, ácido sirínico, ácido sinapico, ácido cafeico, ácido cumarico, ácido p-hidroxibenzoico, p-hidroxibenzaldehído y ácido ferúlico (41), además de altos niveles de diferentes

compuestos fitoquímicos con acciones captadoras de radicales libres, como: epicatequina, canfeno, gamma-terpineno, fenol, ácido salicílico, taninos, proantocianidinas, oligómeros de las catequinas y epicatequina. Por lo que esta revisión tiene como objetivo documentar los estudios *in vitro*, *in vivo*, clínicos y los mecanismos de acción reportados del efecto de la administración de canela en las comorbilidades relacionadas con el Síndrome Metabólico.

1.3. Materiales y métodos

Se realizó una revisión sistemática en base a la metodología "PRISMA" (42), la cual comenzó con la búsqueda de artículos en las siguientes bases de datos: PubMed, Science Direct y Google Scholar, mediante las siguientes palabras clave: "*Cinnamomum*", "hipertensión", "diabetes", "obesidad" y "dislipidemia", en un período desde Julio a Octubre de 2020, realizando una búsqueda inicial que consistió en la lectura de los títulos y *abstracts*, si parecían tener relación con el tema en cuestión se descargaban en pdf, obteniendo un total de 123 artículos, a los cuales se les aplicaron los siguientes criterios de inclusión para su selección:

- a) Artículos originales de *Open Access*
- b) Publicados de 2015 a 2020
- c) Artículos publicados en inglés
- d) Artículos que incluyeran al menos un grupo control y como criterios de exclusión se establecieron los siguientes:
 - a) Artículos relacionados con su efecto antimicrobiano, antifúngico y aceite de canela
 - b) Artículos sin el archivo pdf disponible
 - c) Artículos publicados fuera del rango establecido (2015-2020)
 - d) Artículos de revisión.

De esta forma se obtuvieron un total de 60 artículos, de los cuales 13 corresponden a estudios *in vitro*, 25 *in vivo*, 20 clínicos y 2 investigaciones realizadas con modelos tanto *in vitro* como *in vivo*, los cuales se presentan en la Tabla 1, indicando el tipo de estudio (*in vitro*, *in vivo* o estudio clínico), la forma en que utilizaron la canela (extracto, polvo obtenido con molienda, cápsulas, té o fracciones del mismo), la

especie y los compuestos bioactivos que en el artículo consideran que son responsables del efecto relacionado a las comorbilidades del síndrome metabólico.

Tabla 1. Estudios reportados con intervención de canela in vivo, in vitro y ensayos clínicos

Efecto	Compuestos bioactivos	Especie	Extracto	Estudio	Referencia
Hipoglucemiante	Cinnamtannin B1, Proantocianidina, polifenoles, flavonoides, fenoles, cinamaldehído y fibra	<i>zeylanicum</i>	Fracciones solubles en: hexano, acetato de etilo, butanol y agua	<i>In vitro</i>	(61–63,105,106)
		<i>zeylanicum osmophloeum</i>	Polvo (molienda) Extracto en etanol, metanol, acetona y acuoso	<i>In vivo</i>	(3,12,65,66,68,69,107,108)
		<i>cassia burmannii zeylanicum</i>	Extracto acuoso Té Polvo-cápsulas	Clínicos	(49,70,109,72–76,78–80)
Antiobesogénico	Cinamaldehído	<i>zeylanicum</i>	Polvo (molienda) Extracto en etanol y acuoso	<i>In vivo</i>	(12,27,83–85)
		<i>cassia burmannii</i>	Extracto acuoso Extracto acuoso Polvo-cápsulas	<i>In vitro y clínico</i>	(110) (49,72,73,91)
Antiinflamatorio	Cinamaldehído, transcinamaldehído, proantocinidina A, e-cinamaldehído, o-metoxicinamaldehído, alcohol cinamílico, benzoato de bencilo, eugenol, ácido cinámico y cinamaldehído.	<i>zeylanicum cassia japonicum Sieb verum</i>	Extracto en metanol, acuoso y en etanol	<i>in vitro</i>	(35,86,87)
		<i>zeylanicum</i>	Extracto acuoso, en etanol y metanol	<i>in vivo</i>	(88–91)
		<i>cassia zeylanicum zeylanicum</i>	Polvo-cápsulas	clínico	(58,71,92)
Sobre el metabolismo lipídico	Cinamato y polifenoles	<i>zeylanicum</i>	Extracto en etanol y diclorometano	<i>in vitro</i>	(33,93)
		<i>cassia zeylanicum cassia</i>	Polvo (molienda)	<i>in vivo</i>	(12,27,107,111,40,61,65,83,84,94–96)
		<i>cassia burmannii tamala</i>	Extracto acuoso Polvo (molienda) y cápsulas	clínico	(49,70–73,98–100)
	Cinamaldehído, eugenol y potasio	<i>zeylanicum</i>	Extracto en metanol	<i>in vitro</i>	(102)
Antihipertensivo		<i>zeylanicum burmannii zeylanicum cassia</i>	Extracto acuoso y en etanol Té, extracto acuoso Polvo-cápsulas y disuelto en agua 42–45 °C.	<i>in vivo</i> clínico	(103,107) (20,71–73,99,103,111,112)

1.4. Resultados

1.4.1. Características generales de la canela

La canela es una especia obtenida de la corteza seca de los árboles del género *Cinnamomum* (43) el cual se compone de aproximadamente 250 especies (44), comprendiendo cuatro especies principales *zeylanicum*, *burmannii*, *saigon* y *cassia* (32,45,46). Proporciona proteínas, fibra, componentes volátiles, vitaminas (A, B, K y C), minerales como potasio, calcio, sodio, magnesio, manganeso, fósforo, colina,

nitrógeno, cobre, hierro y zinc (39). Contiene antioxidantes como: fenoles, glucósidos y taninos (47), además de compuestos bioactivos a los cuales se les han comprobado los siguientes efectos en la salud humana: aumento del flujo sanguíneo, antimutagénico, antitumoral, hipoglucemiante, antilipemiante, antimicrobiano, diarrea, flatulencias, asma, bronquitis, infecciones, regeneración de tejidos, antiinflamatoria, hepatoprotectora y pérdida de peso (32,48,57,58,49–56). La Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos declaró que la canela es considerada como segura (GRAS). Además, estudios realizados sobre su toxicidad (41,59,60) indican que es un ingrediente seguro para usar en alimentos y está permitido como conservante en la mayoría de los países con efectos protectores contra toxinas naturales y químicas.

1.4.2. Efecto hipoglucemiante

La canela ha comprobado la reducción de hiperglucemia post prandial *in vitro* causada principalmente por la gran cantidad de antioxidantes que contiene (61) que producen actividad de anti amilasa moderada (62), como las proantocinidinas y taninos que disminuyen la resistencia a la insulina y leptina (63), mientras que el aldehído cinámico y eugenol inhiben la enzima α glucosidasa (64). En estudios *in vivo* el extracto etanólico de *Cinnamomum zeylanicum* redujo 11.6 % el nivel de glucosa y aumentó 7,2 % el nivel de insulina en ratas, atribuyendo este efecto a la acción del trans-cinamaldehído presente en la canela (3). En inducción de diabetes con estreptozotocina (STZ) (65,66) y aloxano (12,67) el extracto etanólico de *Cinnamomum zeylanicum* y extracto de *Cinnamomum osmophloeum* disminuyeron el nivel de glucosa en sangre y hemoglobina glucosilada, ocasionado por las proantocinidinas tipo A, también se reporta la restauración del tejido renal y pancreático con extracto metanólico de canela (68). En diabetes gestacional el cinamaldehído aumentó la secreción y sensibilidad de la insulina (69). Los estudios clínicos reportan disminución significativa de glucosa posprandial y hemoglobina glicosilada tanto en pacientes sanos, como prediabéticos y diabéticos con dosis de 500 mg de extracto acuoso, 1,5 y 3 g de polvo en cápsulas al día (70–77). Estudios adicionales reportan eficacia con ingesta de 0.5 g y 1 g de canela en polvo durante

3 meses en pacientes con DT2 (Diabetes Tipo 2) mal controlados (78,79) y pacientes con obesidad (49), atribuyendo este efecto a los antioxidantes (76,78–80), catequinas y epicatequina (81) y cinamaldehído (74).

1.4.3. Efecto antiobesogénico

La canela demuestra con ensayos *in vitro* un aumento en el gasto de energía a través de las células musculares (82), en estudios *in vivo* se han determinado factores genéticos asociados con la obesidad a través de la disminución de sus características genotípicas y fenotípicas, como la investigación realizada por Navrinder et al. (83) quien evaluó estos parámetros en pez cebra, encontrando la disminución del peso corporal e índice de masa corporal (IMC) atribuyendo este efecto a la presencia de polifenoles. Mientras que en modelos *in vivo* realizados en ratas, autores como López et al. (84) sugieren que el extracto acuoso de canela atenuó el proceso lipogénico a través de la regulación de la expresión de factores transcripcionales y genes involucrados en la lipogénesis, mientras que autores como Kwan et al. (85) refieren que el ácido protocatecúico, catequina, ácido clorogénico, esculetina, quercetina e icariinal contenidas en el extracto etanólico de canela *Cinnamomum cassia* induce el adipocito marrón, con lo que se reduce el peso corporal, caso similar al reportado por Song et al. (82) quien además encontraron que posiblemente el cinamaldehído ocasionó la disminución en el tamaño de los adipocitos y aumento de la masa muscular en ratones obesos, presentándose también en ratas hipotiroideas (27) y con diabetes (12). Los estudios clínicos reportados incluyen cambios en la circunferencia de cintura y peso corporal (72), además de reducción en el IMC, relación cintura-cadera y adiposidad abdominal (49,73), efecto reportado también en pacientes con Diabetes tipo 2 (DT2) (18), donde además se observó aumento en la masa magra, siendo responsable de estos efectos los antioxidantes contenidos en la canela (12,81).

1.4.4. Efecto antiinflamatorio

La actividad antiinflamatoria de la canela se ha informado en algunos estudios *in vitro* identificando diferentes compuestos bioactivos responsables, como al ácido

cinámico, cinamaldehído (86), E-cinamaldehído, o-metoxicinamaldehído (35), trans-cinamaldehído y p-cimeno (87). Mientras que los estudios *in vivo* realizados en ratas reportan disminución en la expresión de diversos mediadores proinflamatorios (88), tras la inducción de una neurotoxicidad con formaldehído (89) y de un daño con acrilamida. Autores como Haidari et al. (90) observaron reparación de lesión hepática, mientras que, en presencia de dieta alta en fructosa y sobrepeso, mientras que Sohrabi et al. (91) reportaron disminución de las condiciones inflamatorias. Min Seo et al. (86) sugieren que la canela podría atenuar la inflamación intestinal. Estudios clínicos recientes demuestran reducción significativa de la inflamación en pacientes con DT2 (71) y reducción de gravedad y duración de migraña (92).

1.4.5. Efectos sobre el metabolismo lipídico

Existen pocos estudios *in vitro* reportados recientemente de la acción hipolipemiente de la canela, debido a que este efecto ya ha sido comprobado mediante la acción de las enzimas 3-hidroxi-3-metilglutaril-coenzima A (HMG-CoA), reductasa, lipasa, colesterol esterasa y de la micelización del colesterol por el cinamaldehído (33). Hoy et al. (93) identifica los compuestos cinamiloiso butirato y cinnamaldehído como los responsables de la reducción de triglicéridos (TG) y fosfolípidos (PL). La mayoría de los estudios *in vivo* reportados coinciden que tras la suplementación con canela mejoran los parámetros bioquímicos de los lípidos, a través de la disminución significativa en los niveles de colesterol y triglicéridos en plasma (84,94) presentándose tanto con inducción de diabetes con aloxano (12), como con espectralozotocina, donde además se presentó disminución en lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) (61) y aumento en las lipoproteínas de alta densidad (HDL) (65,95), además de disminución en la aparición de hígado graso (96). Diversos autores atribuyen estos efectos al aumento de expresión de genes relacionados con el metabolismo de los lípidos (22,83,97). Debido al efecto antihiperlipemiente y seguridad hepática comprobados, se han realizado varios estudios clínicos, observando los mismos resultados de disminución en los niveles de colesterol total, LDL, TG y el aumento de HDL en suero de forma significativa (70,73,98) en pacientes con sobrepeso y obesidad (49), mujeres con síndrome de

ovarios poliquísticos (99), pacientes con DT2 (72,74) y pacientes con hipertensión grado 1 (100). Autores como Nayak et al. (101) identifican al compuesto cinamaldehído como el responsable de los efectos hipolipidémicos asociados con el aumento en los niveles de adiponectina.

1.4.6. Efecto antihipertensivo

El estudio *in vitro* de Ranjini et al. (102) reportan que posiblemente el cinamaldehído y cinamato inhibieron significativamente la enzima convertidora de angiotensina, similar a la disminución que se obtiene al tomar el fármaco captopril; con lo que se promueve su uso en el control de la presión arterial y reducción de enfermedades cardiovasculares con menores efectos secundarios relacionados a los fármacos antihipertensivos (17–20). Los estudios *in vivo* reportados por Sedighi et al. (103) así como la reducción de infarto al miocardio, a través de la mejora en la lesión miocárdica inducida por isquemia mediante extracto de *Cinnamomum zeylanicum*, así como el aumento en el grosor de la aorta encontrada por Nayak et al. (101) efectos que se le atribuyen a la presencia de ácido cinámico, metileugenol y cinamaldehído. Con lo que se comprueba el potencial de la canela en la reversión de daño cardíaco y aterogénico. Los estudios clínicos reportados revelan la disminución significativa en la presión arterial (72,91) en mujeres con hipertensión (104), pacientes con síndrome metabólico (73) y DT2 (74).

1.4.7. Mecanismos de acción

De los 60 artículos consultados, 29 de ellos sugieren diferentes mecanismos de acción a través de los cuales los compuestos bioactivos de la canela median sus efectos en las comorbilidades relacionadas con el síndrome metabólico: diabetes, obesidad e inflamación los cuales se representan en la Figura 1 e hiperlipemiantes y antihipertensivos en la Figura 2. En ambas figuras se observa que el compuesto cinamaldehído interviene en las cinco condiciones, presentando actividad hipoglucemiante al activar la enzima quinasa, permitiendo la unión de la insulina a las células, así como la inhibición de la enzima fosfatasa, conduciendo a una fosforilación de la glucosa (5,48) y a la regulación del ácido ribonucleico mensajero

(ARNm) del receptor gamma activado por el proliferador de peroxisomas (PPAR γ) mejorando la sensibilidad a la insulina (49). Con efecto antiobesogénico estimula el tejido adiposo pardo interescapular, aumentando el termogénico (UCP1) y proteína visceral que disminuye la distribución de grasa corporal (50). En inflamación suprime la enzima óxido nítrico sintasa (NOS) que relaja el músculo liso de la pared vascular e inhibe la adhesión de plaquetas provocando una disminución de la inflamación; y la enzima ciclooxigenasa (COX) inhibe la formación de sustancias inflamatorias (51,52). Como hipolipemiante inhibe la enzima HMG-CoA reductasa deteniendo la biosíntesis de colesterol en el hígado, suprimiendo la peroxidación lipídica (34,46,53,54) y tiene efecto sobre hipertensión al activar la enzima convertidora de angiotensina (ECA) que promueve las reacciones del sistema renina-angiotensina-aldosterona que inducen la dilatación de los vasos periféricos disminuyendo la presión arterial (55–57).

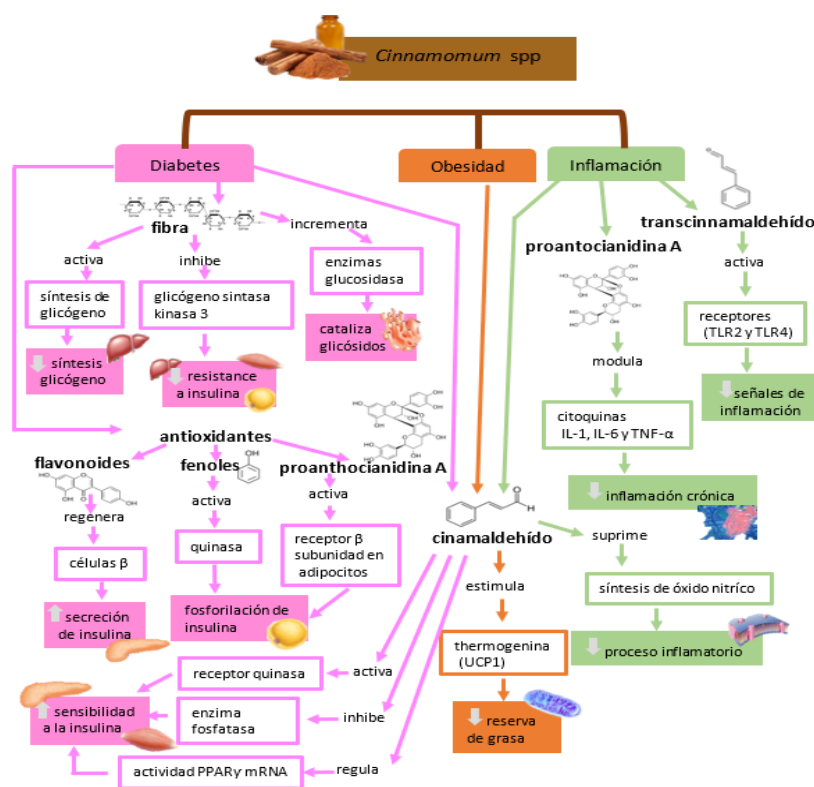


Figura 2. Mecanismos de acción de los compuestos bioactivos de la canela en las comorbilidades de diabetes, obesidad e inflamación (Autoría propia)

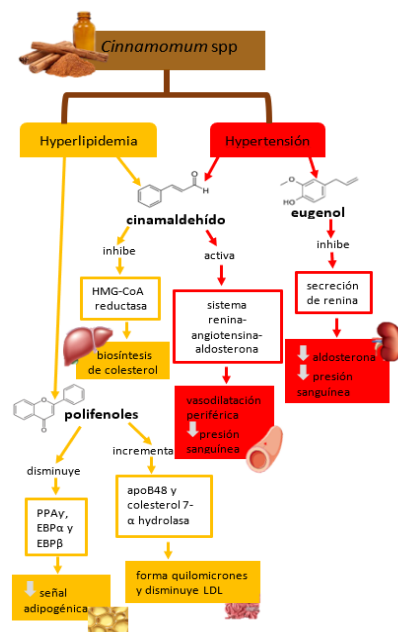


Figura 3. Mecanismos de acción de los compuestos bioactivos de la canela en las comorbilidades de hiperlipidemia e hipertensión (Autoría propia)

1.5. Conclusiones

Este artículo de revisión recaba evidencias de investigaciones reportadas en modelos *in vivo*, *in vitro* y casos clínicos de canela, validando su potencial en el tratamiento de enfermedades relacionadas al síndrome metabólico, debido a sus principales compuestos bioactivos: cinamaldehído, trans- cinamaldehído, ácido cinámico, eugenol, y antioxidantes del tipo proantocianidinas A y flavonoides, los cuales participan en diversos mecanismos de acción que activan e inhiben enzimas con efecto hipoglucemiante (quinasa y fosfatasa), antiobesogénico (UPC1), antiinflamatorio (NOS y COX), hipolipemiante (HMG-CoA) y antihipertensivo (ECA), con lo que mejora la sensibilidad a la insulina, disminuye grasa corporal, disminuye e inhibe la formación de sustancias inflamatorias, suprime síntesis de colesterol e induce la dilatación sanguínea. Por lo que la canela demuestra su uso potencial como coadyuvante en el tratamiento de las comorbilidades del síndrome metabólico.

1.6. Referencias

1. Saklayen MG. The Global Epidemic of the Metabolic Syndrome. *Curr Hypertens Rep.* 2018;20 (2):12. <https://doi.org/10.1007/s11906-018-0812-z>.

2. Denova-Gutiérrez E, López-Gatell H, Alomia- Zegarra JL, López RR, Zaragoza-Jiménez CA, Dyer-Leal DD, Cortés-Alcalá R, Villa RT, Gutiérrez VR, Rodríguez-González K, Escondrillas-Maya C, Barrientos-Gutiérrez T, Rivera J and Barquera S. The Association of Obesity, Type 2 Diabetes, and Hypertension with Severe Coronavirus Disease 2019 on Admission Among Mexican Patients. *Obesity*. 2020; 28(10):1826–1832. <https://doi.org/10.1002/oby.22946>.
3. Jahangir MA, Shehzad A, Butt MS, Shahid M. Therapeutic Potential of *Cinnamomum Zeylanicum* extract to mitigate Hyperglycemia. *Ann King Edw Med Univ*. 2017; 23(2):225–234. <https://doi.org/10.21649/akemu.v23i2.1586>.
4. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2020. Características de las defunciones registradas en México durante enero a agosto de 2020. 2020. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/>
5. Engin A. The definition and prevalence of obesity and metabolic syndrome. In: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer New York LLC; 2017; 960:1–17. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48382-5_1.
6. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2018. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018 Presentación de resultados. 2018. Disponible en: https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf
7. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2020. Módulo De Práctica Deportiva y Ejercicio Físico. Comun Prensa. 2022;1–13. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/moprade/moprade2021.pdf>
8. López M de la T, Bellido D, Monereo S, Lecube A, Sánchez E, Tinahones FJ. Ganancia de peso durante el confinamiento por la COVID-19; encuesta de la Sociedad Española de Obesidad. *Bariátrica & Metabólica Ibero-Americana*. 2020; 10:2774–82. <https://doi.org/10.53435/funj.00739>.
9. Suh S. Metformin-associated lactic acidosis. *Endocrinol Metab*. 2015;30(1):45–6.
10. Dujic T, Causevic A, Bego T, Malenica M, Velija- Asimi Z, Pearson ER, Semiz S. Organic cation transporter 1 variants and gastrointestinal side effects of metformin in patients with Type 2 diabetes. *Diabet Med*. 2016;33(4):511–4. <https://doi.org/10.1111/dme.13040>.
11. McCreight LJ, Bailey CJ, Pearson ER. Metformin and the gastrointestinal tract. *Diabetologia*. 2016;59(3):426–35. <https://doi.org/10.1007/s00125-015-3844-9>.

12. Beji RS, Khemir S, Wannes WA, Ayari K, Ksouri R. Antidiabetic, antihyperlipidemic and antioxidant influences of the spice cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) in experimental rats. *Brazilian J Pharm Sci.* 2018;54(2):2–9. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902018000217576>.
13. Du Souich P, Roederer G, Dufour R. Myotoxicity of statins: Mechanism of action. *Pharmacol Ther.* 2017; 175:1–16. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2017.02.029>.
14. Goldstein LB. Adverse effects of statins. *J Am Med Assoc.* 2017;317(10):1079–81. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.0142>.
15. Karahalil B, Hare E, Koç G, Uslu İ, Şentürk K, Özkan Y. Hepatotoxicity associated with statins. *Arh Hig Rada Toksikol.* 2017;68(4):254–60. <https://doi.org/10.1515/aiht-2017-68-2994>.
16. Bellosa S, Corsini A. Statin drug interactions and related adverse reactions: an update. *Expert Opin Drug Saf.* 2018;17(1):25–37. <https://doi.org/10.1080/14740338.2018.1394455>.
17. Abd Allah ESH, Gomaa AMS. Effects of curcumin and captopril on the functions of kidney and nerve in streptozotocin-induced diabetic rats: Role of angiotensin converting enzyme 1. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015;40(10):1061–7. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0145>.
18. Zamani Z, Nematbakhsh M, Eshraghi-Jazi F, Talebi A, Jilanchi S, Navidi M, Shirdavani S, and Ashrafi F. Effect of enalapril in cisplatin- induced nephrotoxicity in rats; gender-related difference. *Adv Biomed Res.* 2016;5(1):1–8. <https://doi.org/10.4103/2277-9175.175253>.
19. Kataria V, Wang H, Wald JW, Phan YL. Lisinopril-Induced Alopecia: A Case Report. *J Pharm Pract.* 2017;30(5):562–6. <https://doi.org/10.1177/0897190016652>.
20. Sobczuk P, Szczylik C, Porta C, Czarnecka AM. Renin angiotensin system deregulation as renal cancer risk factor. *Oncol Lett.* 2017;14(5):5059–68. <https://doi.org/10.3892/ol.2017.6826>.
21. Cicero AFG, Colletti A. Role of phytochemicals in the management of metabolic syndrome. *Phytomedicine.* 2016; 23(11):1134–44. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2015.11.009>.
22. Kassaei SM, Goodarzi MT, Roodbari NH, Yaghmaei P. The effects of *Cinnamomum zeylanicum* on lipid profiles and histology via up-regulation of LDL

- receptor gene expression in hamsters fed a high cholesterol diet. *Jundishapur J Nat Pharm Prod*. 2017;12(3):37340–8. <https://doi.org/10.5812/jjnpp.37340>.
23. Anand V, Varalakshmi, Prasana, Kumar S, Pushpa, Hedina. *Cinnamomum zeylanicum* Linn. The spice with multi potential. *Syst Rev Pharm*. 2016;7(1):24–9.
 24. Lu QY, Summanen PH, Lee RP, Huang J, Henning SM, Heber D, Finegold SM and Zhaoping Li. Prebiotic Potential and Chemical Composition of Seven Culinary Spice Extracts. *J Food Sci*. 2017;82(8):1807–13. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13792>.
 25. Bi X, Lim J, Henry CJ. Spices in the management of diabetes mellitus. *Food Chem*. 2017; 217:281–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.111>.
 26. Ge Q, Chen L, Chen K. Treatment of Diabetes Mellitus Using iPS Cells and Spice Polyphenols. *J Diabetes Res*. 2017;2017. 5837804. <https://doi.org/10.1155/2017/5837804>.
 27. Lopes BP, Gaique TG, Souza LL, Paula GSM, Kluck GEG, Atella GC, Pazos-Moura CC and Oliveira KJ. Beneficial effects of Cinnamon on hepatic lipid metabolism are impaired in hypothyroid rats. *J Funct Foods*. 2018; 50:210–5. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.10.002>.
 28. Mohammed A, Islam MS. Spice-derived bioactive ingredients: Potential agents or food adjuvant in the management of diabetes mellitus. *Front Pharmacol*. 2018;22:9. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00893>.
 29. McCrea CE, West SG, Kris-Etherton PM, Lambert JD, Gaugler TL, Teeter DL, Sauder KA, Gu Y, Glisan SL, and Skulas-Ray AC. Effects of culinary spices and psychological stress on postprandial lipemia and lipase activity: Results of a randomized crossover study and *in vitro* experiments. *J Transl Med*. 2015;16;13(1). <https://doi.org/10.1186/s12967-014-0360-5>.
 30. Mukthamba P, Srinivasan K. Hypolipidemic influence of dietary fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds and garlic (*Allium sativum*) in experimental myocardial infarction. *Food Funct*. 2015;6(9):3117–3125. <https://doi.org/10.1039/c5fo00240k>.
 31. Ghaffari S, Roshanravan N. Saffron; An updated review on biological properties with special focus on cardiovascular effects. *Biomed Pharmacother*. 2019; 109:21–7. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.10.031>.

32. Kumar S, Kumari R, Mishra S. Pharmacological properties and their medicinal uses of Cinnamomum: a review. *J Pharm Pharmacol*. 2019; 71(12):1735–61. <https://doi.org/10.1111/jphp.13173>.
33. Abeysekera WPKM, Arachchige SPG, Ratnasooriya WD. Bark Extracts of Ceylon Cinnamon Possess Antilipidemic Activities and Bind Bile Acids *In Vitro*. *Evidence-based Complement Altern Med*. 2017;2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7347219>.
34. Mazimba O, Wale K, T.E. K, Mihigo SO, y Kokengo B. *Cinnamomum verum*: Ethylacetate and methanol extracts antioxidant and antimicrobial activity. *J Med Plants Stud*. 2015; 3:28–32.
35. Gunawardena D, Karunaweera N, Lee S, Van Der Kooy F, Harman DG, Raju R, Bennerr L, Gyengesi E, Sucher NJ and Munch G. Anti-inflammatory activity of cinnamon (*C. zeylanicum* and *C. cassia*) extracts - Identification of E-cinnamaldehyde and o-methoxy cinnamaldehyde as the most potent bioactive compounds. *Food Funct*. 2015;6(3):910–9. <https://doi.org/10.1039/C4FO00680A>.
36. Balijepalli MK, Buru AS, Sakirolla R, Pichika MR. Cinnamomum genus: A review on its Biological Activities. *Int J Pharm Pharm Sci*. 2017; 9:1–11. <http://dx.doi.org/10.22159/ijpps.2017v9i2.11156>
37. Hussain Z, Khan JA, Arshad A, Asif P, Rashid H, Arshad MI. Protective effects of *Cinnamomum zeylanicum* L. (*Darchini*) in acetaminophen-induced oxidative stress, hepatotoxicity and nephrotoxicity in mouse model. *Biomed Pharmacother*. 2019; 109:2285–92. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.11.123>.
38. Shimna K, Krishnamurthy KS, Shamina A. Coumarin, essential oil and total phenol levels in bark and leaves of cinnamomum species. *J Plant Crop*. 2017;45(3):200–5. <https://doi.org/10.19071/jpc.2017.v45.i3.3345>.
39. Maiti R, González RH, Kumari CHA, Sarkar NC. Macro and micro-nutrient contents of 18 medicinal plants used traditionally to alleviate diabetes in nuevo leon, northeast of Mexico. *Pakistan J Bot*. 2016;48(1):271–6.
40. Bastos MS, Del Vesco AP, Santana TP, Santos TS, de Oliveira Junior GM, Fernández RPM, et al. The role of cinnamon as a modulator of the expression of genes related to antioxidant activity and lipid metabolism of laying quails. *PLoS One*. 2017;12(12):1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189619>.
41. Muhammad DRA, Dewettinck K. Cinnamon and its derivatives as potential ingredient in functional food—A review. *Int J Food Prop*. 2017; 20:1–27. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1369102>.

42. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta- analyses: The PRISMA statement. *Int J Surg*. 2010;8(5):336–41. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>.
43. Tulini FL, Souza VB, Echalar-Barrientos MA, Thomazini M, Pallone EMJA, Favaro-Trindade CS. Development of solid lipid microparticles loaded with a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*): Potential for increasing antioxidant content in functional foods for diabetic population. *Food Res Int*. 2016; 85:10–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.006>.
44. Hammid. S. A, Assim Z, Ahmad F. Chemical composition of *Cinnamomum* species collected in Sarawak. *UKM Journal Article Repository*. 2016;45(4):627–32.
45. Liyanage T, Madhujith T, Wijesinghe KGG. Comparative study on major chemical constituents in volatile oil of true cinnamon (*Cinnamomum verum Presl. syn. C. zeylanicum Blum*) and five wild cinnamon species grown in Sri Lanka. *Trop Agric Res*. 2017;28(3):270–80. <https://doi.org/10.4038/tar.v28i3.8231>.
46. Shawky E, Selim DA. Rapid Authentication and Quality Evaluation of *Cinnamomum verum* Powder Using Near- Infrared Spectroscopy and Multivariate Analyses. *Planta Med*. 2018;84(18):1380–7. <https://doi.org/10.1055/a-0654-5468>.
47. Vakilwala M, Macan K, Tandel A. Phytochemical Screening, Chemical Composition and Antimicrobial Activity of *Cinnamon verum* Bark. *Int J Innov Sci Res*. 2017;4(4):69–74. <https://doi.org/10.9734/irjpac/2020/v21i1130222>.
48. Abou Khalil R, Rayane BA, Doumit S, Bitar J, Nasser R, Khoury E. Cinnamaldehyde and cinnamic acid from cinnamon bark (*Cinnamomum verum*) increase the binding of glucose to human albumin. *Biochim Clin*. 2018;42(2):112–118. https://doi.org/10.19186/BC_2018.023.
49. Zare R, Nadjarzadeh A, Zarshenas MM, Shams M, Heydari M. Efficacy of cinnamon in patients with type II diabetes mellitus: A randomized controlled clinical trial. *Clin Nutr*. 2019;38(2):549–556. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.03.003>.
50. Alsoodeeri FN, Alqabbani HM, Aldossari NM. Effects of Cinnamon (*Cinnamomum cassia*) Consumption on Serum Lipid Profiles in Albino Rats. *J Lipids*. 2020; 2020:1–7. <https://doi.org/10.1155/2020/8469830>.
51. Hadi A, Campbell MS, Hassani B, Pourmasoumi M, Salehi-sahlabadi A, Hosseini SA. The effect of cinnamon supplementation on blood pressure in adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Nutr ESPEN*. 2020; 36:10–16. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.01.002>.

