UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE GELIFICACIÓN IÓNICA DE POLIFENOLES EXTRAIDOS DE LA CÁSCARA DE TUNA ROJA (*opuntia ficus-indica*)

TESIS

Presentado por:

Bach. Angiee Gabriela Quispe Valdivia

Asesor:

Dr. Nils Leander Huamán Castilla

Para Optar El Título Profesional De:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

MOQUEGUA – PERÚ

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Folio N° 30

ACTA DE SUSTENTACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA — UNAM — FEDATARIO

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación de la modalidad de titulación del bachiller:
RESOLUCION DE FACULTAD N° 202-2023-FACIA-UNAM

Fecha: 23/11/2023

III. Documento de aprobación para la sustentación:
RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD N° 136-2025-CF-FAIN-UNAM

Fecha: 12 S

IV. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS,

TITULADO: "MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE GELIFICACIÓN IÓNICA DE POLIFENOLES EXTRAÍDOS DE LA CÁSCARA DE TUNA ROJA (Opuntia ficus-indica)"

Bachiller: ANGIEE GABRIELA QUISPE VALDIVIA

Asesor Principal: Dr. NILS LEANDER HUAMAN CASTILLA

Co-Asesor: .....

V. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: CATORCE (14) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

Siendo las 19:10 horas, del 23 de OCTUBRE del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente	Primer Miembro	Segundo Miembro
Dr. César Vega Almeyda	MSc. Karina Erika Eduardo Palomino	Ing. Raquel Alison Choquehuanca Pineda
(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)

Asesor Principal	Miembro Accesitario	Co-Asesor
Nils Huaman Castilla		
(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)	(Nombres y Apellidos)
	Bachiller	
	Angiee Gabriela Quispe Valdivia	
	(Nombres y Apellidos)	

DEDICATORIA

A mi familia, a mis padres Maricela y Marino por su apoyo incondicional, consejos y comprensión. Por enseñarme a realizar mis proyectos con perseverancia, a lo largo del tiempo siempre he podido observar que la familia ha sido la base de mi formación profesional y dieron su apoyo para lograr todo, con un solo único objetivo que es llegar a la meta.

Con cariño y un eterno agradecimiento esta investigación se las dedico a ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios como base de mi existencia, por la sabiduría, fuerza y paciencia necesarias para finalizar la presente investigación y superar todos los retos que se presentaron en el transcurso de esta, cumpliendo con todos los objetivos planteados inicialmente.

A mi asesor de tesis, el Dr. Nils Leander Huamán Castilla quien mostró su gran disposición, apoyo y enseñanza continua en la elaboración de esta tesis y siempre estuvo atento a todas mis consultas.

Agradezco especialmente al proyecto “Estudio del impacto del uso de tecnologías sustentables para la recuperación de compuestos bioactivos de la tuna roja, con potenciales aplicaciones en el tratamiento de enfermedades coronarias”, por su gran apoyo que hizo posible la realización de esta investigación.

Y a todas aquellas personas y familiares que con sus sugerencias o críticas ayudaron a delinear mejor esta investigación.

ABREVIATURAS

EAU: Extracción asistida por ultrasonido

ORAC: Capacidad de absorción de radicales de oxígeno

DPPH: Compuesto químico orgánico 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo.

EAG: Equivalente de ácido gálico.

gss: Gramo de sólido seco

ET: Equivalente a trolox

mg: Miligramo

µm: Micrómetro

µg: Microgramo

p/v: Peso/volumen

CPT: Contenido de polifenoles totales

°C: Grados centígrados

rpm: Revoluciones por minuto

MIDAGRI: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

AOAC: Asociación de Químicos Analíticos Oficiales

SEM: Microscopia electrónica de barrido

RESUMEN

La cáscara de tuna es un subproducto agroindustrial que a menudo es desechado, generando problemas de eliminación y posibles problemas ambientales. Sin embargo, se ha comprobado que estas poseen compuestos bioactivos como los polifenoles que ayudan a tratar diversas enfermedades. Dado que algunos compuestos polifenólicos se degradan ante factores externos, es necesario protegerlos mediante técnicas como la encapsulación, lo cual ayudará a superar los inconvenientes de su inestabilidad, atenuar sabores desagradables, así como también mejorar su biodisponibilidad. Por ello, este trabajo evaluó las concentraciones de agente encapsulante (alginato de sodio y pectina de bajo metoxilo) a tres diferentes concentraciones (1,2 y 3%) y (3,4 y 5%) en un proceso de gelificación iónica sobre el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante, perfil de polifenoles, tamaño y forma de los encapsulados en extractos de cáscara de tuna roja. Para el alginato de sodio la mejor condición fue establecida al 1% (p/v) logrando un contenido de polifenoles de 4,25 mg EAG /gss; ORAC 81,11 µmol ET/gss y eficiencia de encapsulación 53,40%. Y para la pectina fue a la concentración del 3% (p/v) con 3,41 mg EAG /gss en polifenoles totales; 64,91 µmol ET/gss en ORAC y 42,86% en eficiencia. En cuanto a los polifenoles específicos el de mayor predominancia fue la epicatequina en el alginato de sodio con un contenido de 12,48 µg/gss y rutina 2,69 µg/gss en la pectina. Respecto a la forma de los encapsulados todas las muestras presentaron una forma esférica en estado húmedo a excepción del alginato de sodio al 3% y en estado seco el alginato al 2% y pectina al 4 y 5% fueron las muestras con mejor apariencia y una forma más redonda. Por otro lado, el tamaño de los encapsulados se vio influenciado por la concentración, a una mayor concentración de agente encapsulante mayor será el tamaño de las cápsulas. Finalmente, es necesario realizar algunos ajustes en la ejecución de esta técnica para reducir las pérdidas de polifenoles y el proceso sea viable para el uso de las cápsulas en alimentos.

Palabras clave: polifenoles, capacidad antioxidante, tuna, gelificación iónica

ABSTRACT

Prickly pear shell is an agro-industrial byproduct that is often discarded, generating disposal and potential environmental problems. However, it has been proven that these shells contain bioactive compounds such as polyphenols that help treat various diseases. Since some polyphenolic compounds degrade under external factors, it is necessary to protect them through techniques such as encapsulation, which will help overcome the drawbacks of their instability, attenuate unpleasant flavors, and improve their bioavailability. Therefore, this study evaluated the concentrations of encapsulating agent (sodium alginate and low-methoxyl pectin) at three different concentrations (1, 2, and 3%) and (3, 4, and 5%) in an ionic gelation process on the total polyphenol content, antioxidant capacity, polyphenol profile, and size and shape of the components encapsulated in extracts of red cactus pear. For sodium alginate, the best condition was established at 1% (w/v), achieving a polyphenol content of 4.25 mg EAG/gss; ORAC 81.11 µmol TE/gss and encapsulation efficiency 53.40%. And for pectin, it was at a concentration of 3% (w/v) with 3.41 mg EAG/gss in total polyphenols: 64.91 µmol TE/gss in ORAC and 42.86% in efficiency. Regarding specific polyphenols, the most predominant was epicatechin in sodium alginate with a content of 12.48 µg/gss and rutin 2.69 µg/gss in pectin. Regarding the shape of the encapsulates, all samples presented a spherical shape when wet, except for 3% sodium alginate. When dry, 2% alginate and 4 and 5% pectin were the samples with the best appearance and a rounder shape. On the other hand, the size of the encapsulates was influenced by the concentration, the higher the concentration of the encapsulating agent, the larger the capsules. Finally, some adjustments are necessary in the execution of this technique to reduce polyphenol losses and make the process viable for use in food.