52. Maruthamuthu R, Ramanathan K. Phytochemical Analysis of Bark Extract of *Cinnamomum verum*: A Medicinal Herb Used for the Treatment of Coronary Heart Disease in Malayali Tribes, Pachamalai Hills, Tamil Nadu, India. *Int J Pharmacogn Phytochem Res*. 2016;8(7):1218–1222.
53. Pratibha, Yadav SS, Bhandari U, Naik G. Antioxidant properties and phytochemical screening of commercial cinnamon bark. *Eur J Biomed Pharm Sci*. 2018;5(2):964–970.
54. Deyno S, Eneyew K, Seyfe S, Tuyiringire N, Peter EL, Muluye RA, Umba TC and Ogowang PE. Efficacy and safety of cinnamon in type 2 diabetes mellitus and pre-diabetes patients: A meta-analysis and meta-regression. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2019.156. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.107815>.
55. Hendre AS, Sontakke A V., Patil SR, Phatak RS. Effect of cinnamon supplementation on fasting blood glucose and insulin resistance in patients with type 2 diabetes. *Pravara Med Rev*. 2019;11(2):4–8.
56. Mousavi SM, Karimi E, Hajishafiee M, Milajerdi A, Amini MR, Esmailzadeh A. Anti-hypertensive effects of cinnamon supplementation in adults: A systematic review and dose-response Meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2020;60(18):3144–3154. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1678012>.
57. Namazi N, Khodamoradi K, Khamechi SP, Heshmati J, Ayati MH, Larijani B. The impact of cinnamon on anthropometric indices and glycemic status in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta- analysis of clinical trials. *Complement Ther Med*. 2019; 43:92–101. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.01.002>.
58. Davari M, Hashemi R, Mirmiran P, Hedayati M, Sahranavard S, Bahreini S, Tavakoly R, and Talaei B. Effects of cinnamon supplementation on expression of systemic inflammation factors, NF-kB and Sirtuin-1 (SIRT1) in type 2 diabetes: A randomized, double blind, and controlled clinical trial. *Nutr J*. 2020;19(1):1–8. <https://doi.org/10.1186/s12937-019-0518-3>.
59. Ranasinghe P, Jayawardena R, Pigera S, Wathurapatha WS, Weeratunga HD, Premakumara GAS, Katulanda P, Constantine GR, and Galappaththy P. Evaluation of pharmacodynamic properties and safety of *Cinnamomum zeylanicum* (Ceylon cinnamon) in healthy adults: A phase I clinical trial. *BMC Complement Altern Med*. 2017;17(1):550. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-2067-7>.

60. Yun JW, You JR, Kim YS, Kim SH, Cho EY, Yoon JH, Kwon E, Ja-June J, Jin-Sung P, Hyung-Chin K, Jeong-Hwan C, and Byeong-Cheol K. *In vitro* and *in vivo* safety studies of cinnamon extract (*Cinnamomum cassia*) on general and genetic toxicology. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2018; 95:115–123. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.02.017>.
61. Kassae SM, Goodarzi MT, Oshaghi EA. Antioxidant, antiglycation and anti-hyperlipidemic effects of *Trigonella foenum* and Cinnamon in type 2 diabetic rats. *Jundishapur J Nat Pharm Prod.* 2018;13(1): e38414. <https://doi.org/10.8512/jjnpp.38414>.
62. Abeysekera WPKM, Arachchige SPG, Abeysekera WKSM, Ratnasooriya WD, Medawatta HMUI. Antioxidant and Glycemic Regulatory Properties Potential of Different Maturity Stages of Leaf of Ceylon Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) *in Vitro. Evid-based Complement Altern Med.* 2019;2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2693795>.
63. Lin GM, Chen YH, Yen PL, Chang ST. Antihyperglycemic and antioxidant activities of twig extract from *Cinnamomum osmophloeum*. *J. Tradit Complement Med.* 2016;6(3):281–288. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2015.08.005>.
64. Kaskoos RA. GC/MS Profile and *in-vitro* Antidiabetic Activity of *Cinnamomum zeylanicum* Blume Bark and *Trachyspermum ammi* (L.) Sprague, Seeds. *J Essent Oil Bear Plants.* 2019;22(2):535–544. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1612281>.
65. Sharafeldin K, Rizvi MR. Effect of traditional plant medicines (*Cinnamomum zeylanicum* and *Syzygium cumini*) on oxidative stress and insulin resistance in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Basic Appl Zool.* 2015; 72:126–134. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2015.09.002>.
66. Lin GM, Hsu CY, Chang ST. Antihyperglycemic activities of twig extract of indigenous cinnamon (*Cinnamomum osmophloeum*) on high-fat diet and streptozotocin-induced hyperglycemic rats. *J Sci Food Agric.* 2018;98(15):5908–5915. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9286>.
67. Rajasekhar C, Nayak N, Kokila BN, Rao UK, Vijayaraghavan S. Quantification and comparison of insulin sensitizing property of aqueous extract of *Cinnamomum zeylanicum* bark with rosiglitazone in steroid induced insulin resistance in wistar rats Quantification and comparison of insulin. *J Chem Pharm Res.* 2016; 8:32–39.

68. Qusti S, El Rabey HA, Balashram SA. The Hypoglycemic and Antioxidant Activity of Cress Seed and Cinnamon on Streptozotocin Induced Diabetes in Male Rats. *Evid-based Complement Altern Med.* 2016; 2016:5614564. <https://doi.org/10.1155/2016/5614564>.
69. Hosni AA, Abdel-Moneim AA, Abdel-Reheim ES, Mohamed SM, Helmy H. Cinnamaldehyde potentially attenuates gestational hyperglycemia in rats through modulation of PPAR, proinflammatory cytokines and oxidative stress. *Biomed Pharmacother.* 2017; 88:52–60. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.01.054>.
70. Anderson RA, Zhan Z, Luo R, Guo X, Guo Q, Zhou J, Kong J, Davis PA and Stocecker BJ. Cinnamon extract lowers glucose, insulin and cholesterol in people with elevated serum glucose. *J Tradit Complement Med.* 2016;6(4):332–336. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2015.03.005>
71. Tangvarasittichai S, Sanguanwong S, Sengsuk C, Tangvarasittichai Y. Effect of Cinnamon Supplementation on Oxidative Stress, Inflammation and Insulin Resistance in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Artic Int J Toxicol Pharmacol Res.* 2015;7 (4):158–164. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2017.04.008>.
72. Crawford P, Thai C, Obholz J, Schievenin J, Shah SA, Hallgren J, Clark J and Sharon D. Assessment of the effect of lifestyle intervention plus water-soluble cinnamon extract on lowering blood glucose in pre- diabetics, a randomized, double-blind, multicenter, placebo-controlled trial: Study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2016;17(1):9. <https://doi.org/10.1186/s13063-015-1138-7>.
73. Gupta Jain S, Puri S, Misra A, Gulati S, Mani K. Effect of oral cinnamon intervention on metabolic profile and body composition of Asian Indians with metabolic syndrome: A randomized double -blind control trial. *Lipids Health Dis.* 2017;16(1):113-74
74. Sengsuk C, Sanguanwong S, Tangvarasittichai O, Tangvarasittichai S. Effect of cinnamon supplementation on glucose, lipids levels, glomerular filtration rate, and blood pressure of subjects with type 2 diabetes mellitus. *Diabetol Int.* 2016;7(2):124–132. <https://doi.org/10.1007/s13340-015-0218-y>.
75. Shahid M, Khalid S, Waseem H. Therapeutic potential of Cinnamon against Glycemic Index among males and females. *Ann Res.* 2020; 1:24–29.
76. Romeo GR, Lee J, Mulla CM, Noh Y, Holden C, Lee BC. Influence of cinnamon on glycemic control in individuals with prediabetes: A randomized controlled trial. *J Endocr Soc.* 2020;4(11): bvaa094. <https://doi.org/10.1210/jendso/bvaa094>.

77. Wright CB, Calder S, Humphries L. Effect of cinnamon on postprandial glucose. *J Diabetes Res.* 2015;564(21):1–7. <https://doi.org/10.1155/2015/913651>.
78. Sahib AS. Anti-diabetic and antioxidant effect of cinnamon in poorly controlled type-2 diabetic Iraqi patients: A randomized, placebo-controlled clinical trial. *J Intercult Ethnopharmacol.* 2016;5(2):108–113. <https://doi.org/10.5455/jice.20160217044511>.
79. Mirmiranpour H, Huseini HF, Derakhshanian H, Khodaii Z, Tavakoli-Far B. Effects of probiotic, cinnamon, and synbiotic supplementation on glycemic control and antioxidant status in people with type 2 diabetes; a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *J Diabetes Metab Disord.* 2020;19(1):53–60. <https://doi.org/10.1007/s40200-019-00474-3>.
80. Tangvarasittichai S, Sanguanwong S, Sengsuk C, Tangvarasittichai O. Effect of Cinnamon Supplementation on Oxidative Stress, Inflammation and Insulin Resistance in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Int J Toxicol Pharmacol Res.* 2015;7(4):1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2017.04.008>.
81. Gupta Jain S, Puri S, Misra A, Gulati S, Mani K. Effect of oral cinnamon intervention on metabolic profile and body composition of Asian Indians with metabolic syndrome: A randomized double-blind control trial. *Lipids Health Dis.* 2017;16(1):113–124.
82. Song MY, Kang SY, Kang A, Hwang JH, Park YK, Jung HW. *Cinnamomum cassia* Prevents High-Fat Diet-Induced Obesity in Mice through the Increase of Muscle Energy. *Am J Chin Med.* 2017;45(5):1017–1031. <https://doi.org/10.1142/S0192415X17500549>.
83. Kaur N, Chugh H, Tomar V, Sakharkar MK, Dass SK, Chandra R. Cinnamon attenuates adiposity and affects the expression of metabolic genes in Diet-Induced obesity model of zebrafish. *Artif Cells, Nanomedicine Biotechnol.* 2019;47(1):2930–2939. <https://doi.org/10.1080/21691401.2019.1641509>.
84. Lopes BP, Gaique TG, Souza LL, Paula GSM, Kluck GEG, Atella GC, Gomes ANC, Simas NK, Kuster RM, Ortega- Carvalho TM, Pazos-Moura CC, and Oliveira KJ. Cinnamon extract improves the body composition and attenuates lipogenic processes in the liver and adipose tissue of rats. *Food Funct.* 2015;6(10):3257–3265. <https://doi.org/10.1039/c5fo00569h>.
85. Kwan HY, Wu J, Su T, Chao XJ, Liu B, Fu X, Leung C, Hiu R, Kai A, Bin Q, Fong WF and Zhi-Ling Y. Cinnamon induces browning in subcutaneous adipocytes. *Sci Rep.* 2017;7(1):1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02263-5>.

86. Kim MS, Kim JY. Cinnamon subcritical water extract attenuates intestinal inflammation and enhances intestinal tight junction in a Caco-2 and RAW264.7 co-culture model. *Food Funct.* 2019;10(7):4350–4360. <https://doi.org/10.1039/c9fo00302a>.
87. Schink A, Naumoska K, Kitanovski Z, Kampf CJ, Fröhlich- Nowoisky J, Thines E, Poschl U, Schuppan D, and Lucas K. Anti-inflammatory effects of cinnamon extract and identification of active compounds influencing the TLR2 and TLR4 signaling pathways. *Food Funct.* 2018;9(11):5950–5964. <https://doi.org/10.1039/c8fo01286e>.
88. Hagenlocher Y, Hösel A, Bischoff SC, Lorentz A. Cinnamon extract reduces symptoms, inflammatory mediators and mast cell markers in murine IL-10^{-/-} colitis. *J Nutr Biochem.* 2016; 30:85–92. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.11.015>.
89. Sayad-Fathi S, Zaminy A, Babaei P, Yousefbeyk F, Azizi N, Nasiri E. The methanolic extract of *Cinnamomum zeylanicum* bark improves formaldehyde-induced neurotoxicity through reduction of phospho-tau (Thr231), inflammation, and apoptosis. *EXCLI J.* 2020; 19:671–686.
90. Haidari F, Mohammadshahi M, Abiri B, Zarei M, Fathi M. Cinnamon extract supplementation improves inflammation and oxidative stress induced by acrylamide: An experimental animal study. *Avicenna J phytomed.* 2020;10(3):243–252. <https://doi.org/10.22038/AJP.2019.13899>.
91. Sohrabi M, Alahgholi-Hajibehzad M, Mahmoodian ZG, Siyar SAH, Zamani A. Effect of cinnamon and turmeric aqueous extracts on serum interleukin-17F level of high fructose-fed rats. *Iran J Immunol.* 2018;15(1):38–46.
92. Zareie A, Sahebkar A, Khorvash F, Bagherniya M, Hasanzadeh A, Askari G. Effect of cinnamon on migraine attacks and inflammatory markers: A randomized double-blind placebo-controlled trial. *Phyther Res.* 2020;34(11):2945–2952. <https://doi.org/10.1002/ptr.6721>.
93. Hoi JK, Lieder B, Liebisch B, Czech C, Hans J, Ley JP and Somoza V. TRPA1 Agonist Cinnamaldehyde Decreases Adipogenesis in 3T3-L1 Cells More Potently than the Non-agonist Structural Analog Cinnamyl Isobutyrate. *ACS Omega.* 2020;5(51):33305–33313. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05083>.
94. Nwaka C, Onochie A, Nwaka A, Olisah M. Comparative studies on the effects of *Zingiber officinale* and *Cinnamomum zeylanicum* diets on the lipid profile, body

- weight, liver and kidney functions of male wistar rats. *IDOSR J Sci Res*. 2019;4(1):91–101.
95. Kassae SM, Goodarzi MT, Roodbari NH, Yaghmaei P. The effects of *Cinnamomum zeylanicum* on lipid profiles and histology via up-regulation of LDL receptor gene expression in hamsters fed a high cholesterol diet. *Jundishapur J Nat Pharm Prod*. 2017;12(3): e37340. <https://doi.org/10.5812/jjnpp.37340>.
 96. Arisha SM, Sakr SA, Abd-Elhaseeb FR. *Cinnamomum zeylanicum* alleviate testicular damage induced by high fat diet in albino rats; histological and ultrastructural studies. *Heliyon*. 2020;6(11):67–83. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05584>.
 97. Bastos MS, Del Vesco AP, Santana TP, Santos TS, De Oliveira Junior GM, Fernández RPM, Teixeira BL and Gasparino E. The role of cinnamon as a modulator of the expression of genes related to antioxidant activity and lipid metabolism of laying quails. *PLoS One*. 2017;12(12):1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189619>.
 98. Tilavat Y, Parmar R. Efficacy of *Cinnamomum Zeylanicum* and *Cinnamomum Tamala* in the Management of Hypercholesterolemia. *J Ayurveda Integr Med Sci*. 2017;2(2):69–72. <https://doi.org/10.21760/jaims.v2i02.144>.
 99. Borzoei A, Rafrat M, Niromanesh S, Farzadi L, Narimani F, Doostan F. Effects of cinnamon supplementation on antioxidant status and serum lipids in women with polycystic ovary syndrome. *J Tradit Complement Med*. 2018;8(1):128–133. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2017.04.008>.
 100. Shirzad F, Morovatdar N, Rezaee R, Tsarouhas K. Cinnamon effects on blood pressure and metabolic profile: A double-blind, randomized, placebo-controlled trial in patients with stage 1 hypertension. *Avicenna J Phytomed*. 2020;7(11):1–10.
 101. Nagendra Nayak IM, Rajasekhar C, Jetty R. Anti- atherosclerotic potential of aqueous extract of *Cinnamomum zeylanicum* bark against glucocorticoid induced atherosclerosis in wistar rats. *J Clin Diagnostic Res*. 2017;11(5):FC19–F23. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/23910.9864>.
 102. Ranjini HS, Padmanabha Udupa EG, Kamath SU, Setty M, Hadapad B, Kamath A. An in vitro study of *Cinnamomum zeylanicum* as natural inhibitor of angiotensin-converting enzyme (ACE) on sheep (*ovis aries*) tissues. *Asian J Pharm Clin Res*. 2016;9(5):249–252. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2016.v9i5.13424>.

103. Sedighi M, Nazari A, Faghihi M, Rafieian-Kopaei M, Karimi A, Moghimian M, Mozaffarpur SA, Rashidipour M, Namdari M, Cheraghi M, and Rasouli B. Protective effects of cinnamon bark extract against ischemia–reperfusion injury and arrhythmias in rat. *Phyther Res.* 2018;32(10):1983–1991. <https://doi.org/10.1002/ptr.6127>.
104. Ndoen YEJ, Triwahyuni P, Boyoh DY. The Effectiveness of *Ceylon Cinnamon* powder (*Cinnamomum Zeylanicum*) for adult women's blood pressure. *J Int Sch Conf.* 2016;1(5):150–154.
105. Puttaswamy NY, Rupini GD, Ahmed F, Urooj A. *In vitro* hypoglycemic potential of spices: Cinnamon and Cumi. *Pak J Pharm Sci.* 2018;31(6):2367–2372.
106. 106. Cenobio-Galindo A de J, Pimentel-González DJ, Del Razo-Rodríguez OE, Medina-Pérez G, Carrillo-Inungaray ML, Reyes-Munguía A, Campos-Montiel RG. Antioxidant and antibacterial activities of a starch film with bioextracts microencapsulated from cactus fruits (*Opuntia oligacantha*). *Food Sci Biotechnol.* 2019;28(5):1553–1561. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00586-9>.
107. Nagendra Nayak IM, Rajasekhar C, Jetti R. Anti- atherosclerotic potential of aqueous extract of *Cinnamomum zeylanicum* bark against glucocorticoid induced atherosclerosis in wistar rats. *J Clin Diagnostic Res.* 2017;11(5):19–23. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/23910.9864>.
108. Taheri A, Lavasani H, Kasirzadeh S, Sheikholeslami B, Ardakani YH, Rouini MR. Changes in CYP2D enzyme activity following induction of type 2 diabetes, and administration of cinnamon and metformin: an experimental animal study. *Xenobiotica.* 2018;48(10):984–989. <https://doi.org/10.1080/00498254.2017.1390626>.
109. Talaei B, Amouzegar A, Sahranavard S, Hedayati M, Mirmiran P, Azizi F. Effects of cinnamon consumption on glycemic indicators, advanced glycation end products, and antioxidant status in type 2 diabetic patients. *Nutrients.* 2017;9(9):991. <https://doi.org/10.3390/nu9090991>.
110. Song MY, Kang SY, Kang A, Hwang JH, Park YK, Jung HW. *Cinnamomum cassia* Prevents High-Fat Diet-Induced Obesity in Mice through the Increase of Muscle Energy. *Am J Chin Med.* 2017;45(5):1017–1031. <https://doi.org/10.1142/S0192415X17500549>.

111. Alsoodeeri FN, Alqabbani HM, Aldossari NM. Effects of Cinnamon (*Cinnamomum cassia*) Consumption on Serum Lipid Profiles in Albino Rats. *J Lipids*. 2020;2020: 8469830. <https://doi.org/10.1155/2020/8469830>.
112. Azimi P, Ghiasvand R, Feizi A, Hosseinzadeh J, Bahreynian M, Hariri M, Khosvari-Boroujeni H. Effect of cinnamon, cardamom, saffron and ginger consumption on blood pressure and a marker of endothelial function in patients with type 2 diabetes mellitus: A randomized controlled clinical trial. *Blood Press*. 2016;25(3):133–140. <https://doi.org/10.3109/08037051.2015.1111020>

CAPÍTULO 2

Capacidad Antioxidante y Caracterización Fisicoquímica de Extractos Acuosos Microencapsulados de Canela (*Cinnamon zeylanicum*) por Spray-Dryer

Biointerface Research in Applied Chemistry

Open-Access Journal (ISSN: 2069-5837)

Article

Volume 13, Issue 6, 2023, 537

<https://doi.org/10.33263/BRIAC136.537>

Antioxidant Capacity and Physicochemical Characterization of Microencapsulated Aqueous Extracts of Cinnamon (*Cinnamon zeylanicum*) by Spray-Dryer

María Fernanda Ríos-Pérez,¹ Aurora Quintero-Lira,^{1*} Javier Piloni-Martini,¹ Sergio Soto-Simental,¹ Cesár Uriel López-Palestina,¹ Thania Alejandra Urrutia-Hernández,¹ Raquel Cariño-Cortés,² Abigail Reyes-Munguía³

¹ School of Agricultural Sciences, Autonomous University of the State of Hidalgo. University Avenue Km. 1 5 s/n Exhacienda Aquetzalpa, 43600 Tulancingo de Bravo, Hidalgo, Mexico; ri171484@uaeh.edu.mx (F.R.P.); aurora_quintero1489@uaeh.edu.mx (A.Q.L.); javier_piloni7632@uaeh.edu.mx (J.P.M.); sotos@uaeh.edu.mx (S.S.S.); cesar_lopez@uaeh.edu.mx (C.U.L.P.); thania_urrutia9356@uaeh.edu.mx (T.A.U. H.);

² Laboratory of Medicinal Chemistry and Pharmacology, Biology of Reproduction Center of Research, 8 Department of Medicine, School of Health Sciences, Autonomous University of the State of Hidalgo. 9 Pachuca, Mexico; raquel_carino4897@uaeh.edu.mx (R.C.C.);

³ Chemical Sciences, Autonomous University of San Luis Potosí. Manuel Nava Avenue No. 6, Zona 11 Universitaria, San Luis Potosí, Mexico. abigail.reyes@uaslp.mx (A.R.M.);

* Correspondence: aurora_quintero1489@uaeh.edu.mx (A.Q.L.); javier_piloni7632@uaeh.edu.mx (J.P.M.)

Scopus Author ID 43061529600

Received: 14.11.2022; Accepted: 5.03.2023; Published: 7.02.2023

Abstract: Cinnamon has a significant content of bioactive compounds, mainly flavonoids, that have biological activities that promote anti-inflammatory, lipid-lowering, antidiabetic, and cardioprotective effects, which are susceptible to oxidative degradation in the presence of external factors. Therefore, it is required to use a technique that improves its storage, chemical stability, and bioavailability, with microencapsulation by spray as one of the best protection options. Therefore, this research proposes the following objective: aqueous microencapsulated extract of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) by spray dryer to determine the antioxidant capacity and its physicochemical characteristics. The conditions for obtaining an aqueous extract of cinnamon by ABTS were determined; the extract was microencapsulated with maltodextrin and acacia gum in four different proportions: 12.5% maltodextrin (M) + 12.5% acacia gum (GA), 5 % M + 15% GA, 10% M + 10% GA and 5% M + 5% GA. Physicochemical characterization was performed on the microencapsulates with the highest content and antioxidant capacity. Obtaining microencapsulated aqueous extract of cinnamon with (498.14 µg AG phenols, 85.03 µg catechin flavonoids, and 76.33% DPPH inhibition) $p < 0.05$ and suitable physicochemical characteristics for its improvement in a food matrix, emphasizing its potential use as a natural antioxidant ingredient.

Keywords: *Cinnamon zeylanicum*; antioxidants; microencapsulated.

© 2023 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Figura 1. Portada artículo original publicado

2.1. Resumen

La canela tiene un contenido significativo de compuestos bioactivos, principalmente flavonoides, que tienen actividades biológicas que promueven efectos antiinflamatorios, hipolipemiantes, antidiabéticos y cardioprotectores, que son susceptibles de degradación oxidativa en presencia de factores externos. Por lo tanto, se requiere utilizar una técnica que mejore su almacenamiento, estabilidad química y biodisponibilidad, siendo la microencapsulación por aspersión una de las mejores opciones de protección. Por lo tanto, esta investigación se propone como objetivo: extracto acuoso microencapsulado de canela (*Cinnamomum zeylanicum*), por atomización, para determinar la capacidad antioxidante y sus características fisicoquímicas. Se determinaron las condiciones para la obtención de un extracto acuoso de canela por ABTS; el extracto se microencapsuló con maltodextrina y goma arábica en cuatro proporciones diferentes: 12.5 % maltodextrina (M) + 12.5 % goma arábica (GA), 5 % M + 15 % GA, 10 % M + 10 % GA y 5 % M + 5 % AG. Se realizó la caracterización fisicoquímica de los microencapsulados con mayor contenido y capacidad antioxidante. Obtención de extracto acuoso microencapsulado de canela con (498.14 µg AG fenoles, 85.03 µg catequinas flavonoides y 76.33% inhibición DPPH) $p < 0.05$ y características fisicoquímicas adecuadas para su mejora en una matriz alimentaria, destacando su potencial uso como ingrediente antioxidante natural.

Palabras clave: *Cinnamomum zeylanicum*, antioxidantes, microencapsulado.

2.2. Introducción

La canela es una especia que se comercializa en barra o en polvo (1) y se obtiene de la corteza seca de los árboles del género *Cinnamomum* (2) Se utiliza para mejorar el sabor de alimentos y bebidas (3). Aporta proteína, fibra, componentes volátiles, vitaminas (A, B, K y C) y minerales como potasio, calcio, sodio, magnesio, manganeso, fósforo, colina, nitrógeno, cobre, hierro y zinc (4) . También contiene antioxidantes que eliminan las especies reactivas del oxígeno, como los aniones superóxido, los radicales hidroxilo y otros radicales libres (3,5). Además, la canela tiene compuestos bioactivos con efectos comprobados en la salud humana, que incluyen un aumento del flujo sanguíneo, propiedades anticancerígenas como antimutagénica y antitumoral, hipoglucemiante, antilipidémica, antimicrobiana (microbios, bacterias y hongos), trastornos digestivos (diarrea y flatulencia), problemas respiratorios (asma y bronquitis), infecciones, regeneración tisular, acción antiinflamatoria, hepatoprotectora y pérdida de peso (6–9). Sin embargo, estos compuestos bioactivos son químicamente inestables. Sufren reacciones de degradación oxidativa en presencia de factores externos como el calor, la luz, el oxígeno y la humedad (10), deteriorando los compuestos fenólicos, generando radicales libres, dando sabor amargo y sensación de astringencia, afectando la aceptabilidad del producto entre los consumidores (3,10,11). La microencapsulación es una técnica en la que los compuestos bioactivos se encapsulan con una película de recubrimiento continua para formar micropartículas (12). Una vez encapsuladas dentro de un polímero, las micropartículas quedan protegidas contra la acción de los agentes atmosféricos como la luz, la humedad, el calor, el pH y el oxígeno, manteniendo así su estabilidad y aumentando su biodisponibilidad y vida útil. Durante las fases de procesamiento y almacenamiento de la técnica, se reduce la degradación por oxidación o hidrólisis, lo que enmascara los sabores u olores y permite una liberación controlada y dirigida (3,11,13–17). Esta técnica consiste en el secado por aspersión por atomización mediante la atomización de un líquido combinado con materiales de pared como: goma acacia, ciclodextrinas y maltodextrina en una corriente de gas caliente para obtener un polvo por medio de un inyector que incluye una corriente de secado en caliente gasolina (12). Este

enfoque es la técnica de microencapsulación más utilizada en la industria alimentaria, debido a la simplicidad del proceso (15), bajo costo, flexibilidad de operación continua, alta estabilidad del producto final, reducción de volumen, facilidad de manejo, transporte y almacenamiento de las partículas (13). Por las razones antes mencionadas, el trabajo tiene como objetivo microencapsular los extractos acuosos de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) por atomización para determinar la capacidad antioxidante y las características fisicoquímicas.

2.3. Materiales y métodos

2.3.1. Obtención de materias primas y extractos acuosos

La corteza de *Cinnamomum zeylanicum blume* se obtuvo de un distribuidor local en la Ciudad de México. Para la obtención del extracto acuoso se utilizaron tres métodos diferentes. La extracción por decocción consiste en poner 10 g de corteza de canela en un matraz cortado en trozos de 1 cm con 100 mL de agua destilada en una placa caliente hasta alcanzar los 92 °C siguiendo las indicaciones de (18). Para el método de infusión, en un vaso de precipitados se colocó agua caliente (70 y 90 °C) con un g de canela durante 60 minutos (19). Para el baño de agua el método se realizó agregando 0.1 g de canela a 10 mL de agua destilada en tubos falcon que luego se colocaron en un baño de agua a 70 y 90 °C (20). Durante el proceso de obtención del extracto acuoso se adquirieron muestras a los 5, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min. Luego las muestras fueron filtradas a través de Whatman no. 2 papel. Una vez que se midió la capacidad antioxidante de las muestras usando el radical ABTS (2,2'-azino-bisácido (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)) según Zehiroglu et al. (21).

2.3.2. Caracterización del extracto acuoso

Los fenoles totales se determinaron utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu siguiendo el método descrito por Mohamed et al. (22). Leer las muestras a 750 nm con un espectrofotómetro Shimadzu modelo UV-1280 (SHIMADZU Corporation, Kioto, Japón). Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (mg GAE). Los flavonoides se midieron utilizando el método colorimétrico de cloruro de aluminio, como lo indica Mohamad et al. (23). La lectura se realizó a 415

nm de absorbancia utilizando el espectrofotómetro mencionado anteriormente. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de catequina por 100 mL de extracto. La cuantificación de la actividad antioxidante se realizó con el radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) utilizando un espectrofotómetro descrito anteriormente. Los resultados se expresaron en g de muestra por g de DPPH (24). Además, ABTS, según Zehiroglu et al. (21). La acidez titulable se midió según Goeltz y Cuevas (25), y la humedad se determinó en un horno TERLAB modelo T-H-45DM (TERLAB, Guadalajara, México) a 37 °C según métodos 925.10 de la AOAC (26). Los sólidos solubles se determinaron utilizando un refractómetro Atago modelo Smart-1 (Atago, Bellevue, Washington, U.S.A.) siguiendo las indicaciones de Cassol et al. (27). Asimismo, se determinó la solubilidad del microencapsulado por el método gravimétrico en base al porcentaje en peso del desecho que no pasó por el papel filtro (24). La densidad aparente se midió según Boyano-Orozco et al. (24). El valor de pH se midió con un pHmetro Hanna modelo HI 2211 (HANNA Instruments, Monterrey, México) siguiendo el método 939.05 de la AOAC (26). La determinación del color se realizó con el colorímetro Minolta CM-508d (KONICA MINOLTA, New Jersey, EE. UU.). Los datos obtenidos fueron interpretados bajo el sistema internacional CIELab, que estima las desviaciones entre los parámetros L* (Ligereza), a* (rojez) y b* (amarillez). Todas las muestras se realizaron por triplicado (28). Para identificar los compuestos químicos presentes en el extracto se realizaron las siguientes pruebas fitoquímicas de reacciones colorimétricas: alcaloides por prueba de Mayer, esteroides por reacción de Liebermann-Burchard (29), insaturaciones, lactonas sesquiterpénicas por prueba de Baljet, flavonoides por prueba de ácido sulfúrico, saponinas por prueba de Salkowski y Shinoda (30), cumarinas por prueba de hidróxido de sodio, hidroxilos fenólicos por prueba de cloruro de hierro, glucósidos de antraquinona por prueba de Borntrager, glucósidos cardíacos por prueba de Keller-Killiani, así como determinando quinonas, oxalatos, taninos y antocianinas (22).

2.3.3. Microencapsulación de extracto acuoso

Para microencapsular el extracto acuoso, se utilizaron cuatro mezclas diferentes de maltodextrina (M) y goma arábica (E414, AG) para optimizar el extracto de canela. Las mezclas fueron T1 (M:12.5 %, AG:12.5 %), T2 (M:5 %, AG:15 %), T3 (M:10 %, AG:10 %), T4 (M:5 %, AG:5 %) El extracto de canela se mezcló y homogeneizó utilizando un homogeneizador IKA modelo T25 (IKA Works, Inc., Wilmington, EE. UU.) configurado a 9000 rpm durante 30 minutos, luego las mezclas se agitaron durante 24 h a temperatura ambiente, según indicado por Cenobio-Galindo et al. (31). Luego, las muestras se secaron utilizando un mini atomizador Büchi modelo B-290 (BÜCHI Labortechnik AG, Meierseggstrasse, Suiza), el equipo se configuró para mantener una temperatura de entrada de 160 °C, una presión de 4 bar y un flujo de 10 mL.min⁻¹ según lo indicado por Martínez et al. (32). El microencapsulado obtenido se almacenó en bolsas herméticas hasta su uso.

2.3.4. Determinaciones fisicoquímicas en la microencapsulación

La humedad y la solubilidad se determinaron de acuerdo con Cassol et al. (27), el pH se siguió con los métodos 939.05 de la AOAC (26), la densidad aparente se midió de acuerdo con Boyano-Orozco et al. (24) y se determinó el color de los datos. según El-Messery et al. (28). Todas las muestras se realizaron por triplicado.

2.3.5. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar para analizar los datos. Se utilizó un diseño unidireccional de tiempo repetido para analizar los métodos para obtener el extracto. Luego se realizó un análisis de varianza siguiendo el procedimiento del modelo lineal general y una prueba de Tukey para determinar diferencias significativas ($p < 0.05$). Todos los análisis se determinaron utilizando el software SPSS ver. 25.