Keywords: *polyphenols, antioxidant capacity, tuna, ionic gelation*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN **11**
CAPÍTULO I **13**
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **13**
1.1. Descripción y formulación del problema **13**
1.2. Objetivos **14**
1.2.1 Objetivo general **14**
1.2.2. Objetivos específicos **14**
1.3. Justificación e importancia **15**
1.4. Hipótesis **16**
1.4.1. Hipótesis general **16**
1.4.2. Hipótesis específicas **16**
1.5. Variables **16**
CAPÍTULO II **18**
2. MARCO TEÓRICO **18**
2.1. Antecedentes **18**
2.2. Bases teóricas **21**
2.2.1. Tuna **21**
2.2.2. Compuestos bioactivos de la tuna **23**
2.2.3. Extracción por ultrasonido (EAU) **29**
2.2.4. Microencapsulación **30**
2.2.5. Agentes encapsulantes **34**
2.3. Definición de términos **37**
CAPÍTULO III **39**
3. METODOLOGÍA **39**
3.1. Tipo y nivel de investigación **39**
3.2. Ámbito temporal y espacial **39**
3.3. Muestra **39**
3.4. Instrumentos **39**
3.4.1. Materiales, equipos, instrumentos y reactivos **39**
3.5. Procedimientos **42**
3.5.1. Metodología **44**
A. ACONDICIONAMIENTO **44**
B. PROCESO DE EXTRACCIÓN **45**
B.1. Extracción por ultrasonido **45**
C. CARACTERIZACIÓN DE EXTRACTOS **45**

C.1. Determinación del contenido de polifenoles 45
C.2. Determinación de la capacidad antioxidante 46
C.2.1. Determinación de la capacidad antioxidante por DPPH 46
C.2.2. Determinación de la capacidad antioxidante por ORAC 46
C.3. Determinación del perfil de polifenoles 47
D. MICROENCAPSULACIÓN 47
D.1. Análisis del encapsulado 48
D.1.1. Tamaño y morfología de partícula 48
D.1.2. Caracterización de cápsulas 48
D.1.3. Eficiencia de encapsulación (EE) de polifenoles totales 49
3.6. Análisis de datos 49
CAPÍTULO IV 50
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES 50
4.1. Análisis fisicoquímicos 50
4.2. Análisis químicos de los extractos obtenidos a partir de cáscara de tuna 50
4.3. Perfil de polifenoles 51
4.4. Microencapsulación 52
4.4.1. Análisis del encapsulado 52
A. Morfología y tamaño de partícula 52
B. Caracterización de microcápsulas 61
B.1. Polifenoles totales 61
B.2. Capacidad antioxidante (ORAC) 63
B.3. Perfil de polifenoles 64
B.3.1. Ácidos fenólicos 65
B.3.2. Flavanoles 65
B.3.3. Flavonoles 65
C. Eficiencia de encapsulación (EE) de polifenoles totales 66
CAPÍTULO V 68
5.CONCLUSIONES 68
CAPÍTULO VI 69
6. RECOMENDACIONES 69
CAPÍTULO VII 70
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70
ANEXOS 86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables independientes..... 16
Tabla 2. Variables dependientes 17
Tabla 3. Taxonomía de *opuntia ficus-indica* 21
Tabla 4. Producción de tuna en Moquegua y San Cristóbal 22
Tabla 5. Composición química de la tuna roja 23
Tabla 6. Composición química de la cáscara de tuna..... 23
Tabla 7. Contenido fenólico total en cáscara, pulpa y semilla de tuna 24
Tabla 8. Perfil de polifenoles de cáscara de tuna roja..... 27
Tabla 9. Análisis fisicoquímicos en cáscara de tuna roja 50
Tabla 10. Contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante en extractos de cáscara de tuna roja 51
Tabla 11. Perfil de polifenoles en extractos de cáscara de tuna roja 52
Tabla 12. Tamaño de microcápsulas de alginato y pectina 60
Tabla 13. Perfil de polifenoles en microencapsulados a partir de extractos de cáscara de tuna roja..... 64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación esquemática de polifenoles 26
Figura 2: Clasificación de micropartículas 31
Figura 3: Diagrama representativo de gelificación iónica externa (A) e interna (B) 32
Figura 4: Proceso de gelificación iónica 33
Figura 5: Estructura química del alginato de sodio 34
Figura 6: Modelo de “caja de huevos” de gelificación del alginato con el ión calcio 35
Figura 7: Estructura química de la pectina 36
Figura 8: Modelo de “caja de huevos” que ilustra el mecanismo de gelificación de la pectina de bajo metoxilo 37
Figura 9: Diagrama general del proyecto 43
Figura 10: Micrografías SEM de microcápsulas de alginato 1% magnificación 200× (A y C) y 2500x (B y D) 54
Figura 11: Micrografías SEM de microcápsulas de alginato 2% magnificación 200× (A y C) y 2500x (B y D) 55
Figura 12: Micrografías SEM de microcápsulas de alginato 3% magnificación 80× (A y C) y 2500x (B y D) 56
Figura 13: Micrografías SEM de microcápsulas de pectina 3% magnificación 200× (A y C) y 2500x (B y D) 57
Figura 14: Micrografías SEM de microcápsulas de pectina 4% magnificación 200× (A y C) y 2500x (B y D) 58
Figura 15: Micrografías SEM de microcápsulas de pectina 5% magnificación 200× (A y C) y 2500x (B y D) 59
Figura 16: Contenido de polifenoles totales en microencapsulados 62
Figura 17: Capacidad antioxidante ORAC en microencapsulados 63
Figura 18: Eficiencia de encapsulación (%) 66

INTRODUCCIÓN

Los subproductos de frutas y hortalizas generados por el procesamiento industrial y su consumo generan problemas ambientales, debido a su acumulación y generación de gases de efecto invernadero (Hussain et al., 2022). Estos subproductos incluyen cáscaras, semillas, hojas, pulpa no deseada, los cuales contienen una variedad de compuestos bioactivos, fenólicos, antioxidantes y entre otros nutrientes que favorecen la salud (Aqilah et al., 2023; Nirmal et al., 2023). Los compuestos fenólicos poseen propiedades antiinflamatorias debido a su capacidad para inhibir las enzimas relacionadas con el desarrollo de enfermedades crónicas tales como la hipertensión, los problemas metabólicos, las infecciones incendiarias y las enfermedades neurodegenerativas (Rahman et al.,2021).