2.4. Resultados y discusión

2.4.1. Extracto acuoso de *Cinnamon zeylanicum*

El extracto acuoso contiene compuestos bioactivos a través de una extracción segura (18). En la tabla 1 se muestra el porcentaje de inhibición del radical ABTS obtenido a partir de las técnicas y tiempos de preparación de los extractos acuosos evaluados. Se puede observar que la técnica de decocción contiene la mayor actividad de inhibición de ABTS de 5 a 20 min y de 92.96 a 95.89%. Esto en comparación con la técnica de infusión a 70-90 °C y la técnica de baño a 70 °C, que reportan su mayor actividad a los 20 y 30 min, respectivamente, y la técnica de infusión a 90 °C, que presenta la mayor actividad a los 50 min. Esto podría deberse a que la materia prima consiste en corteza de árbol con una textura dura y semiporosa, lo que significa que podría requerir una mayor exposición al calor para liberar estos compuestos (14). Pasado este tiempo, se observa una disminución porcentual en todas las técnicas, lo que indica la pérdida de antioxidantes por exposición al calor.

Tabla 1. Efecto del método y tiempo de extracción sobre la actividad antioxidante del extracto acuoso de canela

Tiempo	Método de extracción				
	B70	B90	Dec	Inf70	Inf90
5	59.18 ^{bB}	54.61 ^{bB}	92.96 ^{aA}	43.75 ^{bB}	34.69 ^{bB}
10	62.78 ^{bB}	67.12 ^{aB}	93.73 ^{aA}	47.06 ^{aC}	39.84 ^{bC}
20	53.47 ^{bB}	61.79 ^{bB}	95.89 ^{aA}	56.12 ^{aB}	41.01 ^{bB}
30	70.63 ^{aB}	71.09 ^{aB}	94.63 ^{aA}	65.90 ^{aB}	40.84 ^{bB}
40	73.43 ^{aB}	71.67 ^{aB}	94.47 ^{aA}	66.53 ^{aB}	39.70 ^{bC}
50	54.06 ^{bC}	66.83 ^{aB}	94.99 ^{aA}	49.31 ^{bC}	49.04 ^{aC}
60	43.97 ^{cC}	72.94 ^{aB}	94.07 ^{aA}	56.67 ^{aC}	45.75 ^{aB}

abc Superíndice diferente indica diferencias significativas entre filas ($p < 0,05$). ABC Superíndice diferencia indica diferencias significativas entre columnas ($p < 0,05$). 1B70= Baño María a 70°C, B90= Baño María a 90 °C, Dec= decocción, Inf70= infusión a 70 °C, Inf90= Infusión a 90 °C.

2.4.2. Características del extracto acuoso de *Cinnamon zeylanicum*

Las características del extracto son importantes para explicar las propiedades beneficiosas para una relación saludable con sus compuestos bioactivos (33). En la

Tabla 2, se observó que el contenido fenólico del extracto de *Cinnamomum zeylanicum* para la concentración 1:100 fue de 304.62 mg/g AG $\pm$ 12.6, y para el contenido de flavonoides fue de 18.36 μ g catequina/mL extracto $\pm$ 0.57. El contenido fenólico para la concentración 10:100 fue de 356 mg/g AG $\pm$ 27.2, mientras que el contenido de flavonoides se midió en 23.2 $\pm$ 0.89 μ g de catequina/mL de extracto. La capacidad antioxidante para DPPH fue de 57.23% para la concentración 1:100, mientras que para la concentración 10:100 el valor fue de 71.55%. En cuanto al porcentaje de inhibición para ABTS, en la concentración 1:100 se obtuvo una inhibición del 73.42%, mientras que para la concentración 10:100 fue de aproximadamente 92.98%. El contenido fenólico para los extractos acuosos reportados en ambas concentraciones (1:100 y 10:100) se encuentran dentro del rango indicado por Dudonné et al. (34), el cual se planteó como 300-400 mg / g AG, Jayaprakasha et al. (35) confirmaron que los extractos con agua contenían el contenido fenólico más alto en comparación con las técnicas de extracción con metanol, acetona y acetato de etilo. Dudonné et al. (34) afirmaron que los compuestos fenólicos son el principal contribuyente de las propiedades antioxidantes en extractos acuosos. extractos de canela y compuestos identificados derivados de flavan-3-oles como catequina, epicatequina, procianidinas y ácidos fenólicos. Los flavonoides contenidos en el extracto acuoso a una concentración de 1:100 mL son ligeramente superiores a los obtenidos por Muhammad et al. (14), quienes reportaron un contenido de 17 mg de equivalentes de quercetina por gramo de extracto acuoso de *Cinnamon burmannii* (1 :100). En cambio, la concentración de 10:100 presentó un valor muy superior con 23.2 μ g de catequina / mL de extracto. Alí et al. (36) informaron un contenido total de flavonoides en el rango de 2.03 a 3.3 g QE / 100 g en la extracción de compuestos fenólicos de la canela. Estos valores se encuentran dentro del rango obtenido para ambas concentraciones de extracto evaluadas en esta investigación. La capacidad antioxidante de los extractos acuosos evaluados a concentraciones de 1:100 y 10:100 es ligeramente inferior al porcentaje de inhibición por DPPH (84.43%) obtenido por Dudonné et al. (34) y ligeramente superior al porcentaje de inhibición obtenido por ABTS (64.88%) de la misma investigación. En el artículo de Dudonné et al. (34) se hicieron extractos de

la misma especie evaluada moliendo la barra mientras se creaba la concentración con un evaporador, lo que demuestra que la técnica de procesamiento influye en la actividad antioxidante contenida en los extractos. La relación positiva entre la concentración de sustancias fenólicas y la actividad antioxidante mostrada sugiere el potencial del uso de la canela como fuente natural de antioxidantes, lo que puede ser beneficioso para la salud humana (37). Los valores obtenidos para fenoles en los microencapsulados son similares a los reportados por Ismail et al. (38) (269.9 mg GAE / 100 g muestra) para las tres primeras formulaciones, mientras que la formulación con menor contenido de material de pared obtuvo casi el doble de este valor (498.14 μ g AG / mL). El contenido de flavonoides reportado por Ismail et al. (38) fue de 62.1 mg equivalentes de catequina CE / 100 g de muestra, el cual, al compararlo con lo reportado en esta investigación, es ligeramente inferior al valor obtenido en la última formulación y superior a la obtenida en las tres primeras formulaciones evaluadas. Estas diferencias podrían deberse al material de la pared ocupada y a la concentración de la emulsión microencapsulada de Ismail et al. (38) que facilitó una microencapsulación exitosa y la liberación de los flavonoides contenidos en los extractos acuosos en comparación con las tres primeras formulaciones probadas en esta investigación. Para la caracterización fisicoquímica del extracto acuoso de canela a una concentración de 1:100, el pH fue de 6.37 ± 0.14 , el ácido cinámico fue de 0.03 %, mientras que el porcentaje de materia seca encontrado fue de $92.57 \% \pm 2.46$ junto con una solubilidad de 0.07 ± 0.01 g / mL. En cambio, la concentración de 10:100 presentó un pH de 6.82 ± 0.12 , ácido cinámico de 0.04 %, materia seca de $95.17 \% \pm 2.24$ y solubilidad de 0.11 ± 0.02 g / mL. El color se midió con un colorímetro sobre los extractos obtenidos a partir de dos concentraciones (1:100 y 10:100) por decocción durante 5 min. Se observó una mayor luminosidad y una tendencia a los tonos rojos y amarillos en la parte exterior de la rama de canela en comparación con su parte interior, que presentaba una menor luminosidad, por lo que se oscurecía. El extracto a una concentración de 1:100 presentó una luminosidad de 37.19 ± 5.38 , con tendencia a una coloración roja de 2.62 ± 0.18 y una coloración amarilla de 22.09 ± 1.55 . Fue menos luminoso que el extracto concentrado a las 10:100, que presentó una luminosidad de $51.29 \pm$

0.42 y tuvo mayor tendencia a la coloración roja de 3.29 ± 0.55 y amarilla de 29.21 ± 2.98 . Los compuestos químicos identificados en la concentración 1:100 se puede observar la presencia de lactonas sesquiterpénicas, flavonoides (flavonas), cumarina y glucósido de antraquinona, mientras que para la concentración 10:100 se encontraron los compuestos químicos antes mencionados así como instauraciones, saponinas, hidroxilos fenólicos, taninos y antocianinas. Para la caracterización fisicoquímica del extracto acuoso de canela, el valor de pH obtenido en las dos concentraciones evaluadas (1:10 y 10:100) fue superior al reportado por Kirana y Sunartharum (39) para *Cinnamon burmannii* infusión a 100 °C (4.87) . Esto puede deberse a que la técnica de infusión disminuye el valor de pH, por lo que el extracto se vuelve más ácido, ya que este valor para la infusión de *Cinnamon zeylanicum* fue menor que el obtenido por decocción (5,96). El porcentaje de ácido cinámico contenido en el extracto acuoso de canela es del 0.04%; el aceite de canela contiene de 3 a 4 % de ácido cinámico (40), mientras que el aceite de canela requiere de 1 a 1.42 ml para su neutralización (41), lo que significa que es más ácido que el extracto acuoso (42). Los porcentajes de materia seca para ambas concentraciones son superiores a los reportados luego de 5 horas de secado (90.61 %) para la especie *zeylanicum*, mostrando valores constantes luego de 24 horas de secado (43). Esta diferencia puede estar relacionada con el proceso de elaboración de la molienda, que da como resultado un mayor contacto de calor superficial debido al tamaño de partícula más pequeño, logrando así una mejor extracción de humedad que la canela en rama entera (44). Los valores de sólidos solubles obtenidos en ambas concentraciones son superiores a los reportados por Alsaud et al. (45) (0.02 g/mL) para *Cinnamon cassia*. Esta diferencia podría deberse a la técnica de elaboración del extracto, lo que significa que el calor podría extraer un mayor contenido de compuestos bioactivos en comparación con la elaboración de extractos crudos, lo que lleva a temperaturas más altas causadas por el contenido de sólidos solubles en los extractos. Los valores de luminosidad, así como la tendencia a las coloraciones rojas y amarillas de la rama de canela y los extractos, difieren de los valores reportados para la especie *Cinnamon burmannii* (39). Esta variedad tiene mayor luminosidad así como valores más altos de a^* y b^* , lo que

podría deberse a la variación entre especies. La variedad *Cinnamon burmanni* tiene un color más intenso con una coloración marrón en comparación con *Cinnamon zeylanicum*, que tiene un tono más apagado (46), lo que significa que sus extractos varían en luminosidad con una coloración amarillo-roja. Las diferencias observadas también podrían deberse a la concentración de ciertos compuestos bioactivos con propiedades de pigmentos naturales, como las antocianinas y las cumarinas contenidas en la especie *Cinnamon burmannii*, que inciden en el cambio de color mencionado (47). En el extracto acuoso se observó la presencia de lactonas sesquiterpénicas con una concentración de 1:100 y constituidas por un compuesto terpenoide con actividad antiinflamatoria. Las lactonas sesquiterpénicas se encuentran en bajas cantidades en la familia Lauraceae a la que pertenece la canela (48) y en la que se han identificado los siguientes sesquiterpenos volátiles: β -cariofileno, α -humuleno, α -copaeno, δ - y γ -cadineno, germacrenol, B, τ - y α -cadinol, α -bergamoteno, α -copaeno, α -humuleno y δ -cadineno) (35). También hay presencia de flavonoides del tipo flavona, entre los que destacan la catequina y la quercetina contenidas en la canela (49), así como la cumarina en niveles trazas de aproximadamente un 0.004% (3), además del glucósido de antraquinona, que puede reducir la proliferación de células cancerosas que se encuentran en la corteza y la raíz de la canela (50). En cuanto a la concentración de 10:100 junto con los compuestos químicos anteriores, se observaron instauraciones, las cuales están presentes en el cinamaldehído, compuesto que está compuesto químicamente por un aldehído insaturado unido a un grupo fenilo, lo que le confiere su característico aroma y baja solubilidad en agua. También están presentes el metoxicinamaldehído y la cumarina, que tienen propiedades reductoras de edemas y precursores anticoagulantes (51), saponinas que producen espuma cuando se agitan en soluciones acuosas que tienen propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas, biológicas, hipocolesterolemiantes, antibacterianas, antifúngicas, antivirales e insecticidas. propiedades. Esto significa que podrían ser responsables del efecto antimicrobiano en la canela (52), los hidroxilos fenólicos, los taninos y las antocianinas que comprenden compuestos fenólicos con una importante actividad antioxidante (53). Según el análisis fitoquímico del extracto acuoso de

Cinnamomum verum realizado por Vakilwala et al. (54) y el estudio de Mohamed et al. (22) sobre los extractos de acetona, metanol y agua, se encontró una alta presencia de alcaloides, flavonoides, en ambos análisis se encontraron taninos, saponinas, glucósidos de antraquinona, con una presencia particularmente alta de fenoles y cumarina mientras que se identificó una baja presencia de antocianinas en todos los extractos. Estos resultados difieren de lo encontrado en esta investigación en cuanto a la presencia de alcaloides, lo que podría deberse a la canela que provocó que los extractos contengan y luego liberen este compuesto químico, el cual actúa como analgésico, anestésico o psicotrópico sobre el sistema nervioso central. Con el uso de un tamiz fitoquímico, Adarsh et al. (55) identificaron la presencia de alcaloides en *Cinnamon zeylanicum*, y destacaron la presencia de un precipitado de color marrón rojizo obtenido a través de una prueba de Wagner en lugar de una coloración blanco cremosa. Esto coincidió con lo obtenido en esta investigación al realizar la misma prueba y podría deberse al tipo de especie que reacciona de manera diferente a los mismos agentes químicos (reactivo de Wagner), por lo que los extractos acuosos evaluados también podrían contener alcaloides. Sin embargo, Sonu Garg y Gaurav informan la misma ausencia de alcaloides en su extracto acuoso de la especie *verum* en una concentración de 10:100 (56), lo que sugiere que Adarsh et al. (55) podría haber reportado un falso positivo en este compuesto químico.

Tabla 2. Propiedades antioxidantes y tamizaje fitoquímico de microencapsulados obtenidos con decocción

Compuesto químico	Dilución de extracto de canela	
	1:100	10:100
Fenoles totales, mg / g GA	304.62 ± 12.6 ^a	356.00 ± 27.2 ^a
Flavonoides, µg catequina / mL extracto	18.36 ± 0.57 ^b	23.2 ± 0.89 ^a
DPPH, % de inhibición	57.23 ± 5.14 ^b	71.55 ± 8.52 ^a
ABTS, % de inhibición	73.42 ± 0.29 ^b	92.98 ± 1.77 ^a
pH	6.37 ± 0.14 ^b	6.82 ± 0.12 ^a
Ácido cinámico %	0.03 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.00 ^a
Materia seca %	92.57 ± 2.46 ^a	95.17 ± 2.24 ^a
Solubilidad g / mL	0.07 ± 0.01 ^b	0.11 ± 0.02 ^a
L*	37.19 ± 5.38 ^b	51.29 ± 0.42 ^a
a*	2.62 ± 0.18 ^a	3.29 ± 0.55 ^a
b*	22.09 ± 1.55 ^a	29.21 ± 2.98 ^b
Alcaloides	-	-
Esteroles	-	-
Instauraciones	-	+
Sesquiterpenlactonas	+	+
Flavonoides (flavonas)	+	+
Saponinas Shinoda Test	-	+
Saponinas Prueba de hidróxido de sodio	-	+
Cumarina	+	+
Hidroxilos fenólicos	-	+
Glicósidos de antraquinona	+	+
Glicósido cardíaco	-	-
Quinonas	-	-
Oxalatos	-	-
Taninos	-	+
Antocianinas	-	+

1Prueba cualitativa - indica ausencia y + indica presencia del compuesto químico en el extracto. ab Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas (p<0.05).

2.4.3. Microencapsulación de extracto acuoso

En base a los resultados obtenidos para los tramos de evaluación de concentración de canela, cantidad de fenoles y flavonoides, así como capacidad antioxidante y tamiz fitoquímico, se eligió la concentración 10:100 por tener mayor contenido de compuestos bioactivos para microencapsulación. Para determinar la mejor combinación de material de recubrimiento utilizado, se evaluaron cuatro emulsiones elaboradas con maltodextrina (M), goma arábiga (GA) y extracto de *Cinnamomum*

zeylanicum. La capacidad antioxidante de los microencapsulados obtenidos mediante la combinación de cuatro formulaciones (Cuadro 3) se evaluó con emulsiones de material de pared al 25 % (12.5 % M + 12.5 % GA), 20 % (5 % M + 15 % GA), 20 % (10 % M + 10 % GA) y 10 % (5 % M + 5 % GA), obteniendo valores para fenoles entre 212.07 y 498.14 µg AG / mL y para flavonoides entre 33.65 y 85.03 µg catequina / mL extracto y porcentajes de inhibición para radicales DPPH de entre 76.33 y 83.26 %. Se puede observar un patrón donde las concentraciones más bajas de material de recubrimiento dan como resultado mayores cantidades de fenoles y flavonoides para el extracto concentrado de canela. La formulación de 10 % de materia encapsulante presentó la mayor encapsulación de compuestos antioxidantes (498.14 µg AG / mL de fenoles, 85.03 µg de catequina / mL de flavonoides y 76.33 % de inhibición de DPPH), lo que corresponde a la formulación elaborada con 5 % de maltodextrina + 5% goma arábica. Considerando este resultado, se decidió realizar una caracterización fisicoquímica de esta formulación microencapsulada. Además, también se reportó la ausencia de flavonoides, glucósidos, taninos y compuestos fenólicos, lo que podría deberse a la elaboración del extracto que se realizó por dilución con agentes químicos (55). Es posible que estos compuestos se hayan recolectado cuando se recuperaron, lo que provocó su ausencia. Por lo tanto, con estos resultados, se puede observar que aunque se evaluó la misma especie de planta, en concentraciones más bajas, las insaturaciones y compuestos como saponinas, fenoles, taninos y antocianinas pueden no estar presentes en esta determinación, o que dependiendo de la método de producción estos compuestos se pierden del extracto. Por lo tanto, se sugiere realizar esta prueba con al menos dos concentraciones y métodos de elaboración diferentes para observar estas divergencias y poder elegir la concentración y el método de elaboración del extracto más adecuado a lo que se requiere.

Tabla 3. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante del extracto de canela microencapsulado con una matriz diferente

Tratamiento	Fenoles totales, mg / g GA	Flavonoides, µg catequinas / mL microencapsulados	DPPH inhibición %
T1	212.07 ± 18.34 ^b	33.65 ± 1.40 ^d	83.26 ± 1.45 ^a
T2	226.45 ± 13.16 ^b	61.40 ± 0.38 ^b	78.80 ± 1.11 ^{ab}
T3	208.7 ± 22.45 ^b	38.69 ± 2.35 ^c	80.61 ± 2.92 ^{ab}
T4	498.14 ± 30.23 ^a	85.03 ± 1.85 ^a	76.33 ± 0.79 ^b

T1=Maltodextrina 12.5 %: Goma arábica 12.5 %, T2=Maltodextrina 5 %: Goma arábica 15 %, T3= Maltodextrina 10 %: Goma arábica 10 %, T4=Maltodextrina 5 %: Goma arábica 5 %. ab Superíndice diferente indica diferencias significativas entre filas (p<0.05).

2.4.4. Características del microencapsulado de *Cinnamomum zeylanicum*

La caracterización fisicoquímica de las formulaciones microencapsuladas con mayor actividad y capacidad antioxidante se muestra en la Tabla 4, donde se obtuvo un porcentaje de humedad de 1.47 ± 0.05 , una solubilidad de 86.83 ± 4.3 g / L, un pH de 5.01 ± 0.1 y una densidad aparente de 0.38 ± 0.01 g / L. En cuanto al color del microencapsulado se presentó una luminosidad de 90.01 ± 1.28 , un valor a* de 1.72 ± 0.31 y un valor b* de 11.24 ± 0.70 . El porcentaje de humedad obtenido en esta investigación está dentro del rango reportado por Santiago et al. (57) (1.34-1.89 %), quienes microencapsularon una infusión de *Cinnamomum zeylanicum* con maltodextrina. El porcentaje de solubilidad obtenido en esta investigación (86.83 %) es muy superior al valor obtenido en la microencapsulación de aceite de canela con goma arábica, proteína de suero y maltodextrina realizada por Félix et al. (58) (33.04-49.57 %). Esto puede deberse a la relación entre los microencapsulados y el diluyente utilizado, lo que significa que cuando se usa agua, un microencapsulado hidrofílico similar al obtenido en esta investigación de extracción acuosa se disuelve mejor, en comparación con una variante lipofílica como el aceite esencial de canela. Los valores bajos de pH (acidez) en los microencapsulados afectan los polisacáridos del material de la pared, modificando su permeabilidad, encapsulación y eficiencia de retención (59), lo que conduce a valores de acidez más altos, lo que impide la encapsulación de compuestos bioactivos. Así se demostró en la investigación de Matiacevich et al.

(60) sobre el efecto del tipo de emulgente y pH sobre carvacrol microencapsulado con alginato, donde se logró una estabilidad a pH 4. La densidad aparente obtenida en esta investigación (0.38 g / L) es menor a la reportada por Santiago et al. (73) (0.55-0.55 g / L), lo que podría deberse principalmente a que una mayor proporción de pared Se utilizó material de 100 g / L, que es una cantidad mayor a la utilizada en este estudio, dando como resultado un valor de densidad menor en comparación con el de esta investigación. En cuanto al color obtenido en los microencapsulados, el valor de luminosidad (L^* 90.01) se encuentra dentro del rango indicado por los microencapsulados de oleorresina de *Cinnamomum verum* elaborados por Procopio et al. (51) (L^* 88.37-91.87), este mismo estudio también reportó valores de a^* en el rango de (-0.57-0.18) que es inferior a lo obtenido en esta investigación (1.72), lo cual también sucedió con valores de b^* (11.24) que estuvo en el rango de (6.01-7.65). Estas diferencias podrían atribuirse a que la oleorresina de canela tiene una coloración más oscura que el extracto acuoso, con menor tendencia a la coloración roja y amarilla, lo cual se deriva de la concentración de compuestos bioactivos con propiedades pigmentarias naturales como las antocianinas y las cumarinas (47).

Tabla 4. Características físicoquímicas del microencapsulado de *Cinnamomum zeylanicum*

Parámetro	Microencapsulados
Humedad %	1.47 ± 0.05
Solubilidad %	86.83 ± 4.33
pH	5.01 ± 0.1
Densidad aparente g/L	0.38 ± 0.01
L^*	90.01 ± 1.28
a^*	1.72 ± 0.31
b^*	11.24 ± 0.70
realizado por triplicado	

2.5. Conclusión

Esta investigación recomienda que la preparación de extracto acuoso de canela con alta actividad y capacidad antioxidante se realice con la técnica de decocción. La presencia de compuestos bioactivos depende de la concentración del extracto

acuoso, ya que a mayor concentración, mayor presencia de compuestos bioactivos y actividad antioxidante. La microencapsulación mediante secador por aspersión con maltodextrina al 5% y goma de acacia conservó la actividad y capacidad antioxidante significativas. Las características fisicoquímicas encontradas en el extracto acuoso microencapsulado de canela *Cinnamomum zeylanicum* destacan su potencial de uso como ingrediente antioxidante natural cuando se añade a alimentos y derivados para potenciar el contenido nutricional

2.6. Referencias

1. Akhtar, A, Ponnampalam EN, Pushpakumara G, Cottrell JJ, Suleria HAR and Dunshea FR. Cinnamon: A Natural Feed Additive for Poultry Health and Production—A Review. *Animals*. 2021, 11. <https://doi.org/10.3390/ani11072026>.
2. Tulini FL, Souza VB, Echalar-Barrientos MA, Thomazini M, Pallone EMJA and Favaro-Trindade CS. Development of solid lipid microparticles loaded with a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*): Potential for increasing antioxidant content in functional foods for diabetic population. *Food Res Int*. 2016, 85, 10–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.006>.
3. Assefa AD, Keum YS and Saini RK. A comprehensive study of polyphenols contents and antioxidant potential of 39 widely used spices and food condiments. *J Food Meas Charact*. 2018, 12, 1548–55. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9770-z>.
4. Shahzadi M, Rizwan B, Tufail T, Basharat S and Shehzadi S. Functional and Nutraceutical Characterization of Cinnamon. *Pakistan BioMedical Journal*. 2021, 4, 187–192. <https://doi.org/10.54393/pbmj.v4i2.225>.
5. Vidanagamage SA, Pathiraje PMHD and Perera ODAN. Effects of Cinnamon (*Cinnamomum Verum*) Extract on Functional Properties of Butter. *Procedia Food Sci*. 2016, 6, 136–42. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2016.02.033>.
6. Abou Khalil R, Rayane BA, Doumit S, Bitar J, Nasser R and Khoury E. Cinnamaldehyde and cinnamic acid from cinnamon bark (*Cinnamomum verum*) increase the binding of glucose to human albumin. *Biochim Clin*. 2018, 42, 112–8. https://doi.org/10.19186/BC_2018.023.
7. Alsoodeeri FN, Alqabbani HM and Aldossari NM. Effects of Cinnamon (*Cinnamomum cassia*) Consumption on Serum Lipid Profiles in Albino Rats. *J Lipids*. 2020, 23, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2020/8469830>.

8. Talaei B, Amouzegar A, Sahranavard S, Hedayati M, Mirmiran P and Azizi F. Effects of cinnamon consumption on glycemic indicators, advanced glycation end products, and antioxidant status in type 2 diabetic patients. *Nutrients*. 2017, 9, 1–9. <https://doi.org/10.3390/nu9090991>.
9. Zare R, Nadjarzadeh A, Zarshenas MM, Shams M and Heydari M. Efficacy of cinnamon in patients with type II diabetes mellitus: A randomized controlled clinical trial. *Clin Nutr*. 2019, 38, 549–56. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.03.003>.
10. Shishir MRI, Xie L, Sun C, Zheng X and Chen W. Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends Food Sci Technol*. 2018, 78, 34–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.018>.
11. de Souza VB, Thomazini M, Barrientos MA, Nalin CM, Ferro-Furtado R, Genovese MI and Favaro-Trindade CS. Functional properties and encapsulation of a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*) by complex coacervation using gelatin and different polysaccharides. *Food Hydrocoll*. 2018, 77, 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.040>.
12. Ozkan G, Franco P, De Marco I, Xiao J and Capanoglu E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chem*. 2019, 272, 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>.
13. Aguiar J, Estevinho BN and Santos L. Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. *Trends Food Sci Technol*. 2016, 58, 21–39. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.012>.
14. Muhammad DRA, Tuenter E, Patria GD, Foubert K, Pieters L and Dewettinck K. Phytochemical composition and antioxidant activity of *Cinnamomum burmannii* Blume extracts and their potential application in white chocolate. *Food Chem*. 2021, 340. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127983>.
15. Nespi M, Kuhn R, Yen CW, Lubach JW and Leung D. Optimization of Spray-Drying Parameters for Formulation Development at Preclinical Scale. *AAPS PharmSciTech*. 2022, 23, 28. <https://doi.org/10.1208/s12249-021-02160-1>.
16. Šeregelj V, Tumbas Šaponjac V, Lević S, Kalušević A, Četković G, Čanadanović-Brunet J, Nedović V, Stajčić S, Vulić J and Vidaković A. Application of encapsulated natural bioactive compounds from red pepper waste in yogurt. *J Microencapsul*. 2019, 36, 704–14. <https://doi.org/10.1080/02652048.2019.1668488>.

17. Lima EMF, Madalão MCM, dos Santos WC, Bernardes PC, Saraiva SH and Silva PI. Spray-dried microcapsules of anthocyanin-rich extracts from *Euterpe edulis* M. as an alternative for maintaining color and bioactive compounds in dairy beverages. *J Food Sci Technol*. 2019, 56, 4147–57. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03885-5>.
18. Castro-López C, Ventura-Sobrevilla JM, González-Hernández MD, Rojas R, Ascacio-Valdés JA, Aguilar CN and Martínez-Ávila GCG. Impact of extraction techniques on antioxidant capacities and phytochemical composition of polyphenol-rich extracts. *Food Chem*. 2017, 237, 1139–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.032>.
19. Kollia E, Markaki P, Zoumpoulakis P, Proestos C. Antioxidant activity of *Cynara scolymus* L. and *Cynara cardunculus* L. extracts obtained by different extraction techniques. *Nat Prod Res*. 2016, 31, 1163–7. <http://dx.doi.org/101080/1478641920161219864>.
20. Jovanovića AA, Djordjevića VB, Petrovića PM, Dejan SP, Zdunićb GM, Šavikinb KP and Bugarskia BM. The influence of different extraction conditions on polyphenol content, antioxidant and antimicrobial activities of wild thyme. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 2021, 25, 100-328. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100328>.
21. Zehiroglu C and Ozturk Sarikaya SB. The importance of antioxidants and place in today's today's scientific and technological studies. *J Food Sci Technol*. 2019, 56, 4757–74. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03952-x>.
22. Mohamed Ahmed H, Mahmoud Ramadhani A, Yaagoub Erwa I, Adam Omer Ishag O and Bosharh Saeed M. Phytochemical Screening, Chemical Composition and Antimicrobial Activity of *Cinnamon verum* Bark Natural Product View project. *Artic Int Res J Pure Appl Chem*. 2020, 21, 36-43. <https://doi.org/10.9734/irjpac/2020/v21i1130222>.
23. Mohamad Subhi S, Clavijo S and Cerda V. Recent, advanced sample pretreatments and analytical methods for flavonoids determination in different samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2021, 138. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116220>.
24. Boyano-Orozco L, Gallardo-Velázquez T, Meza-Márquez OG and Osorio-Revilla G. Microencapsulation of Rambutan Peel Extract by Spray Drying. *Foods*. 2020, 9, 899. <https://doi.org/10.3390/foods9070899>.
25. Goeltz JC and Cuevas LA. Guided Inquiry Activity for Teaching Titration Through Total Titratable Acidity in a General Chemistry Laboratory Course, *Chem. Educ*. 2021, 98,882–887. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01198>.

26. AOAC 2000. Official Methods of Analysis, 21st Edition (2019) - AOAC International [Internet]. Official Methods of Analysis (17 edición ed.). 2019. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019/>
27. Cassol L and Noreña CPZ. Microencapsulation and accelerated stability testing of bioactive compounds of *Hibiscus sabdariffa*. *Food Measure*. 2021,15,1599–1610. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00757-x>.
28. El-Messery TM, El-Said MM, Demircan E and Özçelik B. Microencapsulation of natural polyphenolic compounds extracted from apple peel and its application in yoghurt. *Acta Sci Pol Technol Aliment*. 2019, 18, 25–34. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0597>.
29. Maigoda T, Judiono J, Purkon DB, Haerussana ANEM and Mulyo GPE. Evaluation of *Peronema canescens* Leaves Extract: Fourier Transform Infrared Analysis, Total Phenolic and Flavonoid Content, Antioxidant Capacity, and Radical Scavenger Activity. *Maced J Med Sci*. 2022, 10, 117–24. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2022.8221>.
30. Shaikh JR and Biolt YE. Qualitative tests for preliminary phytochemical screening: An overview. *Int J Chem Stud*. 2020, 8, 603–8. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2i.8834>.
31. Cenobio-Galindo A, Pimentel-González DJ, Del Razo-Rodríguez OE, Medina-Pérez G, Carrillo-Inungaray ML, Reyes-Munguía A and Campos-Montiel R. Antioxidant and antibacterial activities of a starch film with bioextracts microencapsulated from cactus fruits (*Opuntia oligacantha*). *Food Sci Biotechnol*. 2019, 28, 1553–61. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00586-9>.
32. Martínez ML, Curti MI, Roccia P, Llabot JM, Penci MC, Bodoira RM and Ribotta PD. Oxidative stability of walnut (*Juglans regia* L.) and chia (*Salvia hispanica* L.) oils microencapsulated by spray drying. *Powder Technol*. 2015, 270, 271–7. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.10.031>.
33. Li S, Gossiau A, Lange K and Ho CT. Profiled tea extracts exemplifying the importance of characterizing food bioactives: opinion piece. *J Food Bioact*. 2019, 5, 1–5. <https://doi.org/10.31665/JFB.2019.5172>.
34. Dudonné S, Vitrac X, Coutière P, Woillez M and Jean-Mérillon J. Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC Assays. *J Agric Food Chem*. 2009, 57, 1768–1774. <https://doi.org/10.1021/jf803011r>.