En particular, la cáscara de tuna es un subproducto agroindustrial que ha despertado gran interés por la industria alimentaria por ser una buena fuente de fitoquímicos como fenólicos, vitamina C, vitamina E, polisacáridos y betalaínas (Amaya et al., 2019; Barba et al., 2017). En general, este residuo presenta concentraciones importantes de familias específicas de polifenoles tales como ácidos fenólicos, flavanoles, flavonoles; dentro de los cuales destacan la quercetina, isorhamnetina y kaempferol (Iftikhar et al., 2023).

Para la extracción de compuestos bioactivos se requiere de la selección de un proceso de extracción adecuado, el cual debe ser amigable con el medio ambiente, con tiempos de extracción cortos, mejore el rendimiento y permita la obtención de un extracto inocuo (Jha & Sit, 2022). Si bien existen diferentes métodos de extracción alternativos, la extracción asistida por ultrasonido ha demostrado tener altos rendimientos y tiempos relativamente cortos (<30min). Esta técnica utiliza las fuerzas físicas de la cavitación acústica que ayudan a la ruptura de la matriz vegetal y liberación de los polifenoles (Kumar et al., 2020).

Sin embargo, los compuestos bioactivos que están presentes en los extractos vegetales son susceptibles a degradación a factores como la temperatura, cambios de pH, presencia o ausencia de luz y oxígeno; los cuales limitan su aplicación directa de en la elaboración de productos nutraceúticos (Laureantia et al.,2023).

Diferentes técnicas de encapsulación han sido desarrolladas con la finalidad de conservar los principios bioactivos de los polifenoles. Esto permite incrementar su periodo de vida útil, asegurando su integridad biológica e incrementando su eficiencia y estabilidad en condiciones de procesamiento y almacenamiento (Zabot et al., 2022;

Metha et al., 2022). Existen varias técnicas de encapsulación y agentes encapsulantes que se han utilizado para encapsular polifenoles. Sin embargo, la gelificación iónica es uno de los métodos más empleados debido a su fácil uso y escalamiento industrial. Este método usa el alginato de sodio como encapsulante debido a su biocompatibilidad y baja toxicidad (Castro et al., 2019; Rodríguez et al., 2017). El producto terminado se conoce como perlas de hidrogel (cápsulas), los cuales son producto de un proceso de polimerización o unión iónica, (Kurozawa & Hubinger, 2017). No obstante, también se han estudiado otros tipos de encapsulantes como las pectinas de baja metoxilación, quitina, quitosano, los cuales son combinados con iones Ca +2 (Kurozawa & Hubinger ,2017). Por ello, desarrollar estrategias a bajo costo que permitan extraer polifenoles y aseguren su estabilidad en el tiempo son objetivos que aún son tema de discusión por parte de la industria alimentaria.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema

En Perú, la producción de tuna en Moquegua ha alcanzado un área cosechada de 809 ha (MIDAGRI, 2023), mayormente este fruto es cultivado en las zonas altoandinas como el distrito de San Cristóbal de Calacoa, cuyo consumo genera residuos de cáscaras que no son aprovechados y podrían conllevar a problemas de gestión ambiental (Chaparro et al., 2019).

Los residuos de cáscara de tuna han despertado interés de la industria farmacéutica debido a su capacidad antioxidante y antiinflamatoria que poseen los polifenoles, entre los cuales se encuentran presentes los ácidos fenólicos, flavanoles, flavonoles y estilbenos (Ordóñez et al., 2019). Además, los polifenoles pueden contribuir a la amargura, astringencia, color, sabor, olor y estabilidad oxidativa en los alimentos (Bhooshan & Ibrahim, 2009). Sin embargo, estos compuestos son inestables y en gran medida propensos a la degradación oxidativa e hidrólisis, esto promueve el cambio de sus estructuras químicas durante el procesamiento y almacenamiento, dando como resultado una disminución de sus actividades biológicas (Deng et al., 2018). En general, factores tales como pH, luz, temperatura, disponibilidad de oxígeno, iones metálicos, enzimas, proteínas, sal de nitrito, dióxido de azufre, e interacciones con otros componentes alimentarios provocan cambios químicos en estos compuestos (Xiao, 2022).

Existen varios métodos de extracción convencionales (Soxhlet, agitación mecánica y maceración) y no convencionales (líquidos presurizados, ultrasonido, etc.), que permiten recuperar los polifenoles presentes en diferentes matrices vegetales (Vitor et al., 2021; Banerjee et al., 2017). Sin embargo, los extractos obtenidos están propensos a la hidrólisis y oxidación por lo que se requieren técnicas de congelación complejas que permitan su conservación, ya que estos extractos no pueden ser aplicados de forma directa en los alimentos (Mojzer et al., 2016; Bouarab et al., 2019). Debido a las condiciones de procesamiento y almacenamiento, como pH y temperatura, que pueden provocar cambios químicos/estructurales en los polifenoles (Cao et al., 2021). Por ejemplo, la adición de polifenoles de manera directa en productos que impliquen en su procesamiento

altas temperaturas (≥180 °C), reduciría drásticamente el contenido de estos compuestos en el producto terminado (Pasukamonset et al., 2016). Entonces, es necesario un método sencillo y práctico de microencapsulación que permita que los compuestos fenólicos puedan ser utilizados en el desarrollo de alimentos nutraceuticos (Munin & Edwards, 2011).

La microencapsulación es un proceso mediante el cual compuestos bioactivos son recubiertos por cápsulas, protegiéndolos contra procesos químicos degradativos (Silva et al., 2014). Por ello, ante la escasa estabilidad de los polifenoles, esta tecnología podría incrementar la vida útil de estos compuestos y favorecer una liberación controlada del encapsulado (Castromonte et al., 2020). No obstante, en muchas técnicas de encapsulación se generan altos costos de producción (Gibbs et al., 1999). Por ello, la gelificación iónica ha demostrado ser una forma simple, rápida y eficiente para estos compuestos antioxidantes, donde no se requiere de equipo especializado, altas temperaturas, o disolventes orgánicos (Otálora et al., 2019). No obstante, los parámetros de proceso para los polifenoles presentes en extractos de cáscara de tuna aún no han sido establecidos. Bajo estas consideraciones, formulamos la siguiente interrogante:
¿Cuál es el efecto del uso de agentes encapsulantes tales como alginato de sodio y pectina en un proceso de gelificación iónica sobre las propiedades antioxidantes de los extractos obtenidos a partir de cáscara tuna roja?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el proceso de gelificación iónica para microencapsular compuestos antioxidantes presentes en cáscara de tuna roja *(opuntia ficus-indica*).

1.2.2. Objetivos específicos

a) Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de agente encapsulante alginato de sodio al 1, 2 y 3%; y pectina al 3, 4 y 5% en un proceso de gelificación iónica sobre el contenido de polifenoles, capacidad antioxidante y perfil de polifenoles a partir de extractos obtenidos de cáscara de tuna roja.

b) Determinar el efecto de diferentes concentraciones de agente encapsulante alginato de sodio al 1, 2 y 3%; y pectina al 3, 4 y 5% sobre el tamaño y forma de los microencapsulados a partir de extractos de cáscara de tuna roja.

1.3. Justificación e importancia

El consumo del fruto de la tuna genera importantes cantidades de residuos (cáscara y semilla), los cuales presentan importantes concentraciones de compuestos bioactivos. En particular, la cáscara que constituye alrededor del 33- al 50% del peso total del fruto es una fuente natural rica en polifenoles. Por ello, establecer nuevas estrategias que permitan revalorizar este subproducto, el cual no presenta ningún valor económico y gran disponibilidad, permitirá nuevas alternativas económicas a la industria.

Los polifenoles presentes en la cáscara de tuna son metabolitos secundarios con importantes propiedades bioactivas, los cuales han demostrado efectividad en la prevención y tratamiento de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo tales como citotóxicas, antiinflamatorias, antihipertensivas y antidiabéticas. Esto debido a su capacidad para reducir los radicales libres. Por ello, los estudios no solo deberían enfocarse en los métodos de extracción de estos metabolitos, sino también deberían estudiar la incorporación de estos compuestos en matrices alimentarias como los microencapsulados con la finalidad de ofrecer nuevas potenciales aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica. En general, diversos estudios recomiendan el uso de alginato de sodio y pectina como las mejores alternativas de grado alimentario para el desarrollo de microencapsulados. Entonces, el uso del método de gelificación iónica combinado con agentes gelificantes de grado alimentario podría representar una alternativa sustentable para el desarrollo de estos microencapsulados.

La microencapsulación para conservar los compuestos bioactivos de la tuna (polifenoles) permitirá que los microencapsulados pueden incorporarse en diversas formulaciones de productos alimenticios como aperitivos, extruidos, refrescos, películas comestibles, caramelos gomosos y yogur para obtener un color atractivo y mejorar la capacidad antioxidante de los alimentos.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Es posible que el uso de agentes gelificantes favorezca las características químicas (polifenoles, capacidad antioxidante y perfil de polifenoles) y físicas (tamaño y forma) de los microencapsulados obtenidos a partir de extractos de cáscara de tuna roja.

1.4.2. Hipótesis específicas

a) Un incremento en la concentración de alginato de sodio y pectina mejorará la retención de polifenoles y la capacidad antioxidante en microencapsulados de cáscara de tuna roja.

b) Un aumento en la concentración de alginato de sodio y pectina incrementará el tamaño de los microencapsulados con formas más esféricas y uniformes.

1.5. Variables

Tabla 1. Variables independientes

Variables independientes	Indicador	Índice
Agente encapsulante		
Alginato de sodio	1, 2, 3	%
Pectina	3, 4, 5	%

Tabla 2. Variables dependientes

Variables dependientes	**Índice**
Polifenoles totales	mg equivalente a ácido gálico/g sólido seco
Perfil de polifenoles	µg/g sólido seco
Capacidad antioxidante ORAC	umol Trolox/ g sólido seco
Eficiencia de polifenoles totales	%
Tamaño de partícula	mm
Morfología de partícula	-

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Muchiutti et al. (2019), evaluaron el alginato de sodio como material encapsulante en el aceite esencial de orégano (aeo), aplicando la técnica de gelificación iónica con alginato de sodio al 1 % (p/v) y cloruro de calcio 0,05 M. Se adoptaron dos niveles para la distancia de caída (10-20 cm) y dos para el tiempo de retención en la solución de cloruro de calcio (5-15 min). Se caracterizaron las cápsulas midiendo el contenido de humedad, actividad de agua, diámetro y contenido de polifenoles. A un tiempo de retención de 5 minutos y una distancia de caída de 20 cm se obtuvieron cápsulas con un mayor contenido de polifenoles (0,490 $\pm$ 0,06 meq de ácido gálico/mL de aeo) y la mayor eficiencia de encapsulación (25%). En conclusión, las cápsulas con mayor contenido de polifenoles fueron las obtenidas por el proceso de mayor distancia entre la salida de la gota y la solución de cloruro cálcico, y el tiempo de retención más corto; mientras que las cápsulas con más hinchazón fueron las obtenidas por procesos de mayor tiempo de retención. No obstante, todavía queda bajo investigación el desarrollo de más concentraciones de alginato de sodio para una mayor recuperación de estos compuestos antioxidantes.

Ćorković et al. (2021), analizaron la producción de perlas de alginato (2%) y alginato/pectina (2%/1%) a partir del jugo de chokeberry para la preservación de polifenoles mediante el uso de tecnología de vibración. Los efectos de diferentes agentes encapsulantes y la duración de la complejación (30 o 90 min) con una solución de $CaCl_2$ al 7% sobre polifenoles y antocianinas totales, actividad antioxidante y perfiles volátiles fueron investigados. Una combinación de alginato/pectina a 90 minutos complejación obtuvo el mayor contenido de polifenoles totales (5,69 ± 0,18 g/kg) y capacidad antioxidante por DPPH (27,89 ± 0,46 µmol/100 g). Por lo tanto, la combinación de alginato con pectina favorece en el aumento de la concentración de polifenoles dentro de las perlas en comparación con las preparadas solo con alginato. Sin embargo, queda pendiente el análisis del uso solo de pectina para evaluar su comportamiento como agente encapsulante en la concentración de polifenoles.

Sampaio et al. (2019), evaluaron la influencia del alginato de sodio 2% (p/v) y pectina 4% (p/v) y el efecto del secado (60 °C y 90 °C) sobre la estabilidad de las perlas ricas en licopeno obtenidas por gelificación iónica de un concentrado de sandía. El contenido de licopeno fue mayor en las perlas de alginato (6375,6 ± 10,6 µg/g), la morfología y tamaño de partícula en las perlas de alginato húmedo presentaron una forma más redonda y en las perlas de pectina fueron más alargadas. Los diámetros de las perlas de pectina fueron más grandes (2,6 y 3,3 mm) que en las de alginato (1,9 a 2,3 mm). Por lo tanto, las partículas secas producidas con alginato son la mejor opción para producir perlas ricas en licopeno. No obstante, aún queda bajo investigación el desarrollo de más concentraciones de pectina y alginato para una mayor recuperación de estos compuestos antioxidantes.