35. Jayaprakasha GK and Mohan Rao LJ. Chemistry, biogenesis, and biological activities of *Cinnamomum zeylanicum*. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2011, 51,547–62. <https://doi.org/10.1080/10408391003699550>.
36. Ali A, Wu H, Ponnampalam EN, Cottrell JJ, Dunshea FR and Suleria HAR. Comprehensive profiling of most widely used spices for their phenolic compounds through lc-esi-qtof-ms2 and their antioxidant potential. *Antioxidants*. 2021, 10, 721. <https://doi.org/10.3390/antiox10050721>.
37. Huang D. Dietary Antioxidants and Health Promotion. *Antioxidants*. 2018, 7, 1-9. <https://doi.org/10.3390/antiox7010009>.
38. Ismail HF, Hashim Z, Soon WT, Rahman NSA, Zainudin AN and Majid FAA. Comparative study of herbal plants on the phenolic and flavonoid content, antioxidant activities and toxicity on cells and zebrafish embryo. *J Tradit Complement Med*. 2017, 7, 452–65. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.12.006>.
39. Kirana A and Sunarharum WB. Physicochemical Characteristics and Consumer Acceptance of Bagged Indonesian Green Tea (*Camellia sinensis*) Formulated with Cinnamon Bark (*Cinnamomum burmannii*) and Lemon (*Citrus limon*) Peel. *J Exp Life Sci*. 2020, 10, 65–71. <https://doi.org/10.21776/ub.jels.2019.010.01.12>.
40. Huan Z, Panga D, Liaoa S, Zoua Y, Zhoua P, Li E and Wang W. Synergistic effects of cinnamaldehyde and cinnamic acid in cinnamon essential oil against *S. pullorum*. *Industrial Crops and Products*. 2021, 162, 113296. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113296>.
41. Aderao GN, Sahoo A, Bhatt RS, Kumawat PK and Soni L. *In vitro* rumen fermentation kinetics, metabolite production, methane and substrate degradability of polyphenol rich plant leaves and their component complete feed blocks. *J Anim Sci Technol*. 2018, 60, 1-26. <https://doi.org/10.1186/s40781-018-0184-6>.
42. Mehta RZ, Song M, Staller K and Chan AT. Association Between Beverage Intake and Incidence of Gastroesophageal Reflux Symptoms. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2020, 18, 2226-2233. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2019.11.040>.
43. Jianga C, Ding I, Dong Q, Wang x, Wei H, Hu C, Ma C, Yan Q, Zhou Y and Degene AA. Effects of root extracts of three traditional Chinese herbs as dietary supplements on dry matter intake, average daily gain, rumen fermentation and ruminal microbiota in early weaned yak calves, *Animal Feed Science and Technology*. 2021, 278, 115002. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115002>.

44. Jung H, Lee YJ and Yoon WB. Effect of Moisture Content on the Grinding Process and Powder Properties in Food: A Review. *Process*. 2018, 6, 69. <https://doi.org/10.3390/pr6060069>.
45. Alsaud N, Farid M. Insight into the influence of grinding on the extraction efficiency of selected bioactive compounds from various plant leaves. *Appl Sci*. 2020, 10, 6362. <https://doi.org/10.3390/app10186362>.
46. Shawky E and Selim DA. Rapid Authentication and Quality Evaluation of *Cinnamomum verum* Powder Using Near-Infrared Spectroscopy and Multivariate Analyses. *Planta Med*. 2018, 84, 1380–7. <https://doi.org/10.1055/a-0654-5468>.
47. Martínez-Damián MT, Cruz-Álvarez O, Moreno-Pérez E and Valle-Guadarrama S. Intensidad de color y compuestos bioactivos en colectas de chile guajillo del norte de México. *Rev Mex ciencias agrícolas*. 2019, 10, 35–49. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.465>.
48. Rashwan AS, El-Beltagy MA, Saleh SY and Ibrahim IA. Potential role of cinnamaldehyde and costunolide to counteract metabolic syndrome induced by excessive fructose consumption. *Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci*. 2019, 8, 1–8. <https://doi.org/10.1186/s43088-019-0025-9>.
49. Chandula WA, Samarasinghe K, Krishantha SZH, Chathuranga BT, Yashasvi WV. *Cinnamomum zeylanicum*: Morphology, Antioxidant Properties and Bioactive Compounds. *Antioxidants*. 2021, 8, 1–14. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97492>.
50. Lusiana E, Tamzil NS, Oktariana D and Septadina IS. Effectivity of cinnamon (*Cinnamomum burmanii*) to decrease urea levels. *International Journal of Islamic and Complementary Medicine*. 2021, 3, 41-48. <https://doi.org/10.55116/IJICM.V3I2.44>.
51. Procopio FR, Oriani VB, Paulino BN, do Prado-Silva L, Pastore GM, Sant'Ana AS and Dupas HM. Solid lipid microparticles loaded with cinnamon oleoresin: Characterization, stability and antimicrobial activity. *Food Res Int*. 2018, 113, 351–61. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.026>.
52. Abed M and Aziz E. A Review on Saponins from Medicinal Plants: Chemistry, Isolation, and Determination. *J Nanomed Res*. 2019, 8, 282-288. <https://doi.org/10.15406/jnmr.2019.07.00199>.
53. Medda S, Fadda A, Dessena L and Mulas M. Quantification of Total Phenols, Tannins, Anthocyanins Content in *Myrtus communis* L. and Antioxidant Activity Evaluation in Function of Plant Development Stages and Altitude of Origin Site. *Agron*. 2021, 11, 1059. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061059>.

54. Vakilwala M, Macan K and Tandel A. Phytochemical Screening, Chemical Composition and Antimicrobial Activity of *Cinnamon verum* Bark. *Int J Innov Sci Res.* 2017, 4, 69–74. <https://doi.org/10.9734/irjpac/2020/v21i1130222>.
55. Adarsh A and Bharath Chettiyar KB. Phytochemical Screening and Antimicrobial Activity of "*Cinnamon zeylanicum*", Whites Science Journal. *Int J Pharm Res Innov.* 2020,13, 22–33. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33937.04962>.
56. Sonu Garg GK. Phytochemical Composition and Antimicrobial Activity of *Cinnamomum verum* Bark Against UTI Causing Bacteria. *Think India j.* 2019, 22,768-773.
57. Santiago-Adame R, Medina-Torres L, Gallegos-Infante JA, Calderas F, González-Laredo RF, Rocha-Guzmán NE, Ochoa-Martínez LA and Bernad-Bernad MJ. Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. *LWT - Food Sci Technol.* 2015, 64, 571–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.020>.
58. Felix PHC, Birchal VS, Botrel DA, Marques GR and Borges S. Physicochemical and thermal stability of microcapsules of cinnamon essential oil by spray drying. *J Food Process Preserv.* 2016, 41, 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12919>.
59. Guo Z, Liu H, Wu Y, Wang X and Wu D. Design and fabrication of pH-responsive microencapsulated phase change materials for multipurpose applications. *React Funct Polym.* 2019, 1, 111–23. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2019.04.015>.
60. Matiacevich S, Riquelme N and Herrera ML. Conditions to Prolonged Release of Microencapsulated Carvacrol on Alginate Films as Affected by Emulsifier Type and PH. *Int J Polym Sci.* 2015, 2015, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/173193>.

CAPÍTULO 3

Efecto de un yogur para beber con microencapsulados de extracto acuoso de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) sobre el síndrome metabólico en conejo (*Oryctolagus cuniculus*).

3.1. Resumen

Las enfermedades crónicas no transmisibles aumentan la mortalidad y se puede disminuir al controlar dislipidemia e hiperglucemia relacionadas con el síndrome metabólico, mediante la adición de microencapsulados de extracto de canela por medio de un alimento como el yogurt, por sus efectos comprobados en estudios experimentales y clínicos como: antidiabético, hipolipemiante, antiobesogénico, antiinflamatorio y antihipertensivo. Por lo que esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de un microencapsulado de extracto acuoso de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) en un yogurt para beber sobre un modelo animal de conejo (*Oryctolagus cuniculus*) con inducción de síndrome metabólico. Se realizó la caracterización fisicoquímica, análisis microbiológico, análisis químico proximal, cuantificación de fenoles totales, flavonoides y actividad por DPPH, bioaccesibilidad intestinal, análisis sensorial. Tratamiento por 4 semanas con 5,10 y 20 mg / kg de flavonoides, mediciones morfológicas, bioquímicos y lipoperoxidación de hígado y corazón. Los resultados obtenidos muestran que la adición de MCE Cz en el yogurt produce una mayor adhesividad y firmeza, con un color característico a canela y valor biológico al aportar antioxidantes bioaccesibles intestinalmente, que reducen 62 % el grado de lipoperoxidación en hígado y corazón post-tratamiento, morfológicamente disminuyo peso hasta un 38.5 % y la circunferencia abdominal en un 29 %, así como los niveles glucosa en un 24.38 %, el colesterol total 69.2 %, triglicéridos 72.69 %, LDL 89.25 % y aumento un 67.08 % el HDL. Considerando la adición de MCE Cz de 5 y 10 mg de flavonoides en yogurt para beber como una alternativa para la innovación de un alimento funcional con atributos fisicoquímicos y propiedades biológicas favorables para su consumo en todas las etapas de la vida y posible coadyuvante en el tratamiento de comorbilidades del síndrome metabólico.

Palabras clave: microencapsulados, canela, yogurt, conejo y síndrome metabólico.

3.2. Introducción

En México la prevalencia de síndrome metabólico en adultos es del 52.3 % (1), lo que causa aumento de mortalidad e incapacidad laboral (2), el tratamiento a base de componentes antioxidantes de diversas especies vegetales ha mostrado eficacia en la prevención y tratamiento de ambas alteraciones debido a su mayor accesibilidad, menor costo y efectos adversos (3). La canela es una especia comercializada como vara o polvo obtenida de la corteza seca de los árboles del género *Cinnamomum* (4,5), proporciona proteínas, fibra, vitaminas (A, B, K y C), minerales: potasio, calcio, sodio, magnesio, manganeso, fósforo, nitrógeno, cobre, hierro y zinc (6), además de antioxidantes y compuestos bioactivos a los cuales se les han atribuido efecto antidiabético (7–12), hipolipemiante (11–15), antiobesogénico (8,16), antiinflamatorio (17–20) y antihipertensivo (21,22). Con lo que el extracto de canela presenta potencial en la reducción de las complicaciones del síndrome metabólico, sin embargo su aplicación en la industria alimentaria es limitada (23), debido a que estos compuestos sufren reacciones de degradación por oxidación o hidrólisis causada al ser expuestas a factores externos como: calor, luz y oxígeno durante su procesamiento (24,25), por lo que requiere ser microencapsulada dentro de un polímero para mantener su estabilidad, aumentar su biodisponibilidad y vida de anaquel, permitiendo su incorporación en matrices alimentarias para la producción de alimentos con propiedades funcionales, entre los que destacan los productos lácteos (23,25–29). El yogurt para beber es un producto con buenas propiedades organolépticas y nutricionales (30,31), es el alimento lácteo más consumido a nivel mundial, comprende el segundo grupo de alimentos recomendables para consumo cotidiano, después del agua (32) apto para consumidores de todas las edades y asociado a sus propiedades nutraceuticas como agente probiótico e inmunomodulador (32,33), una matriz alimenticia como el yogurt podría tener ventajas sobre la estabilidad de los antioxidantes contenidos en la canela durante su procesamiento y almacenamiento, (26,34–36). Para poder dilucidar y comprender los mecanismos de acción de los compuestos bioactivos de la canela en los diferentes órganos y sistemas a procesos patológicos como el síndrome metabólico, se requiere ser probado en modelos animales como el conejo

que reproduce las condiciones humanas a través de los cambios fisiológicos y bioquímicos manifestados en el síndrome metabólico humano (37,38). Por lo que el conejo comprende el modelo ideal para su evaluación sobre la disminución de estas comorbilidades, a través de un yogurt para beber con microencapsulados de compuestos bioactivos de extracto de canela, de la cual aún no se ha reportado evidencia científica hasta el momento, evidenciando un campo de oportunidad de estudio. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar los parámetros fisicoquímicos e inocuidad de un yogurt fortificado con microencapsulados de extracto acuoso de canela (*Cinnamomum zeylanicum*), así como su efecto en conejo (*Oryctolagus cuniculus*) con inducción de síndrome metabólico.

3.3. Materiales y métodos

3.3.1. Elaboración del yogurt

La leche pasteurizada se llevó a una temperatura de 42 °C, se añadieron 0.1 g de mezcla de cultivos lácticos *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbruckii sub. bulgaricus*, marca SACCO, incubadas por 5 h, hasta que alcanzo un pH de 4.6, se procedió a enfriar por 16 h hasta obtener un pH de 4.2 obteniendo un yogurt para beber (26), se añadieron 5, 10 y 20 mg / kg / peso vivo (pv) de microencapsulados por cada mililitro de yogurt (36,39–41).

3.3.2. Caracterización fisicoquímica

Todos los ensayos de caracterización fisicoquímica descritos a continuación se realizaron por triplicado. La determinación de la actividad de agua (aw) se realizó con el equipo HygroPalm AW-1, se determinó el pH (42) con un potenciómetro digital (HANNA HI2211) previamente calibrado a valores de 4 y 7, la acidez titulable se midió según el método AOAC 942.15 (43). Los resultados se expresaron como % de ácido láctico por 100 g de yogur. Para medir el color se utilizó un colorímetro modelo Minolta CM-508d, los datos obtenidos fueron interpretados bajo el sistema internacional CIELAB, el cual estima las desviaciones presentes entre blanco y negro, de rojo a verde y de amarillo a azul, dando los parámetros L*, a* y b* (26). Se realizó un análisis del perfil de textura a través de un texturómetro modelo

Brookfield CT3, utilizando la sonda TA-30A, con una carga de activación de 0.010 N, velocidad de 1 mm/s, con una celda de carga de 4500 g, determinando: dureza, resistencia de adhesividad, resiliencia, cohesión, índice de elasticidad y firmeza (26).

3.3.3. Análisis microbiológicos

Para garantizar la inocuidad del producto alimenticio, se realizó el conteo de bacterias ácido lácticas viables totales mediante el método de placa extendida en agar MRS (45). Las levaduras y mohos se determinaron utilizando medio de papa dextrosa agar (PDA) y Sabouraud por extensión en placa (46) y para el conteo de bacterias entéricas se realizó la inoculación en agar de MacConkey y cuenta estándar (47).

3.3.4. Análisis químico proximal

La composición químico proximal se realizó en el yogurt con los microencapsulados añadidos, determinando humedad (925.10), cenizas (923.03), grasa por método Gerber (48), proteína por Kjeldahl (951.03); de acuerdo con los métodos reportados por la A.O.A.C. (44). Mientras que los carbohidratos se calcularon por diferencia. Estos análisis se realizaron por triplicado.

3.3.5. Cuantificación de fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante

Se determinó la actividad antioxidante del yogurt con microencapsulados a través de la determinación de fenoles totales utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu siguiendo el método descrito por Mohamed et al. (48) y los flavonoides mediante el método colorimétrico de cloruro de aluminio, como lo indica Mohamad et al. (49) y la capacidad antioxidante se realizó con el radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) (50), utilizando un espectrofotómetro Shimadzu modelo UV-1280 (SHIMADZU Corporation, Kioto, Japón). Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (mg GA) y (mg de equivalentes de catequina) por 100 mL de yogurt, la capacidad antioxidante se expresó en porcentaje de inhibición.

3.3.6. Bioaccesibilidad intestinal

Se utilizó un modelo de digestión in vitro seguido de diálisis, donde se simuló la función gástrica mediante la homogenización de 20 mL de muestra en 10 mL de agua acidificada con HCl a la 6 M, a un pH 2, el cual se incubó en un baño de agua modelo NB-T 205, marca N-BIOTEK, con agitación continua en 120 mL de solución de pepsina a 37 °C durante 2 h. Después se simuló la función del intestino delgado a través de la adición de 1.5 mL de solución de pancreatina, colato de sodio y desoxicolato de sodio, colocadas dentro de membranas de diálisis con 200 mL de solución de bicarbonato de sodio, durante 12 h. Una vez terminado este proceso, se extrajeron alícuotas obtenidas del paso tras membrana, congelando las muestras en ultracongelador a -70°C modelo (DW-86L959BPT). Para determinar el contenido y capacidad antioxidante (51).

3.3.7. Análisis sensorial

La prueba se realizó en 159 panelistas consumidores entre un rango de edad de 17 a 30 años, de los cuales 70 fueron hombres y 89 mujeres, participaron en la evaluación sensorial de yogurt para beber natural y con adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela de la muestra con 5 mg de flavonoides, debido a que fue la muestra con mejores características fisicoquímicas. Esta evaluación se llevó a cabo en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ofreciendo muestras de 15 mL medida con Jeringa de 20 mL sin Aguja marca BD Plastipak, la cual se colocó en vasos de poliestireno marca Primo del número 0, codificados con dígitos aleatorios de 3 cifras, yogurt natural y yogurt con MCE1. Los evaluadores calificaron el nivel de agrado mediante escala hedónica de 5 puntos, donde 1 = me disgusta mucho y 5 = me gusta mucho, evaluando los atributos sensoriales de: color, olor, sabor y consistencia (52).

3.3.8. Inducción del Síndrome Metabólico

Se obtuvo la aprobación del Comité interno de Bioética para el cuidado y uso de los animales en el Instituto de Ciencias Agropecuarias (CIBCUA-ICAp) de la

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, bajo el siguiente número de aprobación CICUAL/003/2022. Se utilizaron 20 conejos de la raza California (*Oryctolagus cuniculus*) machos de 35 días de edad con un peso promedio de 667.75 ± 39.51 g, obtenidos de la nave de investigación de producción de conejo ciclo completo del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (Tulancingo, México). Los animales se alojaron en jaulas de metal en una habitación ventilada a una temperatura de 23 a 25 °C, con un ciclo de luz de 12 h y 12 h de oscuridad, con alimento y agua potable ad libitum en bebederos automáticos. Asignados completamente al azar en 5 tratamientos con 4 animales en cada grupo (sin inducción de síndrome metabólico (ISM), con ISM sin tratamiento (ISM 0) y con ISM y 5, 10 y 20 mg/kg/ de peso vivo (pv), de flavonoides microencapsulados adicionados en yogurt para beber. Se mantuvieron 3 semanas en aclimatación, alimentados con dieta estándar de control, para aumentar su peso, tamaño y aceptación de la dieta de ISM, posteriormente, se procedió a la inducción del síndrome metabólico por dos semanas mediante la dieta descrita en la Tabla 1, de acuerdo con Arias-Mutis et al. (53) en los grupos correspondientes, el tratamiento consistió de 4 semanas, donde se administró diariamente y de manera individual por vía oral con una jeringa para insulina, 1mL de yogurt natural en los tratamientos Control e ISM0 y en los tratamientos ISM 5, 10 y 20 se dio yogurt natural con adición de 5, 10 y 20 mg / kg / pv de flavonoides microencapsulados.

3.3.8.1. Características de la dieta y agua

Las dietas utilizadas consistieron en pellets elaborados en una pelletizadora (SKJ120), las cuales se muestran en la Tabla 1, donde se puede observar que la dieta control aportaba 23.4 % de proteína y 11.2 % de grasas con agua potable, mientras que la dieta de ISM contenía 15 % de grasas y agua con 15 % de sacarosa disuelta en ella, basando los ingredientes y cantidades en las tablas de Requerimiento de Nutrientes de Conejos (NRC) (54), indicadas en la Tabla 2, para la elaboración de 10 kilos de alimento.

Tabla 1. Formulación de dieta y agua

Tratamiento	Dieta	Agua	Adicionando
Control	23.4 % de proteína 11.1 % de grasa 2.7 Kcal kg MS ⁻¹	potable	nada
ISM 0,5, 10 y 20 mg / kg / pv	15.7 % de proteína 43.1 % de grasa 3.7 Kcal kg MS ⁻¹	Potable con una concentración del 15% de sacarosa, aportando 0.6 kcal / mL	10% de aceite de canola y 5% de manteca de cerdo

(1)

Tabla 2. Composición de las dietas de los conejos

Ingredientes	Control G	ISM g
Cebada	0.956	0
Maíz	0.492	0
DDGS Cebada	0.185	0
Salvado de Trigo	1.458	0.397
Harina de Galleta	0.936	1.339
Raicillas de malta	1.408	1.439
Melaza de caña	0.680	0.695
Pasta de canola	0.480	0
Pasta de soya	1.353	2.469
Paja	1.394	1.425
Cáscara de naranja	0.484	0.495
Sebo	0	0.695
Aceite de canola	0	0.868
Premezcla mineral	0.180	0.180

DDGS: granos secos de destilería.

3.3.8.2. Mediciones morfológicas

Cada semana se tomaron parámetros morfológicos de peso con una báscula electrónica modelo (METTRIA), circunferencia abdominal y longitud corporal desde la nariz hasta el ano, con cinta métrica.

3.3.8.3. Sacrificio

Se llevó a cabo la toma de muestras bioquímicas para evaluar glucosa y perfil lipídico (colesterol total, colesterol HDL y triglicéridos) a través del corte de la uña del conejo, el día 77 y el día del sacrificio se tomó del corte de la yugular, colocada en tubos Vacutainer con anticoagulante (heparina). El sacrificio de los animales se realizó mediante el aturdimiento mecánico por concusión, método aprobado en la legislación vigente de acuerdo a la NOM-033-SAG/ZOO-2014 (58), en el Taller de Cárnicos del Instituto de Ciencias Agropecuarias UAEH, posteriormente se obtuvieron muestras de: corazón e hígado para realizar lipoperoxidación. Los cortes primarios no utilizados, se destinaron para consumo humano, mientras el resto de órganos y vísceras fueron enviados al almacén temporal de residuos peligrosos biológicos-infecciosos (RPBI), en el laboratorio de necropsias del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

3.3.8.4. Análisis bioquímicos

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio BioGeneticks and Other Vector Diseases Lab. La concentración de colesterol LDL se calculó utilizando la ecuación de Friedewald (55). Para evaluar el riesgo de desarrollo de aterogenicidad en los vasos sanguíneos se calculó el índice aterogénico mediante la ecuación descrita por Sandoval-Gallegos et al. (56)

$$HDL = \text{colesterol total} - (\text{lipoproteínas de alta densidad} + \text{triglicéridos}/5)$$

$$\text{Índice aterogénico} = \frac{\text{colesterol total}}{\text{lipoproteínas de alta densidad}}$$

3.3.8.5. Lipoperoxidación de hígado y corazón

Se cortaron 0.5 g de hígado y corazón y se colocaron en tubos de ensayo con la adición de 5 mL de agua destilada y se procedió a homogenizar en homogenizador marca WiseStir, modelo HS-30E con pistilo de cerámica, del cual se tomaron 300 µL y vertieron en tubos de ensayo con 700 µL del reactivo Tris-HCl a 150 mM y se

incubo en baño de agua, modelo POLYSCIENCE a 37 °C por 30 min. Transcurrido el tiempo se adicionaron 2 mL de TBA, disuelto en TCA y se colocaron en ebullición por 45 min, pasado este tiempo se procedió a centrifugar a 3,000 rpm durante 10 min y se tomó lectura en espectrofotómetro modelo SHIMADZU UV-1280 a 532 nm. Los datos fueron expresados en mg de MDA / g de proteínas de tejido hepático y cardíaco respectivamente (59).

3.3.9. Análisis estadístico

Los datos obtenidos en este estudio se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA), comparando medias con prueba post hoc de Tukey, considerando diferencias significativas a $p \leq 0.05$. Expresando los datos como la media de determinaciones por triplicado y en el modelo *in vivo* se expresa el error estándar, utilizando el paquete estadístico SPSS V25 (SPSS Inc., Chicago, IL).

3.4. Resultados

3.4.1. Caracterización fisicoquímica

La Tabla 3 muestra la caracterización fisicoquímica del yogurt natural con la adición de las tres dosis de microencapsulados probadas en el modelo *in vivo*. Observando que a mayor adición menores valores de pH (4.05 ± 0.51) y acidez titulable (0.41 ± 0.06), siendo el yogurt natural el de valores mayores de pH (4.34 ± 0.01) y acidez titulable (0.58 ± 0.00). Shah et al. (57) menciona que actividad de agua (*aw*) mayor a 0.90 es ideal para la incubación de bacterias ácido lácteas, con lo que se obtiene un pH óptimo en menor tiempo y por ende la formación del yogurt. El pH es un factor que influye sobre los polisacáridos de la matriz pared, modificando la eficiencia de encapsulación y de retención, alterando el tamaño de las microcápsulas (58), el pH obtenido en esta investigación nos indica una ligera disminución conforme aumenta la adición de microencapsulados, efecto similar al obtenido por Keerti y Sangeeta (59) al adicionar extracto de canela en yogurt, y al de Al-Rimawi et al. (60) con adición de aceite de canela, esto se podría deber a que la canela acidifica el yogurt debido a una post acidificación ocasionada por la fermentación de las BAL (61). De acuerdo con la NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018 el porcentaje de acidez titulable

debe ser mínimo de 0.5 y no reporta valor de referencia para los sólidos lácteos no grasos (62), por lo que el yogurt natural y con adición de MCE en dosis 1 entran en las especificaciones propuestas por la norma oficial mexicana, mientras que el resto de las dosis (2 y 3) se quedan por debajo de este parámetro, no cumpliendo con la especificación fisicoquímica sugerida. El color del yogurt natural presento una luminosidad de 71.54 ± 0.5 , valor de a^* de (-0.54 ± 0.25) y (1.59 ± 1.01) para b^* , lo cual difiere un poco a los valores de luminosidad, a^* y b^* reportados por Jiménez-Redondo et al. (63) cuyos valores de L^* (97.50) y b^* (2.43) son mayores a lo reportado en esta investigación, mientras que el valor de a^* (-0.08) es menor, esta diferencia se puede deber a que elaboro su yogurt con leche desnatada y 4% de leche en polvo, lo cual puede aumentar la luminosidad y la mayor tendencia al tono amarillo en comparación con lo realizado en esta investigación donde solo se ocupó leche pasteurizada (64). En cuanto al yogurt con adición de microencapsulados de canela se percibe que a mayor adición presentan una menor luminosidad y una mayor tendencia al color rojo y azul, tendencia similar a lo reportado por Jiménez-Redondo et al. (63) que adicionaron canela en polvo de las especies *Cinnamom cassia* y *Cinnamom verum* en concentración de 0.5 y 1.5 % en yogurt natural, sin embargo sus valores se encuentran en un rango mayor en L^* (81.38-88.9) y menor en a^* (3.37-5.18) y b^* (5.96-15.06), lo cual se puede deber a que el yogurt con adición de extractos de las especies de canela *Cinnamom cassia* y *Cinnamom verum* presentan una mayor luminosidad en comparación con el microencapsulado de *Cinnamom zeylanicum*, lo cual puede deberse a la diferencia propia entre especies, la cual depende del contenido de compuestos bioactivos con propiedades de pigmentación natural (65) como son: antocianinas (66) y cumarinas (67) o a la pérdida de ciertos compuestos bioactivos ocasionada por el proceso de elaboración de los extractos (68). De acuerdo con Zare et al. (69), uno de los principales atributos que afecta la aceptación y comercialización del yogur es el color, por lo que es de suma importancia medir este parámetro.

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de yogurt

Parámetro	Yogurt	Yog. + MCE 1	Yog. + MCE 2	Yog. + MCE 3
aw	0.93 ± 0.02 ^a	0.93 ± 0.00 ^a	0.92 ± 0.00 ^a	0.92 ± 0.00 ^a
pH	4.34 ± 0.01 ^a	4.18 ± 0.02 ^b	4.11 ± 0.02 ^{b,c}	4.05 ± 0.51 ^c
Acidez titulable	0.58 ± 0.00 ^a	0.54 ± 0.00 ^b	0.47 ± 0.00 ^c	0.41 ± 0.06 ^d
L*	71.54 ± 0.5 ^a	69.06 ± 1.12 ^b	62.93 ± 0.04 ^c	58.03 ± 0.26 ^d
a*	-0.54 ± 0.25 ^d	0.03 ± 0.14 ^c	3.47 ± 0.19 ^b	6.41 ± 0.33 ^a
b*	1.59 ± 1.01 ^d	9.33 ± 1.42 ^c	21.53 ± 0.26 ^b	25.3 ± 0.2 ^a

aw: actividad de agua, pH: potencial de hidrogeno, L*: a*: b*: Y: yogurt, ^{abcd} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas (p≤0.05)

3.4.2. Textura

El análisis de perfil de textura se muestra en la Tabla 4, en la cual se observa una dureza en del yogurt natural de (0.21± 0.00) y esta disminuye ligeramente al adicionar la primera dosis de microencapsulados de 5 mg / kg de peso vivo de conejo a (0.16 ± 0.00) y vuelve a aumentar al adicionar 10 mg / kg de pv y 20 mg / kg de pv, casi alcanzando la dureza inicial del yogurt natural, similar a lo reportado por Almusallam et al. (70) que adiciono extracto de espiguillas de palmera datilera en yogurt natural a diferentes dosis, esta disminución se podría deber al aumento de agua en el sistema de gel de la matriz láctea, mientras que el aumento de dureza en la mayor concentración de microencapsulados podría deberse a que disminuye el nivel de agua libre volviendo al yogurt más firme, ya que de acuerdo con Yu et al. (71) las moléculas de agua del yogurt se encuentran en rápido intercambio entre agua asociada a proteínas y agua libre, así como a las cadenas de micelas de caseína que interactúan físicamente entre sí, por lo que este parámetro depende principalmente de la interacción entre el contenido de humedad y proteínas, así como porcentaje de grasa y en menor caso a la cantidad de sólidos totales (72).

De acuerdo con la NOM 181-SCFI/SAGARPA-2018, la textura del yogurt debe ser suave al paladar, sin grumos, arenosidad ni harinosidad, sin embargo al adicionar ingredientes con textura de polvo, la harinosidad otorgada no constituye un defecto, por lo que se vuelve un parámetro esperado y el cual se debe incluir en la etiqueta como "Yogurt con " , en esta investigación se adicionaron microencapsulados, los cuales al tener una textura de polvo tipo harina, causarían un efecto de harinosidad,

que al describirse en la etiqueta no se considerarían un defecto, más bien sería un atributo esperado en el producto (62). En cuanto a la fuerza de adhesividad en el yogurt natural es de (0.09 ± 0.00) , y va en aumento conforme se adicionan microencapsulados de $(0.10 \pm 0.00, 0.14 \pm 0.00$ y $0.17 \pm 0.00)$ respectivamente, situación igual a lo reportado por Almusallam et al., al adicionar extracto de espiguillas de palmera datilera en yogurt natural (148), situación que se debe a la interacción fisicoquímica entre el agua y las proteínas, mencionada anteriormente (70,71). La resiliencia en el yogurt natural es de (0.16 ± 0.02) y va disminuyendo conforme aumenta la adición de microencapsulados a $0.13 \pm 0.08, 0.11 \pm 0.04$ y 0.04 ± 0.01 respectivamente, lo que nos indica que a mayor contenido de MCE, menor capacidad de volver a su forma original, después de una compresión. Los valores obtenidos en esta investigación son mayores a los reportados por Li et al. (73) en yogurt natural, cuyos rangos son $(0.02-0.11)$, lo cual se puede deber a la diferencia de lactobacilos utilizados para la elaboración de su yogurt (*Lactobacillus plantarum*), lo que podría producir una menor capacidad resiliente. La cohesividad en el yogur natural es de (0.54 ± 0.06) y disminuye al adicionar 5 y 10 mg / kg / pv $(0.44 \pm 0.04$ y $0.50 \pm 0.02)$ respectivamente, alcanzando en la tercera dosis el mismo valor que el yogur natural (0.54 ± 0.10) , caso contrario a lo encontrado por Almusallam et al. (148). que reporto un aumento en este parámetro conforme adiciono extracto de espiguillas de palmera datilera, lo cual afirma que se podría deber al aumento en la capacidad de absorción del agua por la matriz proteica, así como al aumento en el contenido de polifenoles que podrían conformar complejos proteicos tipo gel, estabilizando la red de caseína de la matriz láctea. El índice de elasticidad es mayor en el yogur natural (3.34 ± 0.33) que, en el resto de las muestras, aumentando gradualmente de $(0.71 \pm 0.09, 0.84 \pm 0.05$ y $0.96 \pm 0.03)$ respectivamente, caso contrario a lo reportado por Almusallam et al. (148), quienes al aumentar la adición de extracto de espiguillas de palmera datilera aumento la elasticidad en su yogur. La firmeza en el yogur natural es de (0.10 ± 0.00) y disminuye ligeramente al adicionar 5 mg / kg / pv a (0.08 ± 0.00) y aumenta al adicionar 10 y 20 mg / kg / pv a $(0.13 \pm 0.01$ y $0.24 \pm 0.00)$ respectivamente, valores menores a los reportados por Wang et al. (74) cuyos rangos para yogur son $(0.39-$

0.77), sin embargo, el efecto de aumento con adición de orujo de manzana en polvo es igual al encontrado en este estudio, lo cual coincide en que, a mayor materia sólida, aumenta la firmeza del producto (75).