Castillo et al. (2017), investigaron el diseño óptimo de microcápsulas a base de alginato de sodio (0.5, 1 y 2%) combinado con Aloe Vera (1, 5, 10% v/v), empleando concentraciones de $CaCl_2$ que variaron desde 0.025 hasta 0.1M, la metodología empleada fue por gelificación iónica para microencapsular cepas de *Lactobacillus plantarum*. Con base a los resultados se estableció que la mejor concentración de alginato fue al 1% y la de $CaCl_2$ al 0.1M. Por lo tanto, a una mayor concentración de calcio se obtendrán cápsulas con mayor firmeza. Sin embargo, queda pendiente la investigación del uso solo de Aloe Vera como agente encapsulante.

Hernández et al. (2018), evaluaron la encapsulación de la bacteria *Azospirillum brasilense* con diferentes concentraciones de alginato de sodio (1%, 1.5%, 2%), concentraciones de cloruro de calcio (0.1 y 1 M) y pH (6,7 y 8) mediante gelificación iónica. Los resultados mostraron que la mejor combinación de alginato es al 2% y cloruro de calcio al 1 M que formaron microcápsulas uniformes, que estando húmedas son de aproximadamente 1 mm de diámetro. Por lo tanto, la concentración de alginato toma un papel importante en la formación de las microcápsulas, ya que en la concentración más baja no se consolida y se producen solamente láminas delgadas. Sin embargo, queda pendiente la investigación de mayores concentraciones de alginato de sodio como agente encapsulante.

Rodríguez et al. (2017), encapsularon jugos de frutos amarillos, morados y rojos de *Stenocereusspp*. (Pitahayas) empleando alginato de sodio (0,8, 1,0 y 1,2 %

p/v), pH (3,0 a 7,0) y cloruro de calcio al 1,0 % p/v mediante el método de gelificación iónica. Utilizando 1,0% de alginato de sodio las cápsulas presentaron forma esférica con diámetro (4,59 y 4,70 mm), peso (82,60 a 97,50 mg) y volumen (0,075-0,098 mL) similar entre frutos. Por lo tanto, la encapsulación con alginato es un método adecuado para conservar alimentos en condiciones controladas. No obstante, aún queda bajo investigación el desarrollo de más concentraciones de cloruro de calcio.

Lara et al. (2019), estudiaron la gelificación iónica normal en un zumo de frutas (papaya y melón), tomando como factores de estudio el pH de la solución (5 y 6), temperatura del líquido (25 y 35 ºC) y concentración de alginato de sodio (0,8 y 1,2 %). Las variables respuesta analizadas fueron la viscosidad de la mezcla, textura de ruptura y morfología del gel. Teniendo como mejores tratamientos: pH=5, temperatura=35ºC y concentración de alginato=1,2%; traduciéndose en esferas gelificadas con una textura (0,158-0,1072 N) fuerte al tacto, soportando su manipulación manteniendo seguro el líquido gelificado. Por lo tanto, el pH es un parámetro fundamental en la estabilidad del gel, ya que a valores altos se registra una despolimerización del alginato y por consecuencia una estructura protectora débil.

Castañón et al. (2020), evaluaron la estabilidad de las cápsulas de jugo de naranja, obtenidas mediante gelificación iónica, utilizando pectina de alto metoxilo (1.5%, 2% y 2.5% p/v), alginato de sodio 0.5% (p/v), pH (2.5, 3.5 y 4.5) y sólidos solubles totales a 5 ºBrix y 15 ºBrix. Se determinaron la pérdida de peso, atributos de color, diámetro, morfología macroscópica y densidad en las cápsulas elaboradas. Los parámetros de calidad aceptables fueron utilizando alginato de sodio 0.5 % (p/v), pectina 2%, pH 2.5 ,5 ºBrix y almacenamiento a 4 ºC; los tamaños de las cápsulas oscilaron de 0.49 mm a 0.41 mm y obtuvieron un 45.56 % de forma esférica y solo un 6.67 % para cápsulas amorfas. Por lo tanto, el uso de tecnologías de encapsulación como la gelificación iónica permite la preservación de las características fisicoquímicas del jugo de naranja y es necesario estandarizar las condiciones aplicadas para incrementar la predominancia de la morfología esférica. Sin embargo, aún queda bajo investigación el desarrollo de más concentraciones de pectina.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tuna

La tuna *(Opuntia ficus-indica)* es un cultivo que pertenece a la familia Cactaceae, la cual está muy extendida en el Perú, especialmente en los valles interandinos, donde ha encontrado condiciones climáticas adecuadas para su crecimiento adaptándose muy bien a zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvias erráticas y suelos pobres expuestos a la erosión (Amaya, 2009; Paucara y Castillo, 2021).

a) Taxonomía

La tuna es una baya de forma ovalada; que presenta en el ápice una depresión correspondiente al lugar de inserción de la flor, tiene un diámetro entre 5,7 y 6,8 cm, con longitudes desde 5,2 hasta 12 cm, y un peso variable entre 45 y 280 g. Y, además, el tiempo de maduración está entre los 3 y 4 meses (Almanza y Fischer, 2012). Cuya clasificación taxonómica se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Taxonomía de *opuntia ficus-indica*

Reino:	*Plantae*
División:	*Magnoliophyta*
Clase:	*Magnoliopsida*
Orden:	*Caryophyllales*
Familia:	*Cactaceae*
Subfamilia:	*Opuntioideae*
Género:	*Opuntia*
Especie:	*O. ficus indica (L.)*
Nombre binomial	*O. ficus indica (L.) 1768 Mill*

Fuente: Amaya (2009)

b) Producción regional

La Tabla 4 muestra la producción de tuna en los distritos de Moquegua y San Cristóbal de Calacoa, cuya producción hasta el año 2021 alcanzó las 2000 tn.

Tabla 4. Producción de tuna en Moquegua y San Cristóbal de Calacoa

Año	Producción (t)	
	Moquegua	San Cristóbal de Calacoa
2023 (enero)	947.62	703.22
2022	4330.68	3119.91
2021	2455.37	1496.70
2020	2613.75	1570.05
2019	2712.96	1706.65
2018	2598.07	1347.44
2017	2292.18	1260.52

Fuente: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2023)

c) Composición química

El fruto de la tuna presenta diferentes variedades las cuales poseen diferentes contenidos nutricionales y varían según las diferentes regiones (Shoukat et al., 2023). Los ingredientes altamente activos que existen predominantemente en la fruta y en los cladodios, son conocidos como fitoquímicos (ricos contenidos de minerales, betalaínas, carbohidratos, vitaminas, antioxidantes, polifenoles y taurina) (Shoukat et al., 2023). Además, el consumo de tuna aporta carbohidratos, proteínas, grasas, minerales, fibra, aminoácidos, vitamina C, compuestos fenólicos y pigmentos betalaínicos; cuya composición química se muestra en la Tabla 5.

La composición de la cáscara de la tuna también posee un gran contenido de polisacáridos como la celulosa, mucílago y pectina; asimismo; incluye otros componentes como azúcares, fibra, esteroles, lípidos, entre otros (Tabla 6) (Coronado-Contreras et al., 2023).

Tabla 5. Composición química de la tuna roja

Componente	Unidad	Valor	Método de ensayo
Valor energético	Kcal / 100 g	46,14	Cálculo
Carbohidrato	%	10,395	Fehling
Proteína	%	0,66	Kjeldahl
Grasa	%	0,22	Barshal
Fibra	%	4,97	Hidrólisis acido base
Vitamina A	ug / 100 g	7,908	Espectrofotometría
Vitamina C	mg / 100 g	15,72	Espectrofotometría
Calcio	mg / 100 g	37,39	Volumetría
Fósforo	mg / 100 g	23,62	Espectrofotometría
Humedad	%	79,08	Gravimetría
°Brix	°Brix	18,834	Refractometría
Cenizas	%	0,383	Gravimetría

Fuente: Paucara y Castillo (2021)

Tabla 6. Composición química de la cáscara de tuna

Componente	% en peso seco
Cenizas	11,5
Grasas y ceras	11,0
Lignina	2,4
Proteína (N x 6.25)	8,6
Mucílago	4,1
Otros polisacáridos	35,0
Celulosa	27,0

Fuente: Habibi et al. (2004)

2.2.2. Compuestos bioactivos de la tuna

La tuna presenta una amplia gama de colores, que pueden variar desde el blanco, amarillo, naranja, rojo y púrpura (Bolaños et al., 2012). La coloración del fruto está determinada por la presencia de pigmentos entre los cuales se encuentran las betalaínas (Bolaños et al., 2012), presentes en la pulpa y en la

cáscara, en su mayoría como betacianinas (responsables del color rojo-púrpura) y betaxantinas (responsables del color amarillo-anaranjado) (Ramírez et al., 2015).

La cáscara de la tuna es una fuente importante de polifenoles tales como flavonoles, flavanoles, estilbenos y ácidos fenólicos, cuyo contenido fenólico puede alcanzar hasta 218.8 mg equivalentes de ácido gálico (mg GAE) / 100 g de fruta fresca (Iftikhar et al., 2023).

A. Polifenoles totales

Los polifenoles son metabolitos secundarios de las plantas que están relacionados a propiedades sensoriales, nutricionales y farmacológicas (Surco et al., 2020). Los polifenoles que se encuentran presentes en la cáscara de tuna son los ácidos fenólicos, flavanoles, flavonoles y estilbenos; los cuales presentan propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Ordóñez et al.,2019).

Algunos estudios realizaron la cuantificación de polifenoles totales en cáscara, piel y semilla de diferentes variedades de tuna, cuyos valores se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Contenido fenólico total en cáscara, pulpa y semilla de tuna

Variedad de tuna	Contenido fenólico total (mg EAG/100 g)			Fuente
	Cáscara	Pulpa	Semilla	
Morada	22,5	32,6	34,8	Ordóñez et al. (2019)
Roja	NR	68,7	NR	Jorge y Troncoso (2016)
NR	27,46	NR	NR	Dormousoglou et al. (2023)
Roja	47,85	25,81	1,08	Albergamo et al. (2022)
Roja	NR	67,0 - 50,9	NR	Teresa et al. (2011)
Roja-púrpura	NR	33,5 – 60,0	NR	Stintzing et. al (2005)

NR: No registra

A.1 Clasificación de polifenoles

Los compuestos fenólicos poseen una estructura química diversa y esta es una base sobre la cual se puede lograr la clasificación (Rambaran, 2020). Las principales clases de polifenoles incluyen ácidos fenólicos, flavonoides y no flavonoides; entre los flavonoides, se pueden distinguir distintas familias tales como flavonoles, flavanoles, flavonas, isoflavonas, flavanonas, y antocianinas. Mientras que en el caso de los no flavonoides se encuentran otras familias tales como estilbenos, lignanos y otros (Figura 1).