Tabla 42. Textura de yoghurt con Microencapsulados Czeylanicum

Parámetro	Yogur	Yog + MCE 1	Yog + MCE 2	Yog + MCE 3
Dureza (N)	0.21 ± 0.00 ^c	0.16 ± 0.00 ^b	0.21 ± 0.01 ^b	0.37 ± 0.01 ^a
Fza. Adhesividad	0.09 ± 0.00 ^a	0.10 ± 0.00 ^a	0.14 ± 0.00 ^a	0.17 ± 0.00 ^a
Resiliencia	0.16 ± 0.02 ^{a,b}	0.13 ± 0.08 ^a	0.11 ± 0.04 ^b	0.04 ± 0.01 ^b
Cohesividad	0.54 ± 0.06 ^a	0.44 ± 0.04 ^a	0.50 ± 0.02 ^a	0.54 ± 0.10 ^a
Índice de elasticidad	3.34 ± 0.33 ^a	0.71 ± 0.09 ^b	0.84 ± 0.05 ^b	0.96 ± 0.03 ^b
Firmeza (N)	0.10 ± 0.00 ^c	0.08 ± 0.00 ^c	0.13 ± 0.01 ^b	0.24 ± 0.00 ^a

N: newton, Fza: fuerza, Y: yogurt, MCE1, 2 y 3: microencapsulados con 5, 10 y 20 mg de flavonoides de canela ^{abcd} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas (p≤0.05)

3.4.3. Análisis microbiológico

Para medir la calidad higiénica de las muestras de yogur evaluadas, se realizó un análisis microbiológico el cual se muestra en la Tabla 5 y que confirmó su inocuidad mediante la ausencia en cuenta estándar de bacterias coliformes y hongos en todos los tipos de yogur. De acuerdo con el Reglamento Sanitario de los Alimentos de Chile se considera como límite máximo permitido <102 UFC / g de enterobacterias, hongos y levaduras (76), la presencia de valores de aw inferior a 0.75 inhibe el crecimiento bacteriano, permitiendo el crecimiento de algunas levaduras y hongos, cuando el valor es inferior a 0.6 aw todo el crecimiento se inhibe (57,77). En esta investigación observamos que todas las muestras presentaron valores de aw de 0.92 y 0.93, por lo que en este estudio la actividad de agua no influyo en la ausencia de hongos y coliformes, sin embargo, este efecto puede verse relacionado a la actividad antifúngica y antimicrobiana de los compuestos cinamaldehído y eugenol contenidos en la canela (60,78). Por lo que al no presentar ningún valor en estos microorganismos se determina la completa inocuidad de las muestras de yogur analizadas. Con recuentos viables de las cepas de cultivo de Bacterias ácido lácticas (BAL) *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbruckii sub. bulgaricus*

medidas con MRS, debido a que sobrepasan el mínimo de 107 UFC / g indicado por la NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018 (62), para las cuatro muestras de yogur evaluadas, a partir de las 48 y 72 hrs.

Tabla 5. Análisis microbiológico de yogur con microencapsulados de *Czeylanicum*

Medios de Cultivo	Yogurt Log	Y + MCE1 Log	Y + MCE2 Log	Y + MCE3 Log
Cuenta estándar	80.74	0	42.48	59.88
MacConkey	0	0	0	0
MRS	52.91	53.15	50.83	48.74
Saboraud	16.73	2.22	16.03	16.31
PDA	0	0	0	0

MRS: Man, Rogosa y Sharpe, PDA: agar de papa y dextrosa, Y: yogur, MCE1, 2 y 3: microencapsulados con 5, 10 y 20 mg de flavonoides de canela

3.4.4. Análisis químico proximal

El análisis químico proximal del yogur natural con la adición de las tres dosis de microencapsulados probadas en el modelo *in vivo* se muestra en la Tabla 6, observando que a mayor concentración de microencapsulados mayor porcentaje de humedad (85.03 ± 0.51), siendo el yogur natural el de menor porcentaje de humedad (75.43 ± 0.65), el porcentaje de grasa, disminuye con la adición de los microencapsulados de *Czeylanicum*, el porcentaje de humedad es ligeramente menor al reportado por Kareem et al. (79) (86.97 %) quienes adicionaron microencapsulados de probióticos en yogur con 1 % de goma arábica (79) y ligeramente mayor a lo reportado por Keerti y Sangeeta (59) (75.61 %) que adicionaron 0.5, 1 y 1.5 % de extracto de canela a yogur natural. De acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018, Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba el porcentaje de proteína debe ser mínimo de 1.60 % y la grasa butírica máxima de 7 % (62), por lo que todas las muestras de yogur evaluadas en esta investigación se encuentran dentro de los parámetros permitidos, los cuales son menores en porcentaje de grasa (3.21) y similares en proteína (3.88) a lo reportado

por Kareem et al. (79) y Al-Manhel et al. (80) que adicionaron probióticos encapsulados con 1 % de goma arábiga en yogur. El contenido de cenizas del yogur natural es de (0.7 ± 0.06 %) y al adicionar microencapsulados, este porcentaje aumenta de (0.8 ± 0.08 , 0.11 ± 0.13 y 0.14 ± 0.15), respectivamente, el cual es mayor en el yogur natural y menor al adicionar microencapsulados, al reportado por Yadav et al, (81) que adiciono extracto de canela en yogur, obteniendo 0.68 % en el control y con canela 0.63 %, de acuerdo con Al-Rimawi (60) esta diferencia se podría deber a la adición de un polvo tipo harina, lo que produce un mayor residuo de cenizas, en comparación con un extracto líquido, debido a que en su estudio comprueba que la adición de aceite de canela aumenta ligeramente los valores de sólidos, la cual es mayor al ser microencapsulado, por lo que el aumento observado a mayor adición de MCE, depende del aumento de materia orgánica de canela propiamente.

Tabla 6. Análisis Químico Proximal de yogur con microencapsulados de *Czeylanicum*

Parámetro	Yogur	Yog. + MCE 1	Yog. + MCE 2	Yog. + MCE 3
% Humedad	75.43 ± 0.65^b	77.82 ± 2.2^b	84.49 ± 3.38^a	85.03 ± 0.51^a
% Grasa	2.0 ± 0.0^a	1.0 ± 0.0^b	1.0 ± 0.0^b	1.0 ± 0.0^b
% Proteína	3.50 ± 2.03^a	3.20 ± 1.86^a	3.10 ± 1.34^a	3.80 ± 1.20^a
% Cenizas	0.70 ± 0.06^a	0.80 ± 0.08^b	0.11 ± 0.13^c	0.14 ± 0.15^d
% Carbohidratos	93.80 ± 0.65^c	$95.00 \pm 2.2^{b,c}$	$95.79 \pm 3.38^{a,b}$	95.06 ± 0.51^a

Y: yogurt, MCE1, 2 y 3: microencapsulados con 5, 10 y 20 mg de flavonoides de canela, ^{abc} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas ($p \leq 0.05$)

3.4.5. Compuestos y capacidad antioxidante

La actividad y capacidad antioxidante del yogur natural con la adición de las tres dosis de microencapsulados probadas en el modelo *in vivo* se observan en la Tabla 7, demostrando que a mayor adición de microencapsulados aumenta la cantidad de fenoles y flavonoides aportados por la muestra, así como la actividad antioxidante reflejada por porcentaje de inhibición de DPPH. La reactividad de Folin-Ciocalteu del yogur natural se debe a la presencia de compuestos lácteos diferentes a los polifenoles como antioxidantes de bajo peso molecular, aminoácidos libres, péptidos y proteínas, por lo que una baja recuperación de fenoles en el

sobrenadante del yogur fortificado con canela puede deberse a la presencia de proteínas de la leche que pueden unirse y precipitar los polifenoles de la canela. En un estudio previo, Helal et al. (61) encontraron que la adición de un 25 % de leche a una bebida de canela disminuye de alrededor del 28 % el contenido de polifenoles totales, la cual es resultado de la formación de complejos insolubles entre los taninos de la canela y las proteínas de la leche. A su vez el pH ácido propio de yogurt debido a la fermentación de las BAL, puede aumentar la afinidad de unión entre los compuestos fenólicos y las proteínas de la leche Helal et al. (61) encontraron que el pH óptimo de las interacciones entre taninos y caseínas de leche fue a pH 5. En general, la formación de complejos insolubles entre proteínas y taninos es máxima a valores de pH cercanos al punto isoeléctrico de la proteína. El yogurt enriquecido exhibió una actividad de eliminación de radicales significativamente mayor que el yogurt natural. La actividad de eliminación de radicales del yogurt natural se debe principalmente a la formación de péptidos bioactivos con actividad de eliminación de radicales debido a la actividad proteolítica de los lactobacilos iniciadores utilizados en la producción de yogurt. Las actividades de eliminación de ABTS y DPPH en el sobrenadante del yogurt fortificado con canela es inferior al 32 % y al 43 % actividad antioxidante del yogurt fortificado con fresa se redujo debido a la interacción polifenol-proteína (37). La matriz de yogurt mejora la estabilidad gastrointestinal y la bioaccesibilidad de los polifenoles de canela. El yogurt fortificado con canela puede considerarse una fuente importante de polifenoles dietéticos bioaccesibles (37). Las muestras suplementadas contenían polifenoles de canela en cantidades más bajas que las presentes en el extracto de agua de canela, pero contenían más fenoles totales y exhibieron una mayor actividad de eliminación de radicales en comparación con el yogurt natural. De hecho, la presencia de matriz de yogurt mejoró en gran medida la recuperación de fenoles totales y fenoles individuales al final de la digestión en comparación con el extracto acuoso de canela. Además de los conocidos beneficios para la salud de la leche fermentada, el yogurt fortificado con canela mostró un alto contenido de polifenoles y cinamaldehído con alta bioaccesibilidad después de la digestión gastropancreática simulada y, por lo tanto, puede considerarse como una fuente

importante de polifenoles dietéticos bioaccesibles. Por su mayor actividad de eliminación de radicales, el yogur fortificado con canela se puede considerar un buen candidato para la protección del tracto gastrointestinal del daño de los radicales libres (37). De acuerdo con la revisión realizada por Grushkiene et al. (82) la actividad antioxidante del yogur aumenta o se mantiene por más tiempo al adicionar flavonoides microencapsulados en comparación con la forma no encapsulada de los extractos. El kéfir, el yogur y el queso son vehículos apropiados para diversos ingredientes bioactivos, como carotenoides, compuestos fenólicos, probióticos, omega-3 y otros micronutrientes. La microencapsulación mejora la estabilidad y solubilidad de los compuestos bioactivos, mejorando su supervivencia de los probióticos durante el procesamiento, almacenamiento o digestión gástrica del producto.

Tabla 73. Actividad antioxidante de yogurt con microencapsulados de Czeylanicum

Parámetro	Yogur	Yog. + MCE 1	Yog. + MCE 2	Yog. + MCE 3
Fenoles µg AG / mL	63.60 ± 1.58 ^d	137.56 ± 0.80 ^c	284.32 ± 1.61 ^b	310.84 ± 0.25 ^a
Flavonoides µg cat / mL	36.06 ± 3.89 ^d	161.98 ± 5.14 ^c	267.08 ± 4.17 ^b	409.15 ± 11.23 ^a
DPPH % de Inhibición	36.92 ± 0.41 ^b	81.49 ± 1.81 ^a	83.07 ± 2.83 ^a	83.79 ± 11.25 ^a

Y: yogurt, MCE1, 2 y 3: microencapsulados con 5, 10 y 20 mg de flavonoides de canela, ^{abcd}
 Superíndice diferente indica diferencias significativas entre filas (p≤0.05)

3.4.6. Bioaccesibilidad intestinal

En la Tabla 8 se muestra la bioaccesibilidad de antioxidantes medida en yogur natural y en las tres dosis de adición de microencapsuladas evaluadas, encontrando una presencia de fenoles en el yogur natural de (86.01 ± 12.41), la cual aumenta en la primer dosis con MCE1 a (616.81 ± 28.25) y disminuye al adicionar MCE, mientras que los flavonoides en yogur natural fue de (42.36 ± 11.36) y en el yogur con adición de MCE asciende de (99.27 ± 21.13 a 122.61 ± 42.39), siendo la formulación MCE3 la de mayor bioaccesibilidad de flavonoides, mientras que en la capacidad antioxidante, medida por DPPH, en el yogur natural presenta un (61.20 ± 0.42 %) y en el yogur con adición de MCE presenta una disminución a mayor adición, presentando MCE1 (84.15 ± 0.06 %), MCE2 (80.98 ± 0.15 %) y MCE3 78.13 ± 0.71

%). La presencia de fenoles en yogur natural, se atribuye a la reactividad del Folin-Ciocalteu con los compuestos de bajo peso molecular contenidos en el yogur como: aminoácidos libres, péptidos y proteínas (61,83), mientras que la actividad de eliminación de radicales de DPPH del yogur natural se podría deber a la formación de péptidos bioactivos con actividad de eliminación de radicales debido a la actividad proteolítica de los lactobacilos iniciadores de producción del yogur natural (83). De forma general después de la digestión *in vitro* del yogur adicionado con microencapsulados de canela se observa que la digestión, aumenta el contenido de fenoles y flavonoides en comparación con el extracto acuoso de canela antes de ser microencapsulado. De acuerdo con Helal et al. (83) el yogur tiene un efecto protector durante la digestión, el cual puede deberse a la unión inicial entre las proteínas de la leche y los antioxidantes, que hacen que ya no estén disponibles para interactuar con la pepsina, sin embargo, las caseínas se hidrolizan en fase pancreática, liberando estos compuestos unidos, aumentando su bioaccesibilidad en intestino, con lo que el yogur mejora su estabilidad gastrointestinal y la bioaccesibilidad intestinal de los microencapsulados de extracto de canela, por lo tanto, puede considerarse como un alimento funcional que aporte fenoles y flavonoides bioaccesibles con actividad eliminadora de radicales, para la protección del tracto gastrointestinal (83).

Tabla 8. Bioaccesibilidad antioxidante de yogurt con microencapsulados de *Czeylanicum*

Parámetro	Yogurt	Yog. + MCE 1	Yog. + MCE 2	Yog. + MCE 3
Fenoles µg AG / mL	86.01 ± 12.41 ^d	616.81 ± 28.25 ^a	550.85 ± 28.79 ^b	402.29 ± 49.47 ^c
Flavonoides µg cat / mL	42.36 ± 11.36 ^d	99.27 ± 21.13 ^c	107.03 ± 39.16 ^b	122.61 ± 42.39 ^a
DPPH % de Inhibición	61.20 ± 0.42 ^d	84.15 ± 0.06 ^a	80.98 ± 0.15 ^b	78.13 ± 0.71 ^c

Y: yogurt, MCE1, 2 y 3: microencapsulados con 5, 10 y 20 mg de flavonoides de canela, ^{abcd}
 Superíndice diferente indica diferencias significativas entre filas (p≤0.05)

3.4.7. Análisis sensorial

La evaluación sensorial del yogurt se muestra en la Tabla 9, donde se observa que no existen diferencias significativas, sin embargo numéricamente el color de la muestra de yogurt natural gusto moderadamente más en comparación con la

muestra con MCE1, debido principalmente a que los panelistas indicaron que se ve común o similar al que consumen, y que se ve agradable a la vista, asociándolo a una mayor sensación de cremosidad, mientras que el yogurt con MCE1 es considerado más llamativo y agradable a la vista, dando la sensación de tener sabor. En cuanto a la evaluación del olor numéricamente la muestra con MCE1 gusto más que la muestra de yogurt natural, considerándolo como un olor muy agradable, dulce y poco ácido, 48 consumidores identificaron un sabor a canela, nuez, vainilla, dulce de leche y cereal. En cuanto a la evaluación del sabor, la muestra de yogurt natural presentó un mayor agrado numéricamente, en comparación con la muestra de yogurt con MCE1 refiriendo un sabor menos ácido, a 40 consumidores les pareció agradable por qué, lo podrían combinar con más alimentos, mientras que la muestra con microencapsulados de canela les pareció más ácida, insípida y sin azúcar, 18 consumidores identificaron sabor a nuez, canela, vainilla y cereal, 6 consumidores indicaron que el sabor no coincidía con el olor. La acidez detectada por los consumidores en la muestra de yogurt con MCE1 corresponde con los valores de pH y acidez titulable presentados en la Tabla 4, donde estos parámetros son mayores en el yogurt con MCE1, en comparación con el yogurt natural, causada por la fermentación de las BAL que utilizan los microencapsulados como sustrato (61), lo cual fue detectado sensorialmente por los consumidores. A pesar de este efecto fisicoquímico, Illupapalayam et al. (86) demuestran con prueba hedónica de 9 puntos que el yogur con canela, cardamomo y nuez moscada, otorgan buenas propiedades sensoriales, sin afectación de las BAL. La evaluación de la consistencia del yogurt natural fue más agradable numéricamente debido a que lo consideraron fácil de ingerir, pero agradable al paladar, percibiéndolo con mayor cremosidad que el yogurt con microencapsulados, el cual les pareció más líquido y fluido, lo cual es similar a los resultados de dureza y firmeza obtenidos en el análisis de perfil de textura realizado en las muestras de yogurt (Tabla 4), donde se observó que estos valores fueron menores en la muestra de yogurt con MCE1 que en la muestra de yogurt natural, indicando que la adición de 5 mg de Flavonoides afectan el equilibrio hídrico dentro de la matriz láctea aumentando el volumen de agua libre (84).

No se encontraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros sensoriales evaluados (color, olor, sabor y consistencia) en las muestras probadas (yogurt natural vs yogurt con microencapsulados de canela), por lo que se considera que ambas muestras gustan por igual en todos los parámetros evaluados, destacando que numéricamente el yogurt con MCE1 gusto más en olor. Caso similar al reportado por la evaluación sensorial realizada por expertos de Choi et al. (85) quienes reportan que no se vieron afectadas las características sensoriales del yogur con extracto etanólico de canela siendo aceptadas por igual con una muestra testigo de yogurt natural. Caso contrario a la evaluación realizada por Al-Rimawi et al. (60) quienes reportan que las propiedades organolépticas más aceptables fue el yogurt adicionado con aceite de canela, seguido del aceite de eucalipto y en menor medida el aceite de germen de trigo. Lo cual se podría deber a que de esas muestras la canela proporciona una mejor percepción sensorial en comparación con las demás especias probadas que no son tan apetecibles.

Tabla 9. Evaluación sensorial de muestras de yogurt

Muestra	Color	Olor	Sabor	Consistencia
Yogurt natural	672 ± 160.70 ^a	623 ± 118.09 ^a	515 ± 72.96 ^a	625 ± 112.59 ^a
Yogurt MCE Cz	605 ± 108.82 ^a	674 ± 165.90 ^a	435 ± 44.36 ^a	547 ± 76.85 ^a

MCE1: microencapsulado de extracto acuoso de canela + 5 mg de flavonoides,

^aSuperíndice igual indica sin diferencias significativas entre columnas ($p \leq 0.05$)

3.4.8. Modelo *in vivo*

3.4.8.1. Resultados dietéticos

En la Tabla 10 se observa que durante la aclimatación (sem 3-5) no existen diferencias estadísticamente significativas entre grupos, debido a que consumían la misma dieta, presentando un ligero aumento de la semana 3 a 5, esto se podría deber a que los conejos se encontraban en etapa de crecimiento, por lo que su consumo aumentaba semana a semana. En cuanto a la semana 6 y 7 se realizó el cambio de dieta para los grupos (Control+SM, SM+MCE1, SM+MCE2 y SM+MCE3), observando una evidente disminución de ingesta calórica de un 66.51 % en la primera semana de inducción del SM (sem 6) y de un 70.36 % para la segunda

semana (sem 7). Durante las cuatro semanas de tratamiento (sem 8-11), se puede identificar que el grupo control es el que mantuvo un mayor consumo en comparación con los demás grupos (273.24 kcal) $p \leq 0.05$, y el grupo control con SM presento la menor ingesta calórica (106.92 kcal), mientras que en los grupos con tratamiento se observa un aumento de consumo conforme aumenta la dosis de MCE (121.48, 146.71 y 172.70 kcal) en promedio respectivamente. Situación similar a la reportada por Arias-Mutis et al. (51) quienes mencionan que encontraron diferencias dentro de los grupos de animales con síndrome metabólico durante la dieta de inducción en comparación con el control y que su ingesta diaria durante las semanas de tratamiento con la administración de MCE de jugo de granada, el consumo energético en el grupo control se mantuvo constante, mientras que los conejos con síndrome metabólico ingirieron un 66.7 % más de kcal que los controles (537 ± 41 vs 322 ± 8 kcal día⁻¹).

Tabla 104. Consumo de Alimento en kilocalorías

Etapa	Sem	Grupo				
		Control kcal	Control SM kcal	SM + MCE1 kcal	SM+MCE2 kcal	SM+MCE3 kcal
Aclimatación	3	425.25 $\pm$ 95.13 ^a	326.41 $\pm$ 73.02 ^b	318.69 $\pm$ 71.29 ^b	365.46 $\pm$ 81.75 ^{a,b}	361.60 $\pm$ 80.89 ^b
	4	444.53 $\pm$ 99.44 ^a	414.64 $\pm$ 92.76 ^a	435.85 $\pm$ 97.50 ^a	458.51 $\pm$ 102.57 ^a	438.26 $\pm$ 98.04 ^a
	5	511.55 $\pm$ 114.44 ^a	474.33 $\pm$ 106.11 ^b	462.32 $\pm$ 103.42 ^b	479.26 $\pm$ 107.21 ^b	490.44 $\pm$ 109.71 ^b
Inducción SM	6	433.08 $\pm$ 96.88 ^a	159.58 $\pm$ 35.70 ^b	181.76 $\pm$ 40.66 ^b	159.10 $\pm$ 35.59 ^b	135.00 $\pm$ 30.20 ^b
	7	375.58 $\pm$ 84.02 ^a	140.30 $\pm$ 31.38 ^b	149.94 $\pm$ 33.54 ^b	133.55 $\pm$ 29.87 ^b	140.78 $\pm$ 31.49 ^b
Tratamiento	8	312.04 $\pm$ 69.80 ^a	128.73 $\pm$ 28.79 ^{b,c}	107.51 $\pm$ 51.63 ^c	156.69 $\pm$ 35.05 ^{b,c}	184.17 $\pm$ 41.20 ^b
	9	285.42 $\pm$ 63.85 ^a	104.14 $\pm$ 23.29 ^{b,c}	95.94 $\pm$ 24.05 ^c	136.44 $\pm$ 30.52 ^{b,c}	160.07 $\pm$ 35.80 ^b
	10	262.76 $\pm$ 58.78 ^a	99.32 $\pm$ 22.21 ^c	135.96 $\pm$ 30.41 ^{b,c}	145.60 $\pm$ 32.57 ^{b,c}	170.86 $\pm$ 38.22 ^b
	11	232.76 $\pm$ 52.07 ^a	95.52 $\pm$ 21.36 ^c	146.52 $\pm$ 32.77 ^{b,c}	149.12 $\pm$ 33.36 ^{b,c}	175.71 $\pm$ 39.30 ^b

media $\pm$ error estándar, ^{abcd} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas ($p \leq 0.05$). ISM: Inducción de síndrome metabólico, ISM0: con inducción de síndrome metabólico sin tratamiento, ISM5, ISM10, ISM20 (con inducción de síndrome metabólico más la adición de 5, 10 y 20 mg de microencapsulados de canela)

En la Tabla 11 se muestra el consumo calórico del agua consumida en las diferentes etapas de la experimentación: aclimatación, inducción del SM y tratamiento, observado que en la aclimatación no existen diferencias estadísticas entre los grupos, ingiriendo similares consumos de agua, en cambio en la inducción de SM se observa el cambio drástico en la disminución de su consumo en un 46.28 % en

los grupos con inducción de SM, debido a la adición de sacarosa en un 15 % en su agua, mientras que el grupo control mantuvo el consumo que traía durante la aclimatación $p \leq 0.05$. Durante el tratamiento se observa que los grupos con SM que consumieron el yogur con MCE, fueron los grupos con menor consumo de agua (52.41 a 70.84 kcal), mientras que el grupo control con SM ingirieron una mayor cantidad 82.18 kcal y el grupo control mantuvo el consumo similar desde la aclimatación.

Tabla 116. Consumo de Agua en kilocalorías

Etapa	Sem	Grupo				
		Control kcal	Control SM kcal	SM + MCE1 kcal	SM+MCE2 kcal	SM+MCE3 kcal
Aclimatación	3	159.10 $\pm$ 30.73 ^a	150.76 $\pm$ 34.09 ^a	144.61 $\pm$ 16.26 ^b	157.90 $\pm$ 35.32 ^a	153.54 $\pm$ 34.34 ^a
	4	152.35 $\pm$ 38.04 ^a	157.89 $\pm$ 37.14 ^a	163.31 $\pm$ 25.87 ^a	169.04 $\pm$ 37.81 ^a	166.30 $\pm$ 37.20 ^a
	5	160.10 $\pm$ 42.05 ^a	185.78 $\pm$ 45.32 ^a	189.75 $\pm$ 36.34 ^a	179.25 $\pm$ 40.10 ^a	177.75 $\pm$ 39.76 ^a
Inducción SM	6	157.60 $\pm$ 43.37 ^a	79.39 $\pm$ 43.74 ^b	85.17 $\pm$ 45.10 ^b	63.64 $\pm$ 14.23 ^b	91.82 $\pm$ 20.54 ^b
	7	144.64 $\pm$ 59.18 ^a	75.75 $\pm$ 39.51 ^b	74.25 $\pm$ 21.04 ^b	62.57 $\pm$ 13.99 ^b	83.25 $\pm$ 18.62 ^b
Tratamiento	8	155.75 $\pm$ 54.34 ^a	55.07 $\pm$ 38.44 ^b	76.50 $\pm$ 19.10 ^b	71.25 $\pm$ 15.93 ^b	66.85 $\pm$ 14.95 ^b
	9	161.89 $\pm$ 52.18 ^a	69.42 $\pm$ 41.76 ^b	56.46 $\pm$ 23.22 ^b	52.60 $\pm$ 11.76 ^b	67.28 $\pm$ 15.05 ^b
	10	152.64 $\pm$ 52.42 ^a	91.92 $\pm$ 40.74 ^b	55.17 $\pm$ 18.2 ^{c,d}	44.25 $\pm$ 9.89 ^e	72.21 $\pm$ 16.15 ^{b,c}
	11	154.51 $\pm$ 53.04 ^a	112.33 $\pm$ 40.86 ^b	54.91 $\pm$ 18.04 ^{c,d}	41.54 $\pm$ 9.29 ^e	77.05 $\pm$ 17.23 ^c

media $\pm$ error estándar, ^{abcd} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas ($p \leq 0.05$). ISM: Inducción de síndrome metabólico, ISM0: con inducción de síndrome metabólico sin tratamiento, ISM5, ISM10, ISM20 (con inducción de síndrome metabólico más la adición de 5, 10 y 20 mg de microencapsulados de canela)

3.4.8.2. Bioquímicos

En la siguiente serie de Figuras 3(a-f) se muestran los niveles de glucosa, colesterol, triglicéridos, lipoproteínas de alta densidad (HDL), lipoproteínas de baja densidad (LDL) e índice aterogénico obtenidos por grupo experimental (Control, Control con SM, SM+MCE1, SM+MCE2 y SM+MCE3), al finalizar la inducción del SM, y la obtenida al finalizar el tratamiento y/o momento del sacrificio.

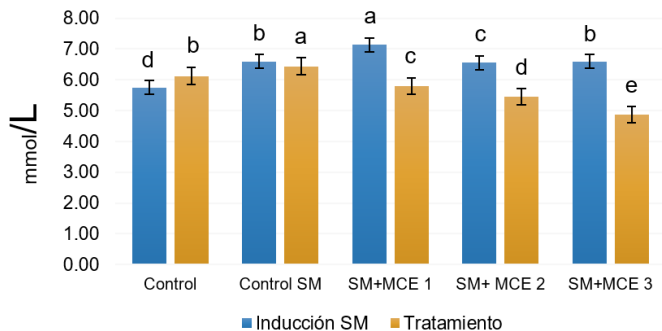


Figura 1a. Glucosa mmol/L

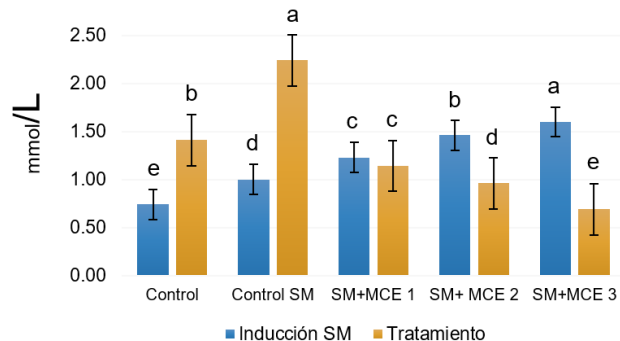


Figura 1b. Colesterol mmol/L

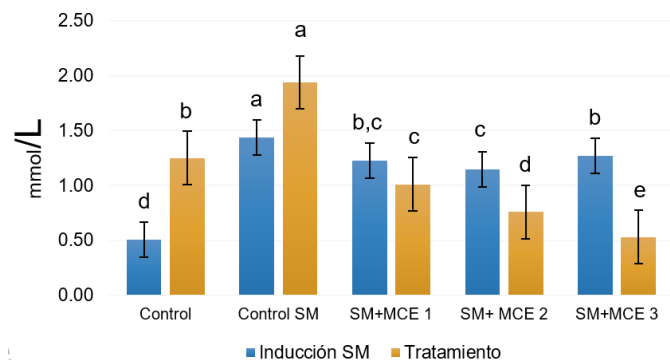


Figura 1c. Triglicéridos mmol/L

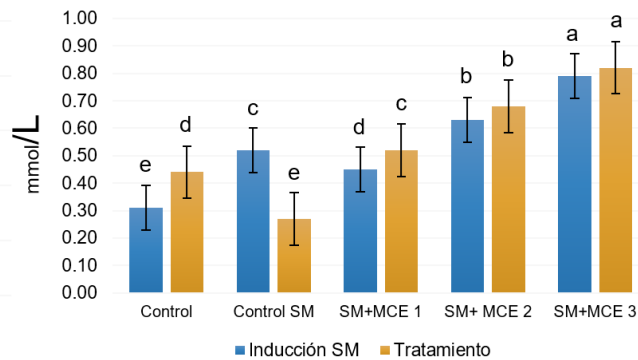


Figura 1d. Lipoproteínas de alta densidad (HDL)

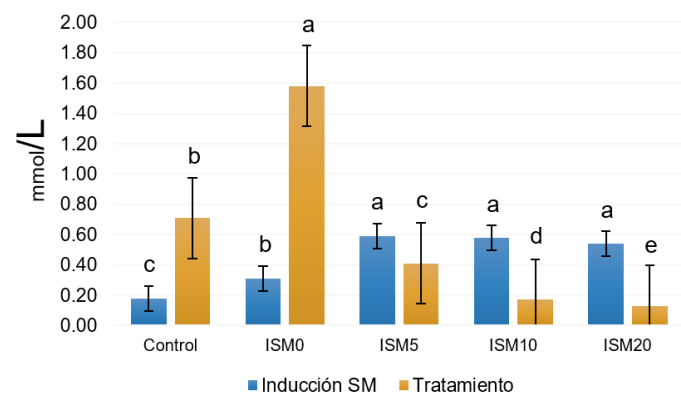


Figura 1e. Lipoproteínas de baja densidad (LDL)

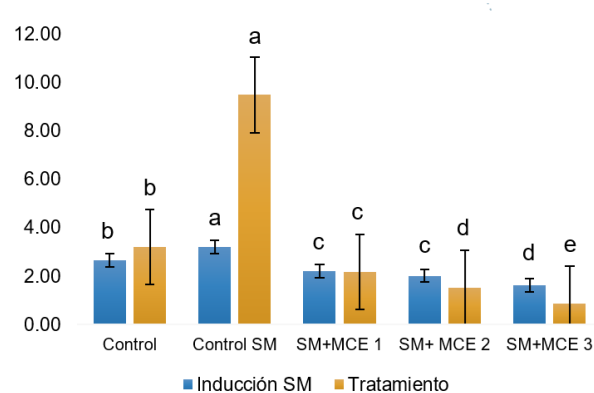


Figura 1f. Índice aterogénico

En la Figura 3a, se observa que al finalizar la inducción del síndrome metabólico, los cinco grupos presentaron valores similares de glucosa (5.75-6.60 mmol / L), encontrándose dentro del rango de los valores de referencia de glucosa en conejo macho (5.77 a 10.10 mmol / L), al terminar el tratamiento se observa una ligera disminución en los grupos que consumieron yogurt con microencapsulados de canela, en comparación con los grupos que no la consumieron (6.12 y 6.44 mmol /