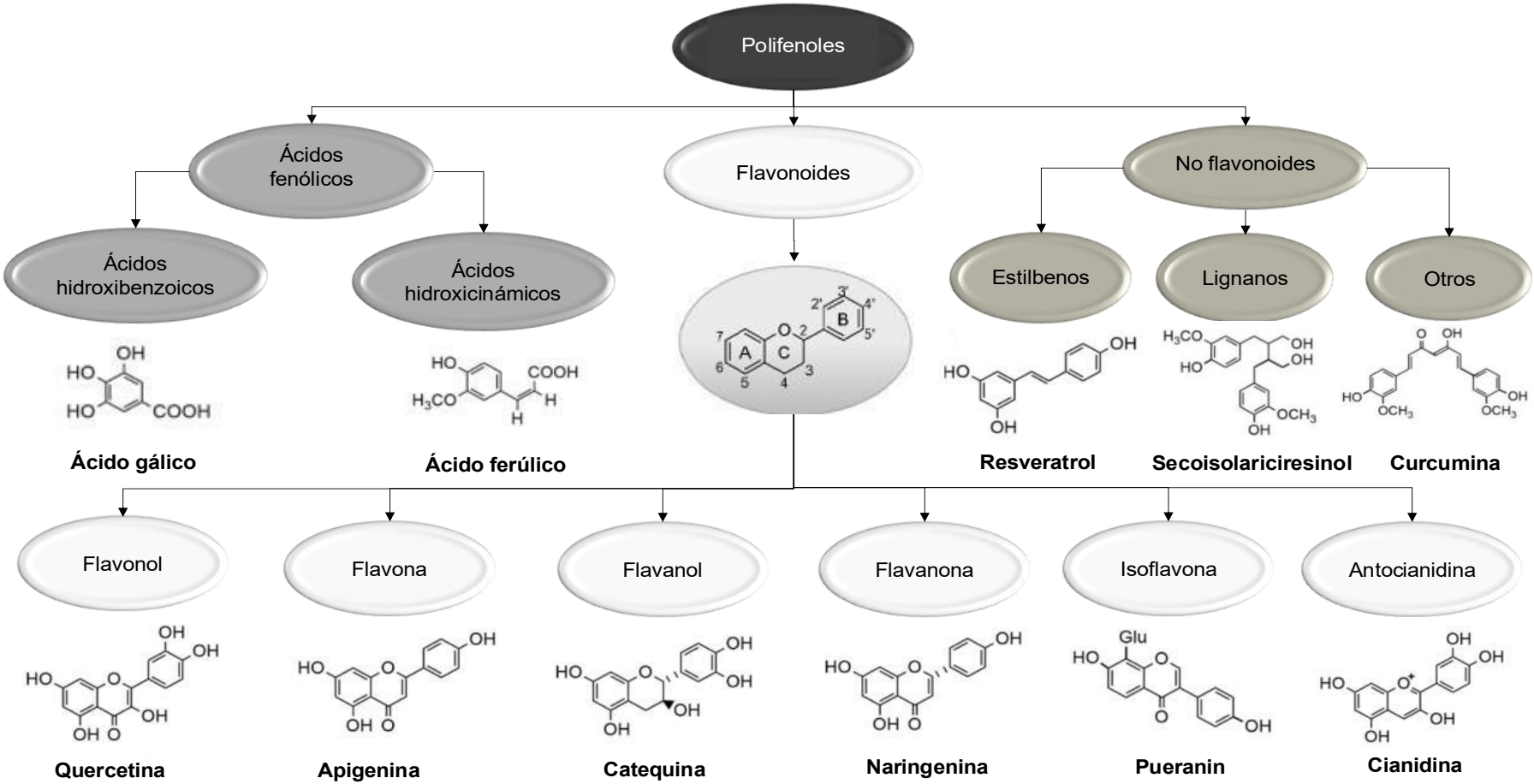


Figura 1. Clasificación esquemática de polifenoles

Fuente: Adaptado de Rambaran (2020)

A.2. Perfil de polifenoles

Amaya et al. (2019), evaluaron el perfil fitoquímico mediante cromatografía liquida de tres tonalidades de cultivares de tuna (verde, amarillo-naranja y roja). Los análisis permitieron identificar 145 compuestos: 68 polifenoles extraíbles, 15 polifenoles hidrolizables, 41 betalaínas, 16 carotenoides y 5 fitoesteroles. La tuna presenta una mayor concentración de compuestos fenólicos en la cáscara que la pulpa, las semillas o jugo, cuyo perfil se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Perfil de polifenoles de cáscara de tuna roja

Nombre del componente	Cantidad (µg/g peso seco)
Ácidos hidroxibenzoicos	
Ácido gálico	295 ± 40
Ácido isovainílico	1801 ± 74
Ácido siríngico	536 ± 50
Ácido protocatequico	295 ± 21
Ácido vanílico	187 ± 32
Ácido benzoico	1002 ± 14
Ácido elágico	393 ± 84
Ácidos hidroxicinámicos	
Ácido cinámico	3155 ± 98
Ácido cafeico	27203 ± 337
Ácido ferúlico	1410 ± 49
Ácido sinápico	689 ± 49
Ácido isoferúlico	4050 ± 129
Flavonoles	
Miricetina	694 ± 49
Quercetina	29283 ± 1825
Kaempferol	5077 ± 273
Isorhamnetina	102547 ± 1534
Flavanonas	
Hesperidina	760 ± 47
Naringenina	4344 ± 189

Fuente: Amaya et al. (2019)

A.3. Factores que afectan la estabilidad de los polifenoles

La degradación de los polifenoles en los productos alimenticios durante la vida útil puede ocurrir por mecanismos enzimáticos y no enzimáticos, siendo afectados por varios parámetros tanto internos como externos (Hanuka et al., 2020). Entre ellos el más significativo es el valor del pH, seguido de la luz, temperatura, disponibilidad de oxígeno, iones metálicos, enzimas, proteínas, sal de nitrito, dióxido de azufre, otros antioxidantes e interacciones con otros componentes alimentarios (Xiao, 2022).

- **pH**: El valor del pH es un factor clave que influye en la estabilidad de los polifenoles, un ambiente ácido estabiliza los polifenoles, mientras que en una solución alcalina conlleva a su degradación, dimerización y oxidación. Asimismo, el pH es responsable de la variación de color de los polifenoles (Xiao, 2022).

- **Temperatura:** Los polifenoles se degradan a altas temperaturas, por lo que una forma de poder protegerlos es manteniendo la temperatura baja de procesamiento y almacenamiento, a 4 °C la estabilidad es óptima y sus estructuras se mantienen más estables por tiempos más prolongados, debido a la inhibición de la actividad enzimática de la fenol oxidasa, provocando una reducción en la oxidación y, por ende, la condensación y degradación (Cao et al., 2020).

- **Interacciones con otros componentes alimentarios:** El ácido ascórbico y los azúcares, son componentes que a menudo se agregan externamente durante el procesamiento de alimentos, lo que provoca alteraciones en la estabilidad de los polifenoles (Cao et al., 2021). Por otro lado, un estudio reveló que la adición de azúcar antes o durante el procesamiento ejerce un efecto protector que mejora la extracción de polifenoles y sus actividades antioxidantes, debido a la disminución de la solubilidad en oxígeno, quelación de iones de metales de transición y eliminación de especies reactivas de oxígeno (Nazri et al, 2021; Cao et al., 2021).

- **Luz y oxígeno:** La exposición a la luz presenta gran influencia en la degradación de los polifenoles y cambios en su composición e inclusive puede llegar a tener efectos más fuertes que las altas temperaturas, en particular la luz no controlada puede provocar la isomerización de los polifenoles (Ferreyra et al., 2023; Deng et al., 2018).

  La presencia de oxígeno reduce significativamente los polifenoles, produciendo una autooxidación y pardeamiento enzimático por la polifenol oxidasa, y por ello, la oxidación de polifenoles es proporcional a la concentración de oxígeno (Deng et al., 2018). Su actividad antioxidante está directamente asociada a su estructura molecular, ya que el número de grupos hidroxilo está directamente involucrado en la autooxidación y la capacidad de eliminación de radicales libres mediante la donación de átomos de hidrógeno. Por ello, cuantos más grupos hidroxilo contienen, más inestabilidad exhiben (Wang et al., 2008).

- **Iones metálicos:** Las características antioxidantes de los polifenoles dependen de los diferentes iones metálicos que están unidos a ellos. Los flavonoides son quelantes efectivos de iones metálicos y poseen un rol importante en la iniciación de procesos de radicales libres. Al quelar los iones metálicos se crean compuestos complejos, y por ello, su actividad antioxidante adicional resulta de la unión de iones metálicos como Fe (II), Fe (III) y Cu (I), que participan en reacciones generadoras de radicales libres (Grazul & Budzisz, 2009).

2.2.3. Extracción por ultrasonido (EAU)

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) se basa en la fuerza de cavitación formada por ondas de amplitud controladas. Esta fuerza forma burbujas, que colapsan en la superficie del tejido vegetal creando fisuras a través de las cuales los compuestos bioactivos son extraídos por el solvente. Además, esta innovadora tecnología nos permite aplicar diferentes variables de extracción, como temperatura, tiempo, relación disolvente a sólido, diferentes composiciones de disolvente, amplitud y tiempo de pulso (Gómez et al., 2021). El ultrasonido es un tipo especial de onda sonora con una frecuencia de 20-100 MHz, que está fuera del rango del oído humano y comprime y expande al

material expuesto. Al emplear ultrasonido, facilita la difusión a través de la pared celular y el lavado del contenido celular una vez que las células están rotas (Pérez et al., 2017).

Brahmi et al. (2022), evaluaron la composición y las propiedades del extracto polifenólico de flores Opuntia ficus indica obtenido por extracción asistida por ultrasonido, donde las condiciones óptimas fueron 36% de etanol, un tiempo de extracción de 60 min y una temperatura de 53 °C, lo que produjo una extracción de 24,4 ± 0,82 mg de fenólicos totales expresados como mg de ácido gálico equivalente (GAE)/g de peso seco.

Vásquez et al. (2022), determinaron las variables que ejercen una influencia significativa en la eficiencia de los EAU y su posterior optimización para la extracción eficiente de las betalaínas de la pulpa de Opuntia. Se seleccionaron cuatro variables (%EtOH como disolvente, temperatura de extracción, amplitud de ultrasonido y ciclo). Las condiciones para obtener la mayor concentración de betalaína fueron 100 mg de pulpa con 20 mL (60%:40% EtOH: H2O) de disolvente a 20 °C a 24% de amplitud y 0,2 ciclos durante 10 min.

Gómez et al. (2021), estudiaron la optimización de la extracción "verde" de betalaínas y compuestos fenólicos de frutos enteros de Opuntia stricta var. Dillenii por extracción asistida por ultrasonido (EAU), utilizando una metodología de superficie de respuesta (RSM). El tiempo de extracción más eficiente fue de 5 min y la mejor combinación de parámetros de los EAU fue 50% de amplitud, 15% de etanol en disolvente (etanol/agua, 15/85, v/v) y 20 °C de temperatura, obteniéndose 10,06 ± 0,10 mg de betalaínas principales totales/g de peso seco; 2,32 ± 0,08 mg de ácido piscídico/g de peso seco y 0,38 ± 0,00 mg de flavonoides principales totales/g de peso seco.

2.2.4. Microencapsulación

Se ha demostrado que la encapsulación de polifenoles y su aplicación en diferentes matrices comestibles pueden aumentar la estabilidad de estos compuestos (Flores-Mancha et al., 2019). Además, proteger y extender la vida útil de compuestos sensibles, incluyendo una liberación controlada, entrega y enmascaramiento de sabores, colores y olores. (Otálora et al., 2016).

Las microcápsulas se pueden clasificar según su tamaño, estructura y morfología (Figura 2). En general, existen dos clasificaciones principales relacionadas con la morfología: las microcápsulas que es un sistema donde el núcleo está rodeado por una capa exterior y, por otro lado, las microesferas consideradas de tipo matricial, donde el núcleo se integra homogéneamente dentro del material de cubierta (Ribeiro et al., 2019). Sus formas específicas están influenciadas por las tecnologías de proceso, los materiales del núcleo y las paredes de fabricación de las cápsulas (Fang & Bhandari, 2010).

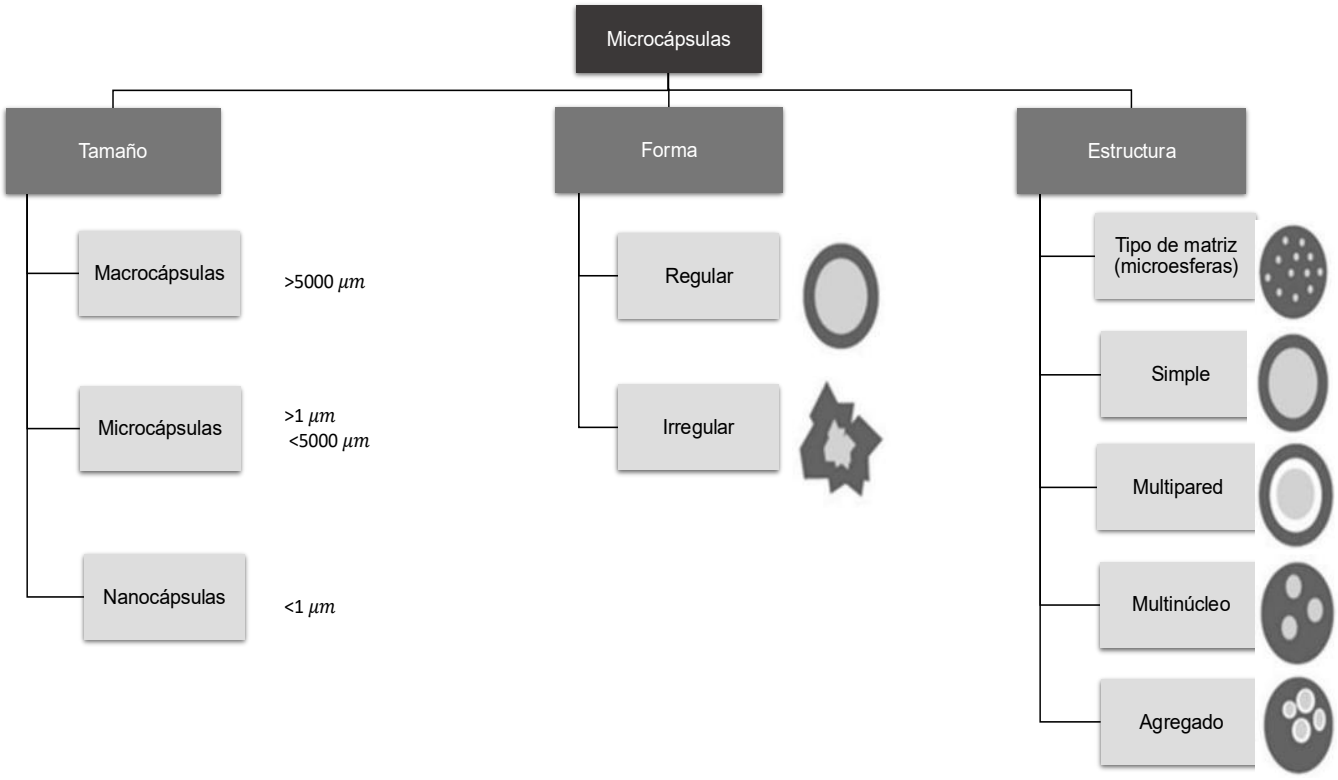


Figura 2: *Clasificación de micropartículas*

Fuente: Adaptado de Ribeiro et al. (2019)

La liberación del encapsulado se da bajo una liberación inicial del principio activo enlazado a la superficie, seguida de una liberación a través de la matriz del polímero y a través de los poros durante la degradación de la matriz y finalmente una liberación erosional por la desintegración de la matriz del polímero (Parra, 2011).

Los materiales encapsulantes tienen la función de proteger al alimento de la humedad, el calor u otras condiciones extremas, mejorando así su estabilidad y manteniendo la viabilidad (Parra, 2011).

A. Microencapsulación por gelificación iónica

De acuerdo con Otárola et al. (2016), uno de los métodos más comunes de encapsulación es la gelificación iónica con formación de geles de alginato por reticulación iónica con cationes