L) respectivamente y esta disminución es mayor conforme aumenta la ingesta de microencapsulados (5.8, 5.45 y 4.87 mmol / L) respectivamente, alcanzando el 24.38 % de disminución, con diferencia significativa en comparación con los grupos control ($p \leq 0.05$). Javed et al. (41) reporta eficacia hipolipidémica en polvo de *Czeylanicum* en dosis de 0.25, 0.50 y 0.75 g / kg y en extracto en agua y metanol a 0.75 g / kg en conejos Nueva Zelanda, lo cual concuerda que, a mayor dosis, menores concentraciones de glucosa sanguínea. Arias-Mutis et al. (51) los niveles de glucosa en ayunas fueron similares entre los grupos antes de la administración de la dieta (102 ± 10 vs. 102 ± 13 mg dL⁻¹), la dieta rica en grasas y sacarosa aumentó los niveles de glucosa en ayunas en conejos con síndrome metabólico en las semanas 14 (115 ± 10 frente a 102 ± 7 mg dL⁻¹, $p \leq 0.05$) y 28 (117 ± 11 frente a 101 ± 10 mg dL⁻¹) $p \leq 0.05$. Los conejos con síndrome metabólico mostraron valores de glucosa en sangre más altos. En la Figura 3b se muestran los niveles de colesterol obtenidos durante la experimentación, observando que al finalizar la inducción del síndrome metabólico los grupos con dieta alta en grasas obtuvieron los valores más altos en este parámetro (1, 1.23, 1.46 y 1.6 mmol / L) respectivamente, sobrepasando el límite máximo de referencia de colesterol en conejo macho (1.6 mmol / L), en comparación con el grupo control cuya dieta era baja en grasa (0.74 mmol / L), mientras que al finalizar el tratamiento se percibe una disminución en los grupos que consumieron yogur con microencapsulados de canela, en comparación con los grupos que no la consumieron (1.41 y 2.24 mmol / L) respectivamente y esta disminución es mayor conforme aumenta la ingesta de microencapsulados (1.14, 0.96 y 0.69 mmol / L) respectivamente, alcanzando 69.2 % de baja con diferencia significativa en comparación con los grupos control ($p \leq 0.05$), similar a lo reportado por Josni et al. (40) que reportan una reducción de 64.25 % y 71.63 % del colesterol en conejos con 200 mg y 300 mg / kg de extracto crudo de *Cinnamon verum*. Arias-Mutis et al. (51) reportan que los niveles de colesterol total no fueron diferentes entre los conejos de control y con síndrome metabólico, ni observó diferencias dentro de los grupos a lo largo del tiempo. Los conejos son muy sensibles a las dietas ricas en colesterol y acumulan grandes cantidades de colesterol en su plasma, su uso como modelos experimentales para

evaluar el desarrollo de aterosclerosis es muy relevante y aporta información sobre factores que contribuyen a la progresión y regresión de esta condición que se puede aplicar a los humanos. Solo los conejos muestran una tendencia a desarrollar hipercolesterolemia a través de la acumulación de colesterol exógeno después de unos días de recibir dietas ricas en colesterol, ya que su excreción de esteroides no se puede aumentar (90), por lo que su tendencia a desarrollar hipercolesterolemia a través de una dieta rica en colesterol es más sencilla, debido al marcado aumento de las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) (91). En la Figura 3c se aprecia que los niveles de triglicéridos al terminar la inducción del síndrome metabólico son mayores en los grupos alimentados con dieta alta en grasa (1.44, 1.23, 1.15 y 1.27 mmol / L) respectivamente, en comparación con el grupo control alimentado con dieta baja en grasa (0.51 mmol / L), sin superar los valores de referencia de triglicéridos en conejo macho (1.6 mmol / L), mientras que al finalizar el tratamiento, el grupo con inducción de síndrome metabólico sin tratamiento (Control SM) obtuvo los valores más altos de triglicéridos (1.94 mmol/ L) en comparación con los demás grupos, así como sobrepasar el límite máximo de referencia (1.8 mmol / L), también se observa que a mayor dosis de microencapsulados de canela, mayor es la reducción de triglicéridos (1.01, 0.76 y 0.53 mmol / L) respectivamente, alcanzando una disminución del 72.69 % con diferencia significativa en comparación con los grupos control ($p \leq 0.05$), caso similar a lo reportado por Josni et al. (40) que observaron un aumento en el nivel de triglicéridos en su grupo control y una reducción de 63.50 % y 68.03 % en conejos con 200 mg y 300 mg / kg de extracto crudo de *Cinnamomum verum*. Arias-Mutis et al. (51) reportaron un aumento en triglicéridos en las semanas 14 y 28. La Figura 3d se observa que el contenido de lipoproteínas de alta densidad (HDL) al finalizar la inducción del SM era menor en el grupo control (0.31 mmol / L) en comparación con los demás grupos ($p \leq 0.05$) y que al finalizar el tratamiento este parámetro disminuyó notablemente en el grupo control con SM (0.27 mmol / L vs 0.52 mmol / L inicial) , presentando una constante de aumento en los grupos que consumieron yogurt con microencapsulados (0.52, 0.68 y 0.82 mmol / L) respectivamente, alcanzando hasta un 67.08 % de aumento con diferencia significativa en comparación con los grupos control ($p \leq 0.05$), de

acuerdo con Osorio (92) no existen valores de referencia de lipoproteínas de alta densidad reportados en conejo. Josni et al. (40) reportan que el extracto en metanol de *Cverum* aumento los niveles de HDL sanguíneos, después de la administración simultánea de ambas dosis 200 y 300 mg / kg pv. Arias-Mutis et al. (51) reportaron una disminución en HDL en las semanas 14 y 28. La Tabla 3e se muestra que el contenido de lipoproteínas de baja densidad (LDL) al finalizar la inducción del SM se mantenía bajo en todos los grupos, siendo menor en el grupo control (0.18 mmol / L) y que al finalizar el tratamiento este parámetro de elevo significativamente en el grupo control con SM (1.58 mmol / L) hasta un 89.25 % con diferencia significativa en comparación con los demás grupos ($p \leq 0.05$), en los cuales se observa una tendencia de disminución (0.41, 0.17 y 0.13 mmol / L) respectivamente, este porcentaje de aumento es mayor a lo reportado Josni et al. (40), tras aportar una dieta rica en grasas durante 120 días, observaron una disminución del 68.80 % con dosis de 200 mg y 76.69 % con dosis de 300 mg en comparación con conejos alimentados con dieta aterogénica (40). De acuerdo con Osorio (92) no existen valores de referencia para este parámetro en conejo, sin embargo, Arias-Mutis et al. (51) encontraron un aumento en LDL en las semanas 14 y 28. La disminución en el perfil lipídico es igual a la reportada por Aldalou et al. (93) tras la suplementación de cúrcuma, canela, vitamina C y simvastatina en conejo doméstico, siendo la canela la de mayor efecto, seguida de la vitamina C, simvastatina y curcumina. En la Figura 3f se observa el índice aterogénico el cual nos indica la prevalencia de padecer arterosclerosis, observando que al finalizar la inducción del síndrome metabólico, este valor fue ligeramente mayor en los grupos control y control SM (2.67 y 3.2) respectivamente, en comparación con los demás grupos (2.21, 2.02 y 1.63) respectivamente y que al finalizar el tratamiento, esta diferencia se marcó más, al superar el límite máximo de presencia de índice aterogénico (≥ 4) observando que el grupo con inducción de síndrome metabólico sin tratamiento presenta una mayor tendencia a desarrollar aterosclerosis en comparación con los demás grupos (9.48) y que esta tendencia disminuye con la ingesta de canela (2.18, 1.53 y 0.86) respectivamente, alcanzando hasta un 84 % de disminución con diferencia significativa en comparación con el grupo sin tratamiento ($p \leq 0.05$), caso similar a lo

reportado por Joshi et al. (40) quienes observaron una disminución sobre el índice aterogénico después de 120 días de tratamiento con extracto en metanol de *Cinnamon verum*.

3.4.8.3. Morfológicos

En la Tabla 12 se observa la ganancia de peso obtenida por semana, etapa y grupo experimental, observando que durante la etapa de aclimatación e inducción del SM la ganancia de peso fue mayor en el grupo control con un valor $p \leq 0.05$, en comparación con los demás grupos, además durante la etapa de inducción del SM, en los grupos con SM+MCE el grupo con dosis 3, obtuvieron la menor ganancia de peso, mientras que los otros dos grupos con dosis 1 y 2 se mantuvieron similares. misma situación a la reportada por Arias-Mutis et al. (51), quienes mencionan un aumento de peso progresivo en el grupo con síndrome metabólico que comenzó a ser evidente ya en la primera semana de adaptación a la dieta y durante el tratamiento en comparación con los controles. En el tratamiento se muestra que el grupo control con SM, obtuvieron la mayor ganancia de peso en comparación con los demás grupos $p \leq 0.05$, seguido por el grupo control, mientras que en los grupos con SM y MCE 1,2 y 3 se observa una disminución de ganancia de peso, conforme aumentaba la cantidad de dosis de MC con valores $p \leq 0.05$ entre estos, pudiendo atribuirle este efecto a la ingesta de mayor cantidad de flavonoides obtenidos en los MCE de canela proporcionados a través del yogur natural, confirmando el efecto de reducción de peso de la canela, el cual es igual al reportado por Aldalou et al. (91), tras la suplementación de cúrcuma, canela, vitamina C y simvastatina en conejo doméstico, siendo la canela la de mayor efecto seguida de la cúrcuma, vitamina C y simvastatina.

Tabla 12. Ganancia de peso de los conejos

Etapa	Sem	Grupo				
		Control	Control SM	SM + MCE1	SM+MCE2	SM+MCE3
Inducción SM	4	283.75 ± 65.71 ^a	202.50 ± 45.30 ^a	223.75 ± 50.05 ^a	263.75 ± 59.00 ^a	255.00 ± 57.04 ^a
	5	253.75 ± 56.76 ^a	256.75 ± 57.43 ^a	278.75 ± 62.36 ^a	283.75 ± 65.71 ^a	267.50 ± 59.84 ^a
	6	203.00 ± 45.41 ^b	380.00 ± 85.01 ^a	98.75 ± 22.09 ^b	85.00 ± 19.01 ^{b,c}	122.50 ± 27.40 ^b
	7	116.25 ± 26.00 ^b	312.50 ± 69.91 ^a	70.00 ± 15.65 ^c	55.00 ± 12.30 ^d	101.25 ± 22.65 ^b
	8	91.25 ± 20.41 ^b	275.00 ± 61.52 ^a	-68.75 ± 15.38 ^c	-76.25 ± 17.05 ^c	-92.50 ± 20.69 ^d
Tratamiento	9	61.25 ± 13.70 ^b	222.50 ± 49.77 ^a	-15.00 ± 3.35 ^d	-42.30 ± 11.74 ^c	-52.50 ± 11.74 ^c
	10	18.75 ± 4.19 ^b	217.50 ± 48.65 ^a	-15.00 ± 3.35 ^d	-35.00 ± 7.82 ^c	-45.00 ± 10.06 ^c
	11	7.50 ± 1.67 ^b	201.25 ± 45.02 ^a	-5.00 ± 1.11 ^e	-15.25 ± 3.41 ^c	-35.00 ± 7.82 ^d

media ± error estándar, ^{abcd} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas ($p \leq 0.05$). ISM: Inducción de síndrome metabólico, ISM0: con inducción de síndrome metabólico sin tratamiento, ISM5, ISM10, ISM20 (con inducción de síndrome metabólico más la adición de 5, 10 y 20 mg de microencapsulados de canela)

La circunferencia de cintura de los conejos durante la experimentación, se muestran en la Tabla 13, donde se observa que en la etapa de aclimatación no existieron diferencias significativas, alcanzando circunferencias similares en todos los grupos experimentales, mientras que, en la inducción del SM se percibe que el grupo control + SM obtuvo las circunferencias mayores $p \leq 0.05$, seguido del grupo control, mientras en la etapa de tratamiento, en los grupos con inducción de SM + MCE 1, 2 y 3 se presenta una disminución estadística a mayor dosis de MCE, siendo el grupo SM+MCE3 el de menor circunferencia de cintura, seguido del grupo SM+MCE2 y SM+MCE1, en los grupos control se observa el mismo comportamiento que en la etapa de inducción $p \leq 0.05$, Arias-Mutis et al. (51) reportan que los animales con síndrome metabólico aumentaron su circunferencia abdominal en comparación con los grupos controles, por lo que se puede decir que la canela logró la disminución de grasa abdominal, reflejada en los centímetros que media la circunferencia de cintura.

Tabla 13. Circunferencia de cintura en los conejos

Etapa	Sem	Grupo				
		Control	Control SM	SM + MCE1	SM+MCE2	SM+MCE3
Aclimatación	3	17.50 ± 3.91 ^a	17.00 ± 3.80 ^a	18.50 ± 4.13 ^a	17.75 ± 3.97 ^a	18.25 ± 4.08
	4	19.00 ± 4.25 ^a	18.50 ± 4.13 ^a	18.00 ± 4.02 ^a	19.00 ± 4.25 ^a	17.50 ± 3.91 ^a
	5	20.75 ± 4.64 ^a	19.75 ± 4.41 ^a	20.00 ± 4.47 ^a	20.50 ± 4.58 ^a	20.50 ± 4.58 ^a
Inducción SM	6	20.25 ± 4.53 ^b	22.00 ± 4.92 ^a	22.25 ± 4.97 ^a	21.75 ± 4.86 ^a	21.50 ± 4.80 ^a
	7	21.25 ± 4.75 ^c	25.75 ± 5.76 ^a	21.50 ± 4.80 ^c	23.00 ± 5.14 ^b	22.50 ± 5.02 ^b
Tratamiento	8	21.75 ± 4.57 ^b	23.25 ± 5.20 ^a	21.50 ± 4.80 ^b	21.25 ± 4.75 ^b	16.50 ± 3.69 ^c
	9	22.00 ± 4.92 ^b	23.50 ± 5.25 ^a	21.25 ± 4.75 ^b	20.00 ± 4.47 ^b	16.25 ± 3.63 ^c
	10	22.75 ± 5.08 ^b	25.25 ± 5.64 ^a	22.25 ± 4.97 ^b	21.50 ± 4.80 ^b	17.75 ± 3.97 ^c
	11	22.25 ± 4.97 ^a	23.00 ± 5.14 ^a	21.50 ± 4.80 ^b	21.00 ± 4.69 ^b	17.00 ± 3.80 ^c

media ± error estándar, ^{abcd} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas (p≤0.05). ISM: Inducción de síndrome metabólico, ISM0: con inducción de síndrome metabólico sin tratamiento, ISM5, ISM10, ISM20 (con inducción de síndrome metabólico más la adición de 5, 10 y 20 mg de microencapsulados de canela)

3.4.9. Lipoperoxidación de hígado y corazón

En la Tabla 14 se muestran los resultados de estrés oxidativo determinado a través de la lipoperoxidación en hígado y corazón de los conejos, observando que el hígado de los conejos control con SM, presentaron mayor estrés oxidativo (0.0125 ± 7.75) con diferencia estadística significativa p≤0.05 en comparación con los demás grupos, mientras que el grupo control presento los menores valores de oxidación (0.0016 ± 3.98). En cuanto a los grupos con adición de MCE se puede observar que esta se mantuvo en un rango de (0.0042 a 0.0046), reduciendo la oxidación en un 65 %. En cuanto al corazón se observa comportamiento similar al hígado, siendo el grupo control SM el de mayor oxidación (0.005 ± 0.00) con diferencia estadística significativa p≤0.05 en comparación con los demás grupos y el grupo control con menor (0.001 ± 0.00). En los grupos con MCE se mantuvo el mismo valor de (0.002 ± 0.00) en todos los grupos, reduciendo la oxidación en un 60 %. Efecto similar al reportado por Aldalou et al. (93), tras la suplementación de cúrcuma, canela, vitamina C en conejos domésticos, siendo la canela el suplemento con menor efecto en comparación con la vitamina C y la cúrcuma. El estrés oxidativo está estrechamente relacionado con ocasionar obesidad y diabetes (39), por lo que la reducción porcentual del 62 % obtenida con yogurt + MCE en sus tres dosis implica

una alternativa terapéutica de tratamiento y prevención de estas patologías. Efecto atribuido principalmente al cinamaldehído, ácido cinámico y antioxidantes contenidos en la canela, los cuales tienen efectos protectores contra toxinas tanto naturales, como químicas como: pesticidas, metales pesados, contaminantes ambientales, solventes, detergentes y fármacos antitumorales (94)

Tabla 147. Lipoperoxidación de hígado y corazón

Órgano	Grupo				
	Control	Control SM	SM + MCE1	SM+MCE2	SM+MCE3
Hígado	0.0016 ± 3.98 ^d	0.0125 ± 7.75 ^a	0.0042 ± 3.05 ^c	0.0043 ± 3.33 ^c	0.0046 ± 3.04 ^b
Corazón	0.001 ± 0.00 ^c	0.005 ± 0.00 ^a	0.002 ± 0.00 ^b	0.002 ± 0.00 ^b	0.002 ± 0.00 ^b

media ± error estándar, ^{abcd} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas (p≤0.05). ISM: Inducción de síndrome metabólico, ISM0: con inducción de síndrome metabólico sin tratamiento, ISM5, ISM10, ISM20 (con inducción de síndrome metabólico más la adición de 5, 10 y 20 mg de microencapsulados de canela)

3.5. Conclusión

La adición de MCE Cz de 5, 10 y 20 mg de flavonoides en el yogurt modifico ligeramente la matriz sin causar efectos indeseables en el producto volviéndolo más firme con un color con tendencia al tono rojo y amarillo, el cual comprueba el contenido de compuestos bioactivos con propiedades colorimétricas (antioxidantes) contenidos en el mismo, siendo aceptado sensorialmente por los consumidores. Las tres dosis de MCE Cz lograron la disminución de 24.38 % la glucosa, 69.2 % el colesterol total, 72.69 % los triglicéridos, LDL un 89.25 %, el índice aterogénico un 90 %, peso hasta un 38.5 %, la circunferencia abdominal hasta un 29 % y un 62 % de estrés oxidativo, así como el aumento de 67 % las lipoproteínas de alta densidad, por lo que demuestran su uso potencial en la disminución de comorbilidades de síndrome metabólico principalmente la disminución de triglicéridos, índice aterogénico circunferencia abdominal y peso, así como el aumento de lipoproteínas de alta densidad, por lo que se puede considerar la adición de MCE Cz en yogurt, como una alternativa para la innovación de un alimento funcional con propiedades fisicoquímicas y biológicas favorables, con aceptación sensorial para su consumo

en todas las etapas de la vida y posible coadyuvante en la prevención y tratamiento de comorbilidades del síndrome metabólico.

3.6. Referencias

1. Trujillo-Hernández B, Trujillo-Magallón E, Trujillo-Magallón M. Frequency of metabolic syndrome and risk factors in adults with and without diabetes mellitus and arterial hypertension. *Rev Salud Pública*. 2017;19(5):609–16. <https://doi.org/10.15446/rsap.V19n5.56960>.
2. Pacheco-Armenta MC and Jáquez-Torres JÁ. Prevalencia de síndrome metabólico en la consulta externa. *Rev Sanid Milit*. 2017;71(3):264–75.
3. Tabatabai SM, Dashti S, Doosti F and Hosseinzadeh H. Phytotherapy of opioid dependence and withdrawal syndrome: A review. *Phytotherapy Research*. 2014;28(6):811–30. doi: 10.1002/ptr.5073.
4. Tulini FL, Souza VB, Echalar-Barrientos MA, Pallon MJA and Favaro-Trinade CS. Development of solid lipid microparticles loaded with a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*): Potential for increasing antioxidant content in functional foods for diabetic population. *Food Research International*. 2016; 85:10–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.006>.
5. Ribeiro-Santos R, Andrade M, Madella D, Martinazzo AP, García MLA, Ramos de Melo N and Sanches-Silva A. Revisiting an ancient spice with medicinal purposes: Cinnamon. *Trends Food Sci Technol*. 2017; 62:154–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.011>.
6. Maiti R, González RH, Kumari CHA and Chandra SN. Macro and micro-nutrient contents of 18 medicinal plants used traditionally to alleviate diabetes in nuevo leon, northeast of Mexico. *Pak J Bot*. 2016; 48:271–6. <https://doi.org/10.23910>.
7. Medagama AB. The glycaemic outcomes of Cinnamon, a review of the experimental evidence and clinical trials. *Nutr J*. 2015;14(1). <https://doi.org/10.1186/s12937-015-0098-9>.
8. Gupta Jain S, Puri S, Misra A. Effect of oral cinnamon intervention on metabolic profile and body composition of Asian Indians with metabolic syndrome: A randomized double-blind control trial. *Lipids Health Dis*. 2017;16(1):1–11. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0504-8>.
9. Hosni AA, Abdel-Moneim AA, Abdel-Reheim ES, Mohamed SM and Helmy H. Cinnamaldehyde potentially attenuates gestational hyperglycemia in rats through

- modulation of PPAR γ , proinflammatory cytokines and oxidative stress. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2017; 88:52–60. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.01.054>.
10. Jahangir MA, Shehzad A, Butt MS and Shahid M. Therapeutic Potential of *Cinnamomum zeylanicum* extract to mitigate Hyperglycemia. *Ann King Edw Med Univ*. 2017;23(2):225–34. <https://doi.org/10.21649/akemuv23i2.1586>.
 11. Beji RS, Khemir S, Wannes WA, Ayari K and Ksouri R. Antidiabetic, antihyperlipidemic and antioxidant influences of the spice cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) in experimental rats. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2018;54(2):2–9. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902018000217576>.
 12. Zare R, Nadjarzadeh A, Zarshenas MM, Mesbah F and Heydari M. Efficacy of cinnamon in patients with type II diabetes mellitus: A randomized controlled clinical trial. *Clinical Nutrition*. 2019;38(2):549–56. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.03.003>.
 13. Sharafeldin K and Rizvi MR. Effect of traditional plant medicines (*Cinnamomum zeylanicum* and *Syzygium cumini*) on oxidative stress and insulin resistance in streptozotocin-induced diabetic rats. *The Journal of Basic & Applied Zoology*. 2015; 72:126–34. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2015.09.002>.
 14. Kassaei SM, Goodarzi MT, Roodbari NH and Yaghmaei P. The effects of *Cinnamomum zeylanicum* on lipid profiles and histology via up-regulation of LDL receptor gene expression in hamsters fed a high cholesterol diet. *Jundishapur J Nat Pharm Prod*. 2017;12(3):37340–8. <https://doi.org/10.5812/jjnpp.37340>.
 15. Bastos MS, Del Vesco AP, Santana TP, Murilo de Oliveira GJ, Miranda FRP, Teixeira BL and Gasparino E. The role of cinnamon as a modulator of the expression of genes related to antioxidant activity and lipid metabolism of laying quails. *PLoS One*. 2017;12(12):1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189619>.
 16. Song MY, Kang SY, Kang A, Hwang JH, Yong Ki P and Won Jung H. *Cinnamomum cassia* Prevents High-Fat Diet-Induced Obesity in Mice through the Increase of Muscle Energy. *American Journal of Chinese Medicine*. 2017;45(5):1017–31. <https://doi.org/10.1142/S0192415X17500549>.
 17. Haidari F, Mohammadshahi M, Abiri B, Zarei M and Fathi M. Cinnamon extract supplementation improves inflammation and oxidative stress induced by acrylamide: An experimental animal study. *Avicenna J Phytomed*. 2020;10(3):243–52.

18. Tangvarasittichai S, Sanguanwong S, Sengsuk C and Tangvarasittichai O. Effect of Cinnamon Supplementation on Oxidative Stress, Inflammation and Insulin Resistance in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *International Journal of Toxicological and Pharmacological Research*. 2015; 7:1–8.
19. Nagendra Nayak IM, Rajasekhar C and Jetty R. Anti-Atherosclerotic Potential of Aqueous Extract of *Cinnamomum zeylanicum* Bark against Glucocorticoid Induced Atherosclerosis in Wistar Rats. *J Clin Diagn Res*. 2017;11(5):FC19–23. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/23910.9864>.
20. Gunawardena D, Karunaweera N, Lee S, Van der kooy F, Harman DG, Raju R, Bennet L, Gyengesi E, Sucher NJ and Munch G. Anti-inflammatory activity of cinnamon (*C. zeylanicum* and *C. cassia*) extracts – identification of E-cinnamaldehyde and o-methoxy cinnamaldehyde as the most potent bioactive compounds. *Food Funct*. 2015;6(3):910–9. <https://doi.org/10.1039/C4FO00680A>.
21. Shirzad F, Morovatdar N, Rezaee R, Tsarouhas K and Abdollahi MA. Cinnamon effects on blood pressure and metabolic profile: A double-blind, randomized, placebo-controlled trial in patients with stage 1 hypertension. *Avicenna J Phytomed*. 2020;7(11):1–10.
22. Ranjini HS, Padmanabha Udupa EG, Kamath SU, Manjunath C, Hadapad B and Kamath A. An in vitro study of *Cinnamomum zeylanicum* as natural inhibitor of angiotensin-converting enzyme (ACE) on sheep (*ovis aries*) tissues. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 2016;9(5):249–52.
23. Aguiar J, Estevinho BN and Santos L. Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. *Trends Food Sci Technol*. 2016; 58:21–39. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.012>.
24. Assefa AD, Keum YS, Saini RK. A comprehensive study of polyphenols contents and antioxidant potential of 39 widely used spices and food condiments. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2018;12(3):1548–55. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9770-z>.
25. de Souza VB, Thomazini M, Echalar Barrientos MA, Marina NC, Ferro-Furtado R, Genovese MI and Favaro-Trinade C. Functional properties and encapsulation of a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*) by complex coacervation using gelatin and different polysaccharides. *Food Hydrocoll*. 2018; 77:297–306. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.040>.

26. El-Messery TM, El-Said MM, Demircan E and Ozcelik B. Microencapsulation of natural polyphenolic compounds extracted from apple peel and its application in yoghurt. *Acta Sci Pol Technol Aliment.* 2019;18(1):25–34. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2019.0597>.
27. Lima EMF, Madalão MCM, dos Santos WC, Campos BP, Henriques SS and Silva PI. Spray-dried microcapsules of anthocyanin-rich extracts from *Euterpe edulis* M. as an alternative for maintaining color and bioactive compounds in dairy beverages. *J Food Sci Technol.* 2019;56(9):4147–57. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03885-5>.
28. Onwulata CI. Microencapsulation and Functional Bioactive Foods. *J Food Process Preserv.* 2013;37(5):510–32. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00680.x>.
29. Assefa AD, Keum YS and Saini RK. A comprehensive study of polyphenols contents and antioxidant potential of 39 widely used spices and food condiments. *Journal of Food Measurement and Characterization.* 2018;12(3):1548–55. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9770-z>.
30. Bastos MS, Del Vesco AP, Santana TP, Oliveira GM, Miranda FRP, Teixeira BL and Gasparino E. The role of cinnamon as a modulator of the expression of genes related to antioxidant activity and lipid metabolism of laying quails. Kunze G, editor. *PLoS One.* 2017;12(12):1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189619>.
31. Šeregelj V, Tumbas Šaponjac V, Lević S, Kalusevic A, Cetkovic G and Canadanovic-Brunet J. Application of encapsulated natural bioactive compounds from red pepper waste in yogurt. *J Microencapsul.* 2019;36(8):704–14. <https://doi.org/10.1080/02652048.2019.1668488>.
32. Gaona-Pineda EB, Martínez-Tapia B, Arango-Angarita A, Valenzuela-Bravo A, Gómez-Acosta D, Shaman-Levy LM and Rodríguez-Ramírez S. Food groups consumption and sociodemographic characteristics in Mexican population. *Salud Publica Mex.* 2018;60(3):272–82. <https://doi.org/10.21149/8803>.
33. Francisco CRL, Heleno SA, Fernandes IPM, Barreirab R, Calhelhab LB, Odinei HG, Ferreirab CFR and Barreira MF. Functionalization of yogurts with *Agaricus bisporus* extracts encapsulated in spray-dried maltodextrin crosslinked with citric acid. *Food Chem.* 2018; 245:845–53. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.098>.
34. Illupapalayam VV, Smith SC and Gamlath S. Consumer acceptability and antioxidant potential of probiotic-yogurt with spices. *LWT - Food Science and Technology.* 2014;55(1):255–62. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.025>.

35. Michael M, Phebus RK and Schmidt KA. Plant extract enhances the viability of *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* and *Lactobacillus acidophilus* in probiotic nonfat yogurt. *Food Sci Nutr*. 2015;3(1):48–55. <https://doi.org/10.1002/fsn3.189>.
36. Helal A and Tagliazucchi D. Impact of *in-vitro* gastro-pancreatic digestion on polyphenols and cinnamaldehyde bioaccessibility and antioxidant activity in stirred cinnamon-fortified yogurt. *LWT*. 2018; 89:164–70. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.047>.
37. Lozano WM, Arias-Mutis OJ, Calvo CJ, Chorro FJ and Zarzoso M. Diet-Induced Rabbit Models for the Study of Metabolic Syndrome. *Animals*. 2019;9(7):463. <https://doi.org/10.3390/ani9070463>.
38. Jimoh A, Tanko Y, Ahmed A, Mahoma U and Ayo J. Resveratrol prevents high-fat diet-induced obesity and oxidative stress in rabbits. *Pathophysiology*. 2018;25(4):359–64. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2018.07.003>.
39. Joshi SC, Jain PK and Sharma P. Anti-atherosclerotic and lipid lowering effects of *Cinnamomum verum* in cholesterol-fed rabbits. *Int J Curr Pharm Res*. 2016;9(1):75.
40. Ijaz Javed, Imran Faisal and Ziaur Rahman. Lipid lowering effect of *Cinnamomum zeylanicum* in hyperlipidaemic albino rabbits. *Pak J Pharm Sci*. 2012; 1:141–7.
41. Dorantes-Morales A, Estrada-Luna D, Bautista-Pérez R, Betanzos-Cabrera G, Luna-Luna M, Flores-Castillo C, Vargas-Alarcón G, Fragoso JM, Pérez-Méndez O and Carreón-Torres E. Microencapsulated Pomegranate Modifies the Composition and Function of High-Density Lipoproteins (HDL) in New Zealand Rabbits. *Molecules*. 2020; 25:3297. <https://doi.org/10.3390/molecules25143297>.
42. Budryn G, Zyzelewicz D, Nebesny E, Oracz J and Krysiak W. Influence of addition of green tea and green coffee extracts on the properties of fine yeast pastry fried products. *Food Research International*. 2013;50(1):149–60. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.006>.
43. AOAC 2000. Official Methods of Analysis, 21st Edition (2019) - AOAC International. Official Methods of Analysis (17 edición ed.). 2019.
44. Chandra Mondal S, Jesmin Akhter M, Nazmul Hossain M, Saha S and Atikur RM. Comparative Growth and Growing Percentage of *Lactobacillus spp.* from Different Traditional Dairy Products Comparative Growth and Growing Percentage of *Lactobacillus spp.* from Different Traditional Dairy Products (Yoghurt, Cheese, Butter, Lassi and Cow milk) in Bangladesh using Stirred Tank Bioreactor. *IOSR*

- Journal of Environmental Science*. 2018;12(1):76–81. <https://doi.org/10.9790/2402-1201027681>.
45. Mbae J, Koskei R and Mugendi B. Effect of Addition of Coffee Extract on Microbial Growth and Functional Properties of Yoghurt. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*. 2022;13;4(1):76–80. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2022.4.1.445>.
 46. Ajibola I, Ibrahim AN, Igwe CE, Asogwa ES, Agbaka JI and Ajibo QC. Influence of *Ocimum gratissimum* (Scent Leaf) on the Organoleptic Acceptability and Shelf Stability of Yoghurt. *Asian Food Science Journal*. 2020;16(1):57671. doi: 10.9734/AFSJ/2020/v16i130163.
 47. Cruz AG, Cadena RS, Alvaro MBVB, SantÁna AS, Oliveira CAF, Faria JAF, Bolini HMA and Ferreira MMC. Assessing the use of different chemometric techniques to discriminate low-fat and full-fat yogurts. *LWT - Food Science and Technology*. 2013;50(1):210–4. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.023>.
 48. Ahmed HM, Ramadhani AM, Erwa IY, Omer IOA and Boshrah SM. Phytochemical Screening, Chemical Composition and Antimicrobial Activity of *Cinnamon verum* Bark. *Int Res J Pure Appl Chem*. 2022;36–43. <https://doi.org/10.9734/IRJPAC/2020/v21i1130222>.
 49. Sammani MS, Clavijo S and Cerdà V. Recent, advanced sample pretreatments and analytical methods for flavonoids determination in different samples. *Trends in Analytical Chemistry*. 2021;138. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116220>.
 50. Tang PL, Cham XY, Hou X and Dengb J. Potential use of waste cinnamon leaves in stirred yogurt fortification. *Food Biosci*. 2022; 48:101838. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101838>.
 51. Sandoval-Gallegos EM, Ramírez-Moreno E, Lucio JG De, Arias RJ, Cruz CN, Ortiz M and Cariño CR. *In Vitro* Bioaccessibility and Effect of *Mangifera indica* (Ataulfo) Leaf Extract on Induced Dyslipidemia. *J Med Food*. 2018; 21(1):47–56. <https://doi.org/10.1089/jmf.2017.0042>.
 52. Palczak J, Blumenthal D, Rogeaux M and Delarue J. Sensory complexity and its influence on hedonic responses: A systematic review of applications in food and beverages. *Food Qual Prefer*. 2019; 71:66–75. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.06.002>.
 53. Arias-Mutis OJ, Marrachelli VG, Ruiz-Saurí A, Alberola A, Morales JM, Such-Miquel L, Monleón D, Chorro FJ, Tal L and Zarzoso M. Development and characterization

- of an experimental model of diet-induced metabolic syndrome in rabbit. *PLoS One*. 2017;12(5).
54. Council NR. Nutrient Requirements of Rabbits: Second Revised Edition, 1977. Nutrient Requirements of Rabbits. 1AD. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178315>.
 55. Iqbal Z, Ashraf T, Khan AA, Hussain R and Mudassar M. Antihyperlipidemic efficacy of cinnamon in albino rats. *Asian Journal of Agriculture and Biology*. 2015;4(1):8–16.
 56. Castelli WP. Epidemiology of coronary heart disease: The Framingham study. *Am J Med* 1984;76(2 PART A):4–12. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(84\)90952-5](https://doi.org/10.1016/0002-9343(84)90952-5).
 57. Panchal SK, Poudyal H, Iyer A, Nazer R, Alam A, Diwan V, Kauter K, Sernia C, Campbell F, Ward L, Gobe G, Fenning A and Marrón L. High-carbohydrate high-fat diet-induced metabolic syndrome and cardiovascular remodeling in rats. *J Cardiovasc Pharmacol*. 2011;57(1):51–64. <https://doi.org/10.1097/FJC.0b013e3181feb90a>.
 58. Agustina OR, Rocio A, Gabriela R, Gimenez MF and Gomez ME. Alterations in oxidative metabolism in liver of female rats: Effects of long-term vitamin A deficiency. *Biological and Pharmaceutical Sciences*. 2020 8;13(1):267–78. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2020.13.1.0064>.
 59. Shah NP and Ravula RR. Influence of water activity on fermentation, organic acids production and viability of yogurt and probiotic bacteria. *Australian Journal of Dairy Technology*. 2000;55(3):127–31.
 60. Lavelli V and Sri Harsha PSC. Microencapsulation of grape skin phenolics for pH-controlled release of antiglycation agents. *Food Research International*. 2019; 119:822–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.065>.
 61. Yadav K and Shukla S. Microbiological, physicochemical analysis and sensory evaluation of herbal yogurt. *The Pharma Innovation Journal*. 2014;3(10):01–4.
 62. Sohrabpour S, Rezazadeh Bari M, Alizadeh M and Amiri S. Investigation of the rheological, microbial, and physicochemical properties of developed symbiotic yogurt containing *Lactobacillus acidophilus* LA-5, honey, and cinnamon extract. *J Food Process Preserv*. 2021;45(4): e15323. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15323>.
 63. Al-Rimawi F, Alayoubi M, Elama claudie, Jazzar M and Cakici A. Use of cinnamon, wheat germ, and eucalyptus oils to improve quality and shelf life of concentrated yogurt (*Labneh*). 2020;6(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1807810>.

64. Helal A, Tagliazucchi D, Verzelloni E and Conte A. Bioaccessibility of polyphenols and cinnamaldehyde in cinnamon beverages subjected to *in vitro* gastro-pancreatic digestion. *J Funct Foods*. 2014;7(1):506–16. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.01.005>.
65. Diario Oficial de la Federación N 181. Yogurt-Denominación, especificaciones físicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba”. Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-181-SCFI/SAGARPA-2017. PROY-NOM-181-SCFI/SAGARPA-2017. 2017.
66. Jiménez-Redondo N, Vargas AE, Teruel-Andreu C, Lipán L, Muelas R, Hernández F, Sendra E and Cano-Lamadrid M. Evaluation of cinnamon (*Cinnamomum cassia* and *Cinnamomum verum*) enriched yoghurt during refrigerated storage. *LWT*. 2022;159. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113240>.
67. Cheng ZO, Sullivan MG, Kerry JP, Draco MA, Miao C, Kaibo D and Kilcawley KN. A cross-cultural sensory analysis of skim powdered milk produced from pasture and non-pasture diets. *Food Research International*. 2020; 138:1–12. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109749.
68. Martínez-Damián MT, Cruz-Álvarez O, Moreno-Pérez E del C and Valle-Guadarrama S. Intensidad de color y compuestos bioactivos en colectas de chile guajillo del norte de México. *Rev Mex De Cienc Agric*. 2019; 10(1):35–49. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.465>.
69. Garzón GA. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. *Acta Biolo Colomb*. 2008;13(3):27–36.
70. Venugopala KN, Rashmi V and Odhav B. Review on natural coumarin lead compounds for their pharmacological activity. *Biomed Res Int*. 2013; 2013:1–14. <https://doi.org/10.1155/2013/963248>.
71. Azmir J, Zaidul ISM, Rahman MM, Sharif KM, Mohamed A, Sahena F, Jahurul MHA, Ghafoorc K, Norulaini NAN and Omar AKM. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *J Food Eng* 2013; 117(4):426–36. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>.
72. Almusallam IA, Mohamed Ahmed IA, Babiker EE, Al-Juhaimia FY, Saleh A, Qasem AA, Al-Maiman S, Osman MA, Ghafoor K, Hajji AH and Al-Shawarkerb AS. Effect of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) spikelets extract on the physicochemical and microbial properties of set-type yogurt during cold storage. *LWT*. 2021; 148:111762. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111762>.

73. Yu HY, Wang L and McCarthy KL. Characterization of yogurts made with milk solids nonfat by rheological behavior and nuclear magnetic resonance spectroscopy. *J Food Drug Anal.* 2016;24(4):804–12. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.04.002>.
74. Li C, Song J, Kwok L yu, Wang J, Dong Y, Yu H, Hou Q, Zhang H and Fu Chen Y. Influence of *Lactobacillus plantarum* on yogurt fermentation properties and subsequent changes during postfermentation storage. *J Dairy Sci.* 2017;100(4):2512–25. <https://doi.org/doi.org/10.3168/jds.2016-11864>.
75. Sekhavatizadeh SS, Banisaeed K, Hasanzadeh M, Khalatbari-Limaki S, and Hanieh A. Physicochemical properties of kashk supplemented with encapsulated lemongrass extract. *Foods and Raw Materials.* 2023;17;141–151. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-560>.
76. Wang X, Kristo E and LaPointe G. Adding apple pomace as a functional ingredient in stirred-type yogurt and yogurt drinks. *Hydrocoloides alimentarios.* 2019;100. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105453>.
77. De O. Codex Alimentarius - Leche y Productos Lácteos Segunda edición. 2011 [cited 2023 Apr 3]; Available from: <http://www.codexalimentarius.org>
78. Shahidi Noghabi M and Molaveisi M. Microencapsulation optimization of cinnamon essential oil in the matrices of gum Arabic, maltodextrin, and inulin by spray-drying using mixture design. *J Food Process Eng.* 2020;43(2): e13341. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13341>.
79. Choi YJ, Jin HY, Yang HS, Cheon Lee S and Ki Huh C. Quality and storage characteristics of yogurt containing *Lacobacillus sakei* ALI033 and cinnamon ethanol extract. *J Anim Sci Technol.* 2016;58(1):1–7. <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0098-0>.
80. Kareem AN, Gddoa and Al-Sahlany ST. Gum Arabic Uses as Prebiotic in Yogurt Production and Study Effects on Physical, Chemical Properties and Survivability of Probiotic Bacteria During Cold Storage. *World Appl Sci J.* 2016 34(9):1190–6. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2016.34.9.184>.
81. Yadav K and Shukla S. Microbiological, physicochemical analysis and sensory evaluation of herbal yogurt. *The Pharma Innovation Journal.* 2014; 3(10): 01-04.
82. Gruskiene R, Bockuviene A and Sereikaite J. Microencapsulation of Bioactive Ingredients for Their Delivery into Fermented Milk Products: A Review. *Molecules.* 2021;26(15). <https://doi.org/10.3390/molecules26154601>.

83. Helal A and Tagliazucchi D. Impact of *in-vitro* gastro-pancreatic digestion on polyphenols and cinnamaldehyde bioaccessibility and antioxidant activity in stirred cinnamon-fortified yogurt. *LWT*. 2018; 89:164–70. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.047>.
84. Illupapalayam V, Smith SC and Gamlath S. Consumer acceptability and antioxidant potential of probiotic-yogurt with spices. *Food Science and Technology*. 2014;55(1):255–62. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.025>.
85. Yu HY, Wang L and McCarthy KL. Characterization of yogurts made with milk solids nonfat by rheological behavior and nuclear magnetic resonance spectroscopy. *J Food Drug Anal*. 2016;24(4):804–12. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.04.002>.
86. Choi YJ, Jin HY, Yang HS, Cheon Lee S and Ki Huh C. Quality and storage characteristics of yogurt containing *Lacobacillus sakei* ALI033 and cinnamon ethanol extract. *J Anim Sci Technol*. 2016;58(1):1–7. <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0098-0>.
87. Mage RG, Esteves PJ and Rader C. Rabbit models of human diseases for diagnostics and therapeutics development. *Dev Comp Immunol*. 2019; 92:99–104. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2018.10.003>.
88. Fan J, Kitajima S, Watanabe T, Xu J, Zhang J, Liu E and Chen E. Rabbit models for the study of human atherosclerosis: From pathophysiological mechanisms to translational medicine. *Pharmacol Ther*. 2015; 146:104–19. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2014.09.009>.
89. Lu R, Yuan T, Wang Y, Zhang T, Yuan Y, Daijin-Wu, Zhou M, Zhengyi E, Lu Y, Chen Y, Jianglin F, Liang J and Cheng Y. Spontaneous severe hypercholesterolemia and atherosclerosis lesions in rabbits with deficiency of low-density lipoprotein receptor (LDLR) on exon 7. *EBioMedicine*. 2018; 36:29–38. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2018.09.020>.
90. Dornas WC, De Oliveira TT, Augusto LEF and Nagem TJ.. Experimental atherosclerosis in rabbits. *Arq Bras Cardiol*. 2010;95(2):272–8. <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2010001200020>.
91. Fan J, Chen Y, Yan H, Liu B, Wang Y, Zhang J, Chen E, Liu E and Liang J. Genomic and Transcriptomic Analysis of Hypercholesterolemic Rabbits: Progress and Perspectives. *Int J Mol Sci*. 2018;19(11):1–11. <https://doi.org/10.3390/ijms19113512>.

92. Osorio JH. Determinación de los niveles de colesterol LDL en una especie con patrón HDL. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 2013;24(3):277–82.
93. Aldalou AR and Aldalou AR. Hypolipidemic effects of curcumin, cinnamon, vitamin C and simvastatin in domestic rabbits. *Ciencias Biológicas y Farmacéuticas*. 2021;15(1):119–34. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2021.15.1.0103>.
94. Dorri M, Hashemitabar S and Hosseinzadeh H. Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) as an antidote or a protective agent against natural or chemical toxicities: a review. 2018;41(3):338–51. <https://doi.org/10.1080/01480545.2017.1417995>.

CAPÍTULO 4

Evaluación de las características fisicoquímicas y calidad de la carne de conejo (*Oryctolagus cuniculus*) con inducción de síndrome metabólico y adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) en yogurt para beber.

4.1. Resumen

El síndrome metabólico aumenta el riesgo de padecer diabetes y enfermedades cardiovasculares, estudios han demostrado que tratamientos a base de plantas medicinales son útiles en la disminución de estas comorbilidades, entre estas plantas sobresale la canela, la cual podría reducir las complicaciones del síndrome metabólico concebidas en la producción de carne de conejo. Por lo que, esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la inducción de síndrome metabólico y adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela sobre la canal y calidad de la carne a través de la evaluación de factores productivos y caracterización fisicoquímica de la canal. Se utilizaron 20 conejos machos, raza California, asignados completamente al azar en 5 tratamientos (sin inducción de síndrome metabólico (ISM) (control), con ISM sin tratamiento (ISM 0) y con ISM y 5, 10 y 20 mg.kg-1PV-1 de flavonoides microencapsulados en yogurt para beber, con 4 repeticiones, por 112 días. Se calculó la ganancia diaria de peso, consumo, índice de conversión alimenticia y se evaluaron características fisicoquímicas. Concluyendo que los animales que consumieron microencapsulados de extracto acuoso de canela, obtuvieron una mejor ganancia de peso, menor conversión alimenticia y un color más rojo. Por lo que se podría recomendar su utilización en la industria cárnica como aditivo natural para proporcionar color rojo.

Palabras clave: extracto acuoso de canela, conversión alimenticia, microencapsulados

4.2. Introducción

El síndrome metabólico (SM) es un conjunto de alteraciones metabólicas (2), causadas principalmente por una mala alimentación e inactividad física, que aumenta la mortalidad e incapacidad laboral por su relación con padecer diabetes y enfermedades cardiovasculares (3). Diversos estudios han demostrado que tratamientos a base de plantas medicinales o sus extractos son útiles en la disminución de estas comorbilidades, debido a sus propiedades terapéuticas (4). Entre estas plantas sobresale la canela, la cual es considerada una especia utilizada para mejorar el sabor en alimentos (5), se obtiene de la corteza seca de los árboles del género *Cinnamomum* (6), su efecto medicinal se debe a los compuestos bioactivos que contiene y a los cuales se les han comprobado los siguientes efectos en la salud humana: aumento del flujo sanguíneo, efecto en cáncer como antimutagénico y antitumoral, hipoglucemiante, antidiabético, antilipemiante, antimicrobiano (microbios, bacterias y hongos), trastornos digestivos (diarrea y flatulencias), problemas respiratorios (asma y bronquitis), infecciones, regeneración de tejidos, antiinflamatorio, hepatoprotector y pérdida de peso (7–10). Existen múltiples modelos animales que se utilizan para el estudio del SM, los más empleados son ratas y conejos, debido a que su inducción se puede realizar mediante alteraciones genéticas y cambio de dieta (11). En la producción de carne de conejo, se utilizan dietas con alta concentración energética, que incrementa la velocidad de crecimiento del animal, produciéndoles hígado graso y comorbilidades del síndrome metabólico (12), lo cual puede afectar la composición y calidad nutrimental de la carne obtenida de esos animales, lo que finalmente repercute en la alimentación humana (13), además de que podría afectar los sistemas de producción, como son la tasa de conversión alimenticia, la cual determina la eficiencia de utilización del alimento y el rendimiento de la canal, el cual varía dependiendo de las proporciones del músculo, grasa y hueso en la canal (12), para optimizar su rentabilidad (14). De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGROH), el estado de Hidalgo se encuentra entre los diez estados productores de carne de conejo y sus derivados en México (15). Actualmente se están prohibiendo el uso de aditivos

alimentarios que contengan productos químicos, por lo que se requiere innovar en aditivos herbales como alternativa para favorecer el crecimiento del conejo, mejorando su salud metabólica y disminuyendo la eficiencia productiva sin dañar a los animales (16,17). Por lo anterior descrito a la canela se le han atribuido efectos benéficos sobre estos parámetros (18), sin embargo, es necesario estabilizar sus compuestos mediante su microencapsulación con un material de recubrimiento del tipo de carbohidratos (maltodextrina) y gomas (goma arábica), para poder incorporarlo en alimentos funcionales (19), como el yogurt (20) y protegerlos de los factores externos que los oxidan (21). Por lo que la siguiente investigación tiene como objetivo evaluar factores productivos y caracterización fisicoquímica de la canal de conejos California con inducción de síndrome metabólico y adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela en yogurt para beber.

4.3. Materiales y métodos

4.3.1 Diseño experimental

Se utilizaron 20 conejos machos California de 35 d de edad, con un peso de 667.75 ± 39.51 g, con alimento y agua a libre acceso, asignados al azar en 5 tratamientos (sin inducción de síndrome metabólico (ISM) (control), con ISM (ISM0) y con ISM adicionados con yogurt para beber con 5 (ISM5), 10 (ISM10) y 20 (ISM20) mg kg^{-1} PV de flavonoides microencapsulados, se contó con la aprobación del Comité interno de Bioética para el cuidado y uso de los animales (CICUAL/003/2022).

4.3.2. Alimentación

Durante 3 semanas los animales estuvieron en proceso de adaptación, posteriormente se realizó la inducción al síndrome metabólico, durante 2 semanas de acuerdo al modelo de (ISM) de Arias-Mutis et al. (22), las dietas de ISM contenían 15 % de grasa y 15 % de sacarosa.

4.3.3. Mediciones de factores productivos

Para conocer los parámetros productivos, se registró el consumo de alimento y agua diariamente, así como el peso de los animales cada semana. Con los datos

obtenidos se calculó la ganancia diaria de peso (GDP) y conversión alimenticia (CA), para lo cual se utilizaron las siguientes ecuaciones (23)

$$\text{Ganancia diaria de peso} = (\text{peso final} - \text{peso inicial} / 7)$$

$$CA = (\text{kg de alimento consumido} * \text{peso inicial} - \text{peso final} * 100)$$

También se midió el largo de los animales, midiendo la distancia desde el atlas hasta el isquion mientras el animal se encontraba en posición vertical y la circunferencia lumbar mediante una cinta métrica.

4.3.4. Sacrificio

Se realizó a los 98 días de experimentación, mediante el aturdimiento mecánico por concusión, método aprobado en la legislación vigente de acuerdo a la NOM-033-SAG/ZOO-2014 (24), en el Taller de Cárnicos del Instituto de Ciencias Agropecuarias UAEH. La canal fue diseccionada de acuerdo a las recomendaciones de Dalle et al. (25). Los cortes primarios no utilizados, se destinaron para consumo humano.

4.3.5 Canal caliente

Se pesó la canal caliente, los órganos (hígado, riñones, tubo gastrointestinal y vejiga llenos), grasa escapular, perirrenal y la piel. Posteriormente, las canales se almacenaron en refrigeración Torrey Marca CH-156A a 4 °C durante 24 h (25).

4.3.6 Canal fría

Las canales se destazaron después de 24 h en refrigeración (25). La cabeza se cortó a la altura del atlas, el cuarto delantero se obtuvo al cortar entre la 6ta y 7ma costilla, la caja torácica se determinó cortando la última costilla, y el lomo se obtuvo entre la 6ta y 7ma vértebra lumbar cortando transversalmente la columna vertebral para finalmente obtener las patas traseras. Se pesaron por separado la grasa, huesos, y carne de las patas traseras para obtener el peso de la canal (g).

4.3.7 Caracterización fisicoquímica de la canal

Se determinó el pH con un medidor de pH adecuado para muestras de carne (modelo HI99163, Hanna instruments, Cluj-Napoca, Rumanía) (25), el color se midió en la superficie del lomo entre la última costilla y la 6ta vértebra lumbar a temperatura ambiente (22 °C) utilizando un colorímetro modelo Minolta CM-508d, los valores se registraron en términos de espacio de color CIE L*a*b*, como se indica en los lineamientos de medición del color de la carne de la American Meat Science Association (25). La capacidad de retención de agua (CRA) se expresó como porcentaje de pérdida de peso de la carne después de someterse a presión dentro de un papel filtro, que retiene humedad (26). También se midió la pérdida por cocción en los lomos, después de su cocimiento a 80 °C dentro de bolsas plásticas, una vez cocidas se enfriaron a temperatura ambiente y se pesaron. Calculando la pérdida de humedad por cocción mediante la siguiente ecuación (27).

$$\text{Pérdida de agua por cocción} = (\text{peso inicial} - \text{peso final} * 100)$$

4.3.8 Análisis de Perfil de Textura

Las muestras cocidas frías fueron cortadas en cubos de 1 cm por cada lado y luego se comprimió con la sonda P / 36R de 33 mm de diámetro, al 50 % de forma perpendicular a la dirección de la fibra muscular, con una velocidad de la cruceta de 1 mm / seg (16). Posteriormente, se calculó la dureza, cohesión, elasticidad y masticabilidad con el software Texture Pro CT en un analizador de textura modelo TA-XT Plus (26).

4.4. Análisis Estadístico

Los datos obtenidos en este estudio se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA), comparando medias con prueba post hoc de Tukey, considerando diferencias significativas a ($p \leq 0.05$). Expresando los datos como la media de determinaciones por triplicado, utilizando el paquete estadístico SPSS V25 (SPSS Inc., Chicago, IL).

4.5. Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestra la ganancia diaria de peso de los conejos, observando que en la primer semana del tratamiento, el grupo con inducción de síndrome metabólico sin tratamiento (ISM0) obtuvo la mayor ganancia de peso en comparación con los demás grupos (12.68 ± 2.13) ($p \leq 0.05$), seguida del grupo control (10.71 ± 16.05) y de los grupos ISM10, ISM5 y por último ISM20 (10.18 ± 19.60 , 7.32 ± 9.77 y 7.14 ± 11.93) respectivamente, para la segunda semana el grupo ISM5 obtuvo la mayor ganancia de peso (13.04 ± 13.72) con diferencia ($p \leq 0.05$) en comparación con los demás tratamientos, seguida del tratamiento ISM10 y ISM20, presentando disminución de peso en los grupos control y ISM0 (-0.36 ± 11.73 y -2.14 ± 10.32). En la tercera semana los tratamientos con microencapsulados obtuvieron la mayor ganancia, siendo el tratamiento ISM10 (6.43 ± 18.04) el que presento diferencia significativa ($p \leq 0.05$), seguido del ISM5 y ISM20 (2.68 ± 15.56 y 5.00 ± 2.54), mientras que los tratamientos control y ISM0 tuvieron pérdida de peso (-2.50 ± 13.88 y -2.14 ± 17.33). Para la cuarta semana el tratamiento ISM10 presento la mayor ganancia de peso (10.83 ± 9.74) ($p \leq 0.05$) en comparación con los demás grupos, seguida del tratamiento ISM20 (8.54 ± 3.43) y del ISM0 (5.83 ± 17.12), ISM5 (1.25 ± 9.97) y por último el grupo control con pérdida de peso (-10.21 ± 23.84). De acuerdo con los resultados obtenidos por semana, se puede observar que la adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela evito la pérdida de peso en los animales con el paso del tiempo, obteniendo un incremento, comparado con los grupos control y ISM0 que durante las 4 semanas de tratamiento presentaron pérdida de peso (kg), lo que se podría deber a que los microencapsulados de extracto acuoso de canela pudieron haber aumentado la capacidad para asimilar el valor nutricional de los alimentos y convertirlos positivamente en masa corporal (28), causado la ganancia de peso conforme pasaban las semanas, lo cual coincide con el estudio de Muñoz et al. (16) donde demuestran que la canela propicio una ganancia de peso de 2.02 kg en conejo California, al igual que Abdel-Azeem y El-Kader (29) tras la suplementación de 150 y 250 mg kg⁻¹ de canela y clavo, siendo la canela la especia más efectiva en la estimulación del crecimiento de los conejos.

Tabla 1. Ganancia diaria de peso de los conejos

Tratamientos	1er sem (kg)	2da sem (kg)	3er sem (kg)	4ta sem (kg)
Control	10.71 ± 16.05 ^a	-0.36 ± 11.73 ^b	-2.50 ± 13.88 ^c	-0.21 ± 13.84 ^c
ISM0	12.68 ± 2.13 ^c	-2.14 ± 10.32 ^c	-2.14 ± 17.33 ^b	5.83 ± 17.12 ^b
ISM5	7.32 ± 9.77 ^b	3.04 ± 13.72 ^a	2.68 ± 15.56 ^b	1.25 ± 9.97 ^d
ISM10	7.14 ± 10.93 ^b	7.50 ± 7.92 ^a	6.43 ± 18.04 ^a	10.83 ± 9.74 ^a
ISM20	10.18 ± 19.60 ^a	7.50 ± 6.64 ^a	5.00 ± 2.54 ^d	8.54 ± 3.43 ^c

abcde Literales indican diferencias significativas entre filas ($p \leq 0.05$). ISM0 (control), ISM5, ISM10, ISM20 (Inducción de síndrome metabólico, 5, 10 y 20 mg kg⁻¹ de microencapsulados de canela), 1er: primera, 2da: segunda, 3er: tercera y 4ta: cuarta. sem: semana.

En la tabla 2 se puede observar que el tratamiento control mantuvo durante toda la experimentación el mayor consumo de alimento con diferencia estadística ($p \leq 0.05$), seguido de los tratamientos con microencapsulados ISM5, ISM10 y ISM20, los cuales propiciaron la reducción hasta un 57% el consumo de alimento, siendo el tratamiento control sin inducción ISM0 el que consumió menor cantidad de alimento. Por lo que los conejos con dieta de inducción de síndrome metabólico, consumieron 50 % menos que los conejos con dieta control, esto se podría deber a que la dieta de inducción de síndrome metabólico, al ser más calórica, los conejos podrían consumir menor cantidad para cubrir sus necesidades fisiológicas, debido a que sus cambios bioquímicos y vasculares son muy rápidos (22). Resultados similares a lo reportado por Xing et al. (30) en su estudio de obesidad inducida por la alimentación en conejos con enfermedad de hígado graso, con tratamiento de antioxidantes provenientes de proantocianidinas tipo B2. Por lo que una dieta alta en lípidos, podría reducir la ingesta de consumo, aportando mayor contenido energético en menor cantidad de alimento, causando la saciedad de los animales alimentados con este tipo de dieta (31).

Tabla 2. Consumo de alimento de los conejos

Tratamientos	1er sem (g)	2da sem (g)	3er sem (g)	4ta sem (g)
Control	130.36 ± 60.14 ^a	112.71 ± 53.76 ^a	106.43 ± 59.25 ^a	93.54 ± 24.93 ^a
ISM0	52.14 ± 12.91 ^b	35.89 ± 13.63 ^d	40.71 ± 17.80 ^c	52.50 ± 6.49 ^c
ISM5	55.18 ± 12.58 ^b	55.54 ± 12.39 ^c	54.29 ± 12.90 ^c	49.79 ± 18.12 ^c
ISM10	63.81 ± 10.01 ^b	62.62 ± 15.16 ^b	44.76 ± 17.61 ^c	45.83 ± 18.00 ^c
ISM20	55.54 ± 16.35 ^b	65.00 ± 13.36 ^b	65.18 ± 14.32 ^b	66.04 ± 13.04 ^b

^{abcde} Literales indica diferencias significativas entre filas ($p \leq 0.05$). ISM0 (control), ISM5, ISM10, ISM20 (Inducción de síndrome metabólico, 5, 10 y 20 mg kg⁻¹ de microencapsulados de canela)

La conversión alimenticia se muestra en la Tabla 3, donde se puede observar que durante la experimentación el grupo control mantuvo los mayores valores de conversión alimenticia en comparación con los demás grupos con diferencia estadística ($p \leq 0.05$), seguida del grupo ISM0 y por último de los tratamientos con microencapsulados de extracto acuoso de canela ISM5, ISM10 y ISM20 respectivamente, este comportamiento nos podría indicar que la adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela puede disminuir los valores de conversión alimentaria, lo cual coincide con lo reportado por Abdel-Azeem y El-Kader (29) después de suplementar canela y clavo en dosis de 150 y 250 mg / kg disminuyeron significativamente la tasa de conversión alimenticia de una manera más adecuada a la restricción alimenticia realizada por Chen et al. (32), quien obtuvo la disminución de la conversión alimentaria en rangos de 4.28 a 5 y más eficiente al extracto de raíz de *Rauvolfia vomitoria*, la cual no presentó efecto sobre los índices de conversión alimentaria, como esperaban sus autores John and Jo, (33).

Tabla 3. Conversión alimenticia de los conejos

Tratamientos	1er sem	2da sem	3er sem	4ta sem
Control	4.00 ± 0.36 ^a	1.60 ± 2.04 ^a	2.37 ± 2.48 ^a	1.44 ± 0.28 ^a
ISM0	1.15 ± 0.65 ^b	0.83 ± 1.31 ^b	0.77 ± 0.14 ^b	1.07 ± 1.01 ^b
ISM5	0.41 ± 0.18 ^d	0.46 ± 0.08 ^c	0.44 ± 0.58 ^c	0.15 ± 0.72 ^c
ISM10	0.35 ± 0.12 ^e	0.24 ± 0.70 ^c	0.04 ± 0.27 ^d	0.09 ± 0.65 ^d
ISM20	0.33 ± 0.60 ^c	0.11 ± 0.17 ^d	0.03 ± 0.15 ^e	0.06 ± 0.12 ^e

^{abcde} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre filas ($p \leq 0.05$). ISM0 (control), ISM5, ISM10, ISM20 (Inducción de síndrome metabólico, 5, 10 y 20 mg kg⁻¹ de microencapsulados de canela)

La Tabla 4 muestra la evaluación realizada en la canal caliente, observando que el tratamiento con mayor peso vivo fue el control ($2,480 \pm 412.33$) kg presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los demás grupos, seguido de ISM10 ($2,031 \pm 434$) kg, ISM0, ISM5 ($1,998 \pm 266.47$ y $2,063 \pm 167.4$) kg respectivamente y por último ISM20 (1853 ± 268.74) kg, en cuanto al largo de la canal, el tratamiento control obtuvo el mayor largo (35 ± 1.82) cm con diferencia significativa ($p \leq 0.05$), seguido del tratamiento ISM0, ISM5 y ISM10 (32 ± 0.81 , 31 ± 0.97 y 32 ± 2.08) cm respectivamente, siendo el tratamiento ISM20 el de menor largo (31 ± 1.50) cm. La circunferencia de cintura de la canal fue mayor en los tratamientos control y ISM10 (16 ± 2.51 y 16 ± 2.30) cm respectivamente, seguido del tratamiento ISM5 (16 ± 0.81) cm y por último ISM0 y ISM20 (15 ± 0.81 y 14 ± 1.89) cm respectivamente. El peso de la piel fue mayor en el grupo control (359.57 ± 92.80) kg, con diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los demás grupos, seguida de los tratamientos con microencapsulados de extracto acuoso de canela ISM10, ISM5 y ISM20 (277.90 ± 76.59 , 284.22 ± 39.89 y 261.37 ± 61.41) kg respectivamente y por último el grupo ISM0 obtuvo el menor peso de la piel (256.72 ± 32.22) kg. En cuanto al peso de las patas este fue mayor en el grupo control (57.35 ± 4.51) kg con diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los demás grupos, seguido de ISM0 y ISM10 (51.40 ± 5.35 y 50.03 ± 6.13) kg y por último ISM5 y ISM20 (49.32 ± 4.68 y 47.15 ± 5.40) kg respectivamente, el peso de la canal completa fue mayor en el tratamiento control (1390 ± 322.63) kg con diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los demás grupos, seguida de ISM10

(1128 ± 183.19) kg y por último ISM0, ISM5 y ISM20 (1092 ± 145.96, 1146 ± 93.53 y 1022 ± 217.79) kg respectivamente. El peso de las vísceras fue mayor en el tratamiento control (553.97 ± 37.84) kg con diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los demás grupos, seguido de ISM0 y ISM5 (499.87 ± 69.28 y 468.95 ± 55.17) kg respectivamente y de ISM10, ISM20 (472.50 ± 1.01 y 431.70 ± 51.21) kg respectivamente. De manera general la canal caliente a mayor adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela obtuvo menor peso vivo, menor largo de canal, circunferencia de canal, peso de piel, peso de las patas y vísceras, lo que se pudo deber a un menor consumo de alimento, dado a que autores como Hussein y El-Fattah (34) demuestran en su investigación con canal de conejo California, que el aumento del consumo de alimento mejoró las características de la canal y la calidad de la carne (peso vivo, largo, circunferencia y vísceras), por lo que al ingerir menos alimento, estas variables se verían afectadas, como sucedió en este estudio.

Tabla 48. Características de la canal caliente de los conejos

Parámetro	Control	ISM0	ISM5	ISM10	ISM20
Peso vivo (g)	2,480 ± 412.33 ^a	1,998 ± 266.47 ^c	2,063 ± 167.40 ^c	2,031 ± 434.00 ^b	1853 ± 268.74 ^d
Largo canal (cm)	35 ± 1.82 ^a	32 ± 0.81 ^b	31 ± 0.97 ^b	32 ± 2.08 ^b	31 ± 1.50 ^b
Circ. Canal (cm)	16 ± 2.51 ^a	15 ± 0.81 ^a	16 ± 0.81 ^a	16 ± 2.30 ^a	14 ± 1.89 ^a
Peso piel (g)	359.57 ± 92.80 ^a	256.72 ± 32.22 ^{b,c}	284.22 ± 39.89 ^b	277.90 ± 76.59 ^b	261.37 ± 61.41 ^b
Peso patas (g)	57.35 ± 4.51 ^a	51.40 ± 5.35 ^b	49.32 ± 4.68 ^c	50.03 ± 6.13 ^b	47.15 ± 5.40 ^c
Canal caliente (g)	1,390 ± 322.63 ^a	1,092 ± 145.96 ^{a,c}	1,146 ± 93.53 ^{a,b}	1,128 ± 183.19 ^{a,b}	1,022 ± 217.79 ^{a,b}
Visceras (g)	553.97 ± 37.84 ^a	499.87 ± 69.28 ^{a,b}	468.95 ± 55.17 ^{a,b}	472.50 ± 1.01 ^b	431.70 ± 51.21 ^b

^{abc} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas ($p \leq 0.05$). ISM0 (control), ISM5, ISM10, ISM20 (Inducción de síndrome metabólico, 5, 10 y 20 mg kg⁻¹ de microencapsulados de canela)

En la Tabla 5 se presenta la evaluación realizada en la canal fría observando que el grupo control obtuvo el mayor peso de canal fría (1,318 ± 315.92) kg con diferencia significativa ($p \leq 0.05$), seguido del tratamiento ISM0 (1082 ± 284.87) kg, ISM5 (1076.50 ± 83.73) kg, ISM10 (1041.50 ± 154.23) kg y por último el grupo ISM20 (976 ± 211.38) kg. La grasa escapular se presentó un comportamiento de disminución conforme aumentaba la dosis de microencapsulados, es por eso que el tratamiento ISM20 obtuvo el menor valor (4.00 ± 3.35) g, seguido de ISM10 (4.27 ± 6.86) g,

ISM5 (4.65 ± 3.34) g y por último los grupos ISM0 (4.90 ± 3.91) g y control (6.05 ± 1.22) g con diferencia significativa ($p \leq 0.05$). La grasa renal fue mayor en el grupo control (28.96 ± 4.66) g con diferencia significativa ($p \leq 0.05$), seguida del ISM0 (18.02 ± 4.97) g, ISM5 (12.62 ± 18.58) g, ISM10 (10.50 ± 6.81) g y (10.55 ± 4.44) g. El peso de la cabeza fue mayor en el tratamiento control (138.50 ± 8.06) g, seguido de los grupos ISM0 y ISM10 (124 ± 14.69 y 127.33 ± 9.01) g y por último los grupos ISM5 y ISM20 (113.50 ± 7.55 y 108 ± 11.77) g. En cuanto a la porción anterior esta fue mayor en el grupo control (328 ± 85.74) g con diferencia significativa ($p \leq 0.05$), seguida de ISM10 (302 ± 79.90) g, ISM0 y ISM5 (261.50 ± 33.16 y 273.50 ± 23.91) g respectivamente y por último el grupo ISM20 (229.50 ± 27.63) g. El peso de la media fue mayor en el grupo control (149 ± 51.80) g con diferencia significativa ($p \leq 0.05$), seguido de ISM10 (130 ± 48.86) g, ISM5 (119 ± 21.57) g, ISM0 (111 ± 19.14) g y por último ISM20 (92 ± 15.31) g, el peso del lomo fue mayor en el grupo control (240.50 ± 64.23) g con diferencia significativa ($p \leq 0.05$), seguido de ISM10 (198.67 ± 53) g, ISM0 (174.50 ± 37.78) g, ISM5 (179 ± 12.49) g y ISM20 (149 ± 25.58) g. El peso de las patas fue mayor en el grupo control (448 ± 86.30) g con diferencia significativa ($p \leq 0.05$), ISM10 (378 ± 92.26) g, ISM0 y ISM5 (355 ± 57.88 y 368.50 ± 36.16) g respectivamente y por último ISM20 (316 ± 40.43) g. El peso total de grasa corporal fue mayor en el grupo con ISM0 (4.43 ± 5.16) g con diferencia significativa ($p \leq 0.05$), seguido del grupo control (3.30 ± 2.34) g y los tratamientos con microencapsulados de extracto acuoso de canela MCE5,10 y 20 (2.47 ± 4.03 , 1.77 ± 0.72 y 1.75 ± 0.82) g respectivamente. El peso de los huesos fue mayor en el grupo control (130.50 ± 14.08) g con diferencia significativa ($p \leq 0.05$), seguido del ISM5, ISM20 y ISM0 (108 ± 15.05 , 107.50 ± 16.52 y 106.50 ± 13.50) g respectivamente y por último ISM10 (108 ± 7.21) g. El peso total de carne fue mayor en el grupo control (312.50 ± 69.59) g con diferencia significativa ($p \leq 0.05$), seguido de ISM10 (239.33 ± 78.13) g, ISM0 (245.50 ± 48.20) g y por último ISM5 y ISM20 (255.50 ± 25.47 y 197 ± 83.94) g respectivamente. De manera general el tratamiento control obtuvo el mayor peso de la canal fría, grasa renal, peso de cabeza, anterior, media, lomo, piernas, hueso y carne, Mientras que el tratamiento ISM0 la mayor cantidad de grasa total. Por lo que los tratamientos con microencapsulados de

extracto acuoso de canela MCE 5, 10 y 20 presentaron los menores valores de peso de canal, grasa escapular, grasa renal, peso de cabeza, anterior, media, lomo, piernas, grasa, hueso y carne, demostrando que físicamente eran más pequeños corporalmente. Estudios anteriores han reportado que los compuestos bioactivos de la canela presentan efectos biológicos de disminución de grasa y composición corporal, como es el estudio de Abdel-Azeem y El-Kader (29) tras la suplementación de 150 y 250 mg / kg de canela y clavo, lo que podría explicar el por qué los animales con tratamiento de canela contenían menos grasa y peso corporal, a su vez la inducción del síndrome metabólico afecta en el aumento de como grasa y composición corporal, por lo que esto podría ser la causal de que los animales sin tratamiento con canela obtuvieran mayor grasa y composición corporal (22).

Tabla 5. Características de la canal fría de los conejos

Parámetro	Control	ISM0	ISM5	ISM10	ISM20
Peso canal (g)	1,318 ± 315.92 ^a	1,082 ± 284.87 ^{a,b}	1,076.50 ± 83.73 ^{a,b}	1,041.50 ± 154.23 ^{a,b}	976 ± 211.38 ^{a,b}
Grasa escapular (g)	6.05 ± 1.22 ^a	4.90 ± 3.91 ^{a,b}	4.65 ± 3.34 ^{b,c}	4.27 ± 3.86 ^{b,c}	4.00 ± 3.35 ^{b,c}
Grasa renal (g)	28.96 ± 4.66 ^a	18.02 ± 4.97 ^b	12.62 ± 18.58 ^{a,b}	10.50 ± 6.81 ^{b,c}	10.55 ± 4.44 ^{b,c}
Cabeza (g)	138.50 ± 8.06 ^a	124 ± 14.69 ^b	113.50 ± 7.55 ^c	127.33 ± 9.01 ^b	108 ± 11.77 ^c
Anterior (g)	328 ± 85.74 ^a	261.50 ± 33.16 ^c	273.50 ± 23.91 ^c	302 ± 79.90 ^b	229.50 ± 27.63 ^d
Media (g)	149 ± 51.80 ^a	111 ± 19.14 ^d	119 ± 21.57 ^c	130 ± 48.86 ^b	92 ± 15.31 ^e
Lomo (g)	240.50 ± 64.23 ^a	174.50 ± 37.78 ^{a,b}	179 ± 12.49 ^{a,b}	198.67 ± 53 ^{a,b}	149 ± 25.58 ^b
Piernas (g)	448 ± 86.30 ^a	355 ± 57.88 ^c	368.50 ± 36.16 ^c	378 ± 92.26 ^b	316 ± 40.43 ^{c,d}
Grasa (g)	3.30 ± 2.34 ^{a,b}	4.43 ± 5.16 ^a	2.47 ± 4.03 ^{a,b}	1.77 ± 0.72 ^{b,c}	1.75 ± 0.82 ^{b,c}
Hueso (g)	130.50 ± 14.08 ^a	106.50 ± 13.50 ^{a,b}	108.00 ± 15.05 ^{a,b}	108.00 ± 7.21 ^b	107.50 ± 6.52 ^b
Carne (g)	312.50 ± 69.59 ^a	245.50 ± 48.20 ^{a,b}	255.50 ± 25.47 ^{a,b}	239.33 ± 78.13 ^{a,b}	197 ± 83.94 ^{a,b}

abcde Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas ($p \leq 0.05$). ISM0 (control), ISM5, ISM10, ISM20 (Inducción de síndrome metabólico, 5, 10 y 20 mg kg⁻¹ de microencapsulados de canela)

La Tabla 6 muestra las características fisicoquímicas de la canal observando que a mayor adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela, aumenta el valor de pH, luminosidad, tendencia al color rojo / amarillo y disminuye la capacidad de retención de agua pérdida de agua después de la cocción. El pH en todos los tratamientos se mantuvo en valores mayores a 6, lo cual se podría deber a un período de estrés durante el sacrificio, que agoto las reservas de glucógeno limitando la acidificación postmortem causando que el pH muscular no descendiera

(35), esto puede llevar a la aparición de carne más oscura, con alta capacidad de retención de agua y de consistencia firme (36), lo cual coincide con lo encontrado en esta investigación, sin embargo, el ácido láctico acumulado en los músculos conserva la carne a valores de pH mayor a 5.5, prolongando su vida útil (35), lo cual podría ser benéfico en cuestión de consumo. En cuanto al color de la carne de conejo usualmente es de color rosado, sin embargo, en esta investigación se observó una tonalidad más roja, lo cual coincide con lo reportado por Jumayi et al. (17) cuya carne de conejo fue tratada con extractos acuosos de plantas, las cuales aumentaron su luminosidad (L^*), tendencia al color rojo a^* y amarillento b^* . La investigación realizada por Hussain et al. (37) afirman que agregar extractos de canela aumentan el color rojo de la carne sin afectar al resto de características sensoriales. De acuerdo con Dal Bosco et al. (38) los extractos naturales de especias generan efectos beneficiosos sobre rasgos de color de la carne, destacando su efectividad para mejorar la apariencia de la carne de conejo. En la industria cárnica se utilizan nitritos para proporcionar color rojo, sabor, actividad antioxidante y antimicrobiana, por lo que la canela podría servir como un sustituto de nitritos en los productos cárnicos, con lo cual se podrían reducir los riesgos para la salud, debido a que los nitritos reaccionan con las aminas y los aminoácidos dando lugar a la formación de N-nitrosaminas, que son agentes químicos con potencial cancerígeno y mutagénico (39).

La capacidad de retención del agua fue menor en los tratamientos con microencapsulados de extracto acuoso de canela, lo cual difiere a lo encontrado por Khan et al. (40) , quienes obtuvieron un aumento significativo en la capacidad de retención de agua de la carne de pechuga y muslo sus pollos alimentados con canela en polvo, esta diferencia se podría deber a que los antioxidantes contenidos en la canela pudieron incrementar la actividad semipermeable de las fibras musculares, propiciando la menor retención de agua dentro de las mismas, lo cual propicia una mayor dureza en la carne (41). En cuanto a la pérdida de agua después de la cocción se observó una ligera disminución en los tratamientos con microencapsulados de extracto acuoso de canela, lo cual coincide con Khan et al. (42) en la carne de pechuga y muslo en pollos alimentados con canela en polvo.

Por lo que la canela podría reducir la permeabilidad del vapor de agua dentro de las fibras musculares de la carne (38).

Tabla 6. Características de la carne de los conejos

Parámetro	Control	ISM0	ISM5	ISM10	ISM20
pH	6.35 ± 0.11 ^a	6.26 ± 0.21 ^b	6.28 ± 0.18 ^b	6.35 ± 0.26 ^a	6.38 ± 0.28 ^a
L*	53.42 ± 7.07 ^{a,b}	55.11 ± 2.73 ^{a,b}	52.46 ± 5.51 ^{a,b}	50.79 ± 3.7 ^{a,b}	56.23 ± 4.21 ^a
a*	0.04 ± 0.85 ^{b,c}	0.16 ± 0.99 ^c	1.94 ± 1.13 ^a	1.26 ± 2.12 ^a	1.02 ± 1.17 ^{a,b}
b*	7.88 ± 2.8 ^b	12.75 ± 2.38 ^a	8.12 ± 2.17 ^b	10.55 ± 3.37 ^a	11.24 ± 2.52 ^a
CRA	40.05 ± 6.87 ^a	42.16 ± 6.26 ^a	31.2 ± 5.76 ^a	28.25 ± 4.22 ^b	27.99 ± 6.03 ^b
PAC	75.65 ± 1.27 ^a	74.26 ± 2.48 ^a	76.54 ± 5.54 ^a	76.20 ± 1.04 ^a	72.85 ± 2.11 ^{a,b}

^{abc} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas ($p \leq 0.05$). ISM0 (control), ISM5, ISM10, ISM20 (Inducción de síndrome metabólico, 5, 10 y 20 mg kg⁻¹ de microencapsulados de canela). L*: luminosidad, a*: tendencia al color rojo, b*:tendencia al color amarillo, CRA: capacidad de retención de agua, PAC: pérdida de agua después de cocción.

En la tabla 7 se encuentra el análisis de perfil de textura en los lomos de conejo, encontrando que a mayor adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela la textura de los lomos presenta una mayor dureza y masticabilidad, por el contrario obtiene menor cohesividad, elasticidad y resiliencia, lo cual coincide por lo reportado por Shima Ghani (41), cuyos valores de dureza fueron más altos en las muestras con biopelícula con nanoemulsiones de aceite esencial de canela, esto se podría deber a que el pH mayor a 6 ocasiono una mayor acumulación de ácido láctico dentro de los músculos, lo que produce que la consistencia de la carne sea más firme (43), a su vez la cocción produce un impacto significativo en las propiedades nutricionales y características de sabor y textura de la carne (44). El método de cocción de la carne influye directamente en la dureza, ya que esta es un 32 % superior en carne hervida que asada (45), lo cual también pudo haber influenciado en la mayor dureza del producto cárnico obtenido en esta investigación. En cuanto a la mayor masticabilidad obtenida a mayor adición de microencapsulados de canela, esto se podría deber a los flavonoides contenidos en la canela, como afirman Cao et al. (46) en su estudio realizado en pollos de engorde adicionados con flavonoides obtenidos de hojas de bambú.

Tabla 79. Análisis de perfil de textura en lomos de conejo

Parámetro	Control	ISM0	ISM5	ISM10	ISM20
Dureza (N)	25.81 ± 16.05 ^{a,b}	25.60 ± 17.22 ^{a,b}	27.86 ± 18.67 ^{a,b}	30.21 ± 20.36 ^{a,b}	37.76 ± 21.64 ^a
Cohesividad	0.63 ± 0.06 ^{a,b}	0.64 ± 0.08 ^a	0.64 ± 0.06 ^a	0.63 ± 0.04 ^{a,b}	0.61 ± 0.06 ^b
Elasticidad	0.99 ± 0.00 ^b	0.99 ± 0.00 ^b	0.99 ± 0.00 ^b	0.99 ± 0.00 ^b	1.00 ± 0.00 ^a
Masticabilidad	16.54 ± 11.48 ^{c,d}	16.60 ± 11.60 ^{c,d}	17.72 ± 11.65 ^c	19.36 ± 13.45 ^b	22.66 ± 12.05 ^a
Resiliencia	0.25 ± 0.05 ^a	0.26 ± 0.03 ^a	0.25 ± 0.04 ^a	0.26 ± 0.04 ^a	0.25 ± 0.04 ^a

^{abcde} Superíndice diferente indica diferencias significativas entre columnas ($p \leq 0.05$). ISM0 (control), ISM5, ISM10, ISM20 (Inducción de síndrome metabólico, 5, 10 y 20 mg kg⁻¹ de microencapsulados de canela)

4.6. Conclusión

La adición de microencapsulados de extracto acuoso de canela propicia la ganancia de peso de los animales, disminuyendo los valores de conversión alimentaria, propiciando cambios en la caracterización fisicoquímica de la carne, otorgando un color más rojo. Por lo que se podría recomendar su utilización en la industria cárnica para proporcionar coloración roja a la carne.

4.7. Referencias

1. Arias-Mutis OJ, Marrachelli VG, Ruiz-Saurí A, Alberola A, Morales JM, Such-Miquel L, Monleón D, Chorro FJ, Tal L and Zarzoso M. Development and characterization of an experimental model of diet-induced metabolic syndrome in rabbit. *PLoS One*. 2017 May 1;12(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178315>.
2. Fahed G, Aoun L, Zerdan MB, Allam S, Zerdan MB, Bouferraa Y and Assi H. Metabolic Syndrome: Updates on Pathophysiology and Management in 2021. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(2):786. <https://doi.org/10.3390/ijms23020786>.
3. Pacheco-Armenta MC and Jáquez-Torres JÁ. Prevalencia de síndrome metabólico en la consulta externa. *Rev Sanid Milit*. 2017 Jun 27;71(3):264–75.
4. Tabatabai SM, Dashti S, Doosti F and Hosseinzadeh H. Phytotherapy of opioid dependence and withdrawal syndrome: A review. *Phytotherapy Research*. 2014;28(6):811–30. <https://doi.org/10.1002/ptr.5073>.
5. Assefa AD, Keum YS and Saini RK. A comprehensive study of polyphenols contents and antioxidant potential of 39 widely used spices and food condiments. *Journal of*

- Food Measurement and Characterization*. 2018;12(3):1548–55. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9770-z>.
6. Tulini FL, Souza VB, Echalar-Barrientos MA, Thomazini M, Pallone EMJA and Favaro-Trindade CS. Development of solid lipid microparticles loaded with a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*): Potential for increasing antioxidant content in functional foods for diabetic population. *Food Research International*. 2016; 85:10–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.006>.
 7. Kumar S, Kumari R and Mishra S. Pharmacological properties and their medicinal uses of Cinnamomum: a review. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2019.1735–61. <https://doi.org/10.1111/jphp.13173>.
 8. Abou Khalil R, Rayane BA, Doumit S, Bitar J, Nasser R and Khoury E. Cinnamaldehyde and cinnamic acid from cinnamon bark (*Cinnamomum verum*) increase the binding of glucose to human albumin. *Biochim Clin*. 2018;42(2):112–8. https://doi.org/10.19186/BC_2018.023.
 9. Zare R, Nadjarzadeh A, Zarshenas MM, Shams M and Heydari M. Efficacy of cinnamon in patients with type II diabetes mellitus: A randomized controlled clinical trial. *Clinical Nutrition*. 2019; 38(2):549–56. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.03.003>.
 10. Talaei B and Bahreini S. The effects of Cinnamon on Diabetes Mellitus: A narrative review. *International Electronic Journal of Medicine*. 2019; 8:37–46. <https://doi.org/10.31661/iejm871>.
 11. Escalona Mugica JR, Barajas Martínez A, Alfaro Becerril OA, Estrada Rojo F, Castellanos MÁ and Ubaldo-Reyes LM. Modelos animales en el estudio del síndrome metabólico. *TIP Revista especializada en ciencias químico-biológicas*. 2021;24. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.373>
 12. Muñoz Lizarzaburo JG. Expresión inversa de la conversión alimenticia con pollos de carne. 2019; Available from: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4928>
 13. Hernández P and Zotte A dalle. Influence of diet on Rabbit meat quality. *Nutrition of the rabbit*. 2020;172–92. <https://doi.org/10.1079/9781845936693.0163>.
 14. Valencia-Garcia CG, Arbez-Abnal TA, Portillo-Salgado R, García-Herrera RA, Cigarroa-Vazquez FA, Herrera-Camacho J, Vargas-Bello P and Chay CAJ. Assessment of carcass tissue composition in growing rabbits using real-time

- ultrasonography. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*. 2022;25(2):2022. <https://doi.org/10.56369/tsaes.3982>.
15. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Todo sobre la producción de carne de conejo | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx [Internet]. 2016 [cited 2023 Feb 2]. Available from: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/conoce-todo-sobre-la-produccion-de-carne-de-conejo>
 16. Muñoz Chela AD. Promotores naturales de crecimiento en la producción de conejos. 2021 Aug 13 [cited 2023 Feb 3]; Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15618>
 17. Jumayi A, Allam AY, El-Beltagy AE, Hassan AE, Mahmoud AF and Halim KAA. Bioactive Compound, Antioxidant, and Radical Scavenging Activity of Some Plant Aqueous Extracts for Enhancing Shelf Life of Cold-Stored Rabbit Meat. *Antioxidants*. 2022; 11(6):1056. <https://doi.org/10.3390/antiox11061056>.
 18. Mishra S, Goel B and Danish Kadir S. Medicinal and Nutritional Perspective of Cinnamon: A Mini-review. 2020; *EJMP* (3):10–6. <https://doi.org/10.9734/ejmp/2020/v3i330218>.
 19. Ozkan G, Franco P, de Marco I, Xiao J and Capanoglu E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chem*. 2019; 272:494–506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>.
 20. Castro-Alatorre NC, Gallardo-Velázquez T, Boyano-Orozco LC, Téllez-Medina DI, Meza-Márquez OG and Osorio-Revilla G. Extraction and Microencapsulation of Bioactive Compounds from Muicle (*Justicia spicigera*) and Their Use in the Formulation of Functional Foods. *Foods*. 2021; 10(8):1747. <https://doi.org/10.3390/alimentos10081747>.
 21. Aguiar J, Estevinho BN and Santos L. Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. *Trends Food Sci Technol*. 2016; 58:21–39. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.012>.
 22. Lozano WM, Arias-Mutis OJ, Calvo CJ, Chorro FJ and Zarzoso M. Diet-Induced Rabbit Models for the Study of Metabolic Syndrome. *Animals*. 2019; 9(7):463. <https://doi.org/10.3390/ani9070463>.

23. Garcia C, Rodriguez O and Flores Y. Leucaena (*Leucocephala SP.*) y Matarratón (*Gliricidia sepium*) como alimento alternativo en la producción de conejos. *Revista IMHOTEP*. 2021; 2.
24. DOI. NOM-033-SAG/ZOO-2014 [Internet]. Diario Oficial de la Federación. 2014 [cited 2022 Jan 12]. Available from: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405210&fecha=26/08/2015
25. Dalle Zotte A, Celia C, Cullere M, Szendrő Z, Kovács M and Gerencsér Z. Effect of an *in-vivo* and/or in-meat application of a liquorice (*Glycyrrhiza glabra L.*) extract on fattening rabbits live performance, carcass traits and meat quality. *Anim Feed Sci Technol*. 2020; 260:114333. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114333>.
26. Krunt O, Zita L, Kraus A, Bureš D, Needham T and Volek Z. The effect of housing system on rabbit growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of different muscles. *Meat Sci*. 2022; 193:108953. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108953>.
27. Rao JW, Meng FB, Li YC, Chen WJ, Liu DY and Zhang JM. Effect of cooking methods on the edible, nutritive qualities and volatile flavor compounds of rabbit meat. *J Sci Food Agric*. 2022; 102(10):4218–28. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11773>.
28. Mancini S and Paci G. Probiotics in Rabbit Farming: Growth Performance, Health Status, and Meat Quality. *Animals*. 2021; 11(12):3388. <https://doi.org/10.3390/ani11123388>.
29. Abdel-Azeem Sayed and Abdel-Azeem I. Growth performance, carcass attributes, blood hematology and biochemical constituents of growing rabbits supplemented with cinnamon and clove powder. *Anim Sci Pap Rep*. 2022; 40(3):1–20.
30. Xing YW, Wu QH, Jiang Y, Huang MX and Lei GT. Procyanidin B2 protects against diet-induced obesity and non-alcoholic fatty liver disease via the modulation of the gut microbiota in rabbits. *World J Gastroenterol*. 2019; 25(8):955. <https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i8.955>.
31. Park SJ, Yu Y, Zides CG and Beyak MJ. Mechanisms of reduced leptin-mediated satiety signaling during obesity. *International Journal of Obesity*. 2022; 46(6):1212–21. <https://doi.org/10.1038/s41366-022-01079-2>.
32. Chen D, Sun S, Chen Y, Wang J, Sang L, Gao C and Xie Ping X. Effects of feeding methods on growth and slaughter performance, blood biochemical indices, and intestinal morphology in Minxinan black rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *Trop Anim Health Prod*. 2023; 55(1):1–7. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03467-w>.

33. John A and Jo A. Dietary Supplementation of *Rauvolfia Vomitoria* Root Extract as A Phytogenic Feed Additive in Growing Rabbit Diets: Growth Performance and Caecal Microbial Population. *Con Dai and Vet Sci.* 2021; 4:409–16. <https://doi.org/10.32474/CDVS.2021.04.000184>.
34. Hussein AMA and Abd El-Fattah MG. Effect of sex and feed frequency on growing California rabbits, carcass characteristics and meat quality. *Egyptian Poultry Science Journal.* 2020; 40(2):405–19. <https://doi.org/10.21608/EPSJ.2020.95721>.
35. Cullere M, Dalle Zotte A, Tasoniero G, Giaccone V, Szendrő Z and Szín M. Effect of diet and packaging system on the microbial status, pH, color and sensory traits of rabbit meat evaluated during chilled storage. *Meat Sci.* 2018; 141:36–43. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.014>.
36. Koziol K, Maj D and Bieniek J. Changes in the color and pH of rabbit meat in the aging process) Changes in the color and pH of rabbit meat in the aging process. *Med Weter.* 2015;71(2):104–8.
37. Hussain Z, Li X, Zhang D, Hou C, Ijaz M, Bai Y. Xiao X and Zheng X. Influence of adding cinnamon bark oil on meat quality of ground lamb during storage at 4 °C. *Meat Sci.* 2021; 171:108269. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108269>.
38. Dal Bosco A, Mugnai C, Mattioli S and Zotte AD. Effect of different dietary aromatic essences on meat quality of rabbit-Progetto Fondazione. *CRPG-Project coordinator View project PPILOW.* 2012.
39. Shakil MH, Trisha AT, Rahman M, Talukdar S, Kobun R, Huda N and Zzaman W. Nitrites in Cured Meats, Health Risk Issues, Alternatives to Nitrites: A Review. *Foods.* 2022;11(21):3355. <https://doi.org/10.3390/alimentos11213355>.
40. Khan K, Ahmad N, Tahir M and Chand N. Alleviation of negative effect of heat stress through supplementations of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) and turmeric (*Curcuma longa* L) powders in diets of broiler chickens. *Anim Biotechnología.* 2022. <https://doi.org/10.1080/1049539820222156351>.
41. Ghani S, Barzegar H, Noshad M and Hojjati M. The preparation, characterization and *in vitro* application evaluation of soluble soybean polysaccharide films incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsions. *Int J Biol Macromol.* 2018; 112:197–202. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.145>.
42. Wang W, Zhao D, Xiang Q, Li K, Wang B and Bai Y. Effect of cinnamon essential oil nanoemulsions on microbiological safety and quality properties of chicken breast

- fillets during refrigerated storage. *LWT*. 2021; 152:112376. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112376>.
43. Rao JW, Meng FB, Li YC, Chen WJ, Liu DY and Zhang JM. Effect of cooking methods on the edible, nutritive qualities and volatile flavor compounds of rabbit meat. *J Sci Food Agric*. 2022; 102(10):4218–28. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11773>.
44. Koziół K, Pałka S, Migdał Ł, Derewicka O, Kmiecik M, Maj D and Bieniek J. Analysis of the texture of rabbit meat subject edto different means of heat treatment. *Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego*. 2016; 12(1):25–32.
45. Cao G, Wang H, Yu Y, Tao F, Yang H and Yang S, Qian Y, Huan-Li and Yang C. Dietary bamboo leaf flavonoids improve quality and microstructure of broiler meat by changing untargeted metabolome. *J Anim Sci Biotechnol*. 2023; 14(1):52. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00840-5>.

7.CONCLUSIONES

Esta investigación demuestra que la elaboración de un extracto acuoso de canela mediante técnica de decocción extrae la mayor actividad-capacidad antioxidante y presencia de compuestos químicos. La microencapsulación mediante secador por aspersión con maltodextrina y goma arábica al 5 % conservó la mayor cantidad antioxidante y sus características fisicoquímicas enfatizan su uso como ingrediente de antioxidante natural. La caracterización fisicoquímica de los MCE demuestra que el mayor contenido y actividad antioxidante del extracto acuoso de canela se conservó dentro de la cubierta polimérica de 5 % M y 5 % G.A. La adición de MCE en el yogur modificó la textura y color, obteniendo un producto inocuo, con porcentaje de proteínas y grasa adecuado, antioxidantes bioaccesibles y aceptación sensorial por consumidores. La disminución de Colesterol Total, Triglicéridos, Índice aterogénico, peso, circunferencia de cintura, estrés oxidativo y aumento de HDL demuestran su uso potencial en la disminución de comorbilidades de síndrome metabólico.



Figura 1. Constancia 1er foro de trabajos de investigación en Ciencias de los alimentos y salud humana



Figura 2. Constancia XIV Congreso Internacional sobre Inocuidad, calidad y funcionalidad de los alimentos en la industria y servicios de la alimentación



La Asociación Nacional de Cunicultores de México A.C.

Otorga la presente CONSTANCIA a:

MARÍA FERNANDA RÍOS PÉREZ, AURORA QUINTERO LIRA, JAVIER PILONI-MARTINI, SERGIO SOTO SIMENTAL, MARICELA AYALA MARTÍNEZ, RAQUEL CARIÑO CORTÉS, ABIGAIL REYES MUNGUÍA

CONFERENCIA EVALUACIÓN PRODUCTIVA DE CONEJO CON INDUCCIÓN DE SÍNDROME METABÓLICO Y TRATAMIENTO CON CANELA (CINNAMON ZEYLANICUM)

Por su destacada participación como **PONENTE** en el **XVIII ENCUENTRO NACIONAL DE CUNICULTURA** Efectuado en Irapuato, Gto. el **25 y 26 de marzo de 2023**

Dra. Marcela Ayala Martínez
Coordinadora general del

Lic. Armando Ignacio Pastrana Dueñas
Presidente ANCUM

Laura Alejandra Gomar Ruiz
Secretaria ANCUM

XVIII Encuentro Nacional de Cunicultura



Evento certificado por
CONCERT



Figura 3. Constancia XVIII Encuentro Nacional de Cunicultura

Otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

a

M.C. María Fernanda Ríos Pérez

Por su presentación con el trabajo (MODALIDAD ORAL):

Adición de cinamaldehído y proantocianidinas microencapsulados en una matriz láctea y su efecto en síndrome metabólico.

En el 3° Foro de Trabajos de Investigación del Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana
Mineral de la Reforma, Hgo., a 19 de mayo de 2023.

Atentamente

"Amor, Orden y Progreso"


 Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval
 Director del ICBI


 Dra. Rebeca M. E. Guzmán Saldaña
 Directora del ICSCA


 Dr. Armando Peláez Acero
 Director del ICAP


 Número de control: ICBI-AAQ/R038/2023

Figura 4. Constancia 3er Foro de trabajos de investigación en Ciencias de los alimentos y salud humana

La que suscribe, Coordinadora del Programa de Maestría en Ciencias Bioquímicas de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca – Universidad Autónoma de San Luis Potosí

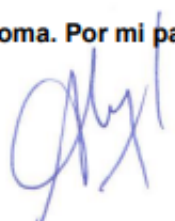
HACE CONSTAR

Que la Mtra. María Fernanda Ríos Pérez del Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana concluyo íntegramente sus actividades de la estancia de investigación establecidas a partir del 10 de enero hasta el 11 de febrero del año en curso en el Laboratorio que se encuentra a mi cargo, bajo el objetivo de la realización de extracto de canela con maltodextrina y goma guar, así como su caracterización de las propiedades fitoquímicas de los microencapsulados. Así mismo manifiesto y hago constar sus actividades

Actividades	Fecha
Elaboración y concentración de extracto en columna de amberlita	10 al 14 de enero
Pruebas de microencapsulación con maltodextrina y goma arábica	17 al 25 de enero
Microencapsulación del extracto concentrado de 4 kilos de canela en vara	26 de enero al 2 de febrero
Conformación de resultados	3 al 10 de febrero
Presentación de informe	11 de febrero

A petición de la interesada y para los usos legales que a la misma le convenga, se extiende la presente en ciudad valles, San Luis Potosí, a los veinte días de junio del dos mil veintidós.

"Siempre Autónoma. Por mi patria educare"



Dra. Abigail Reyes Munguía

Coordinadora de la Maestría en ciencias bioquímicas de la FEPZH



Romualdo del Campo 501
Fracc. Rafael Curiel
C.P. 79060
Cd. Valles, S.L.P.
Tel. (481) 381 2348,
381 2349, 382 3644 y
382 8210

"Rumbo al Centenario de la Autonomía Universitaria"

Figura 5. Constancia 1era Estancia Nacional en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí

La que suscribe, Coordinadora del Programa de Maestría en Ciencias Bioquímicas de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca – Universidad Autónoma de San Luis Potosí

HACE CONSTAR

Que la Mtra. María Fernanda Ríos Pérez del Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana concluyo íntegramente sus actividades de la estancia de investigación establecidas a partir del 28 de febrero hasta el 31 de marzo del año en curso en el Laboratorio que se encuentra a mi cargo, bajo el objetivo de la realización de extracto de canela con maltodextrina y goma guar, así como su caracterización de las propiedades fitoquímicas de los microencapsulados. Así mismo manifiesto y hago constar sus actividades

Actividades	Fecha
Determinación de humedad, aw, solubilidad, color, Brix,	28 de febrero al 4 de marzo
Caracterización morfológica de los microencapsulados a través de microscopía electrónica de barrido (MEB)	7 al 11 de marzo
Bioaccesibilidad intestinal de los microencapsulados en el yoghurt (in vitro)	14 al 18 de marzo
Caracterización del extracto y microencapsulados por HPLC	21 al 24 de marzo
Conformación de resultados	25 al 28 de marzo
Presentación de informe	29 al 31 de marzo

A petición de la interesada y para los usos legales que a la misma le convenga, se extiende la presente en ciudad valles, San Luis Potosí, a los veinte días de junio del dos mil veintidós.

Figura 6. Constancia 2da Estancia Nacional en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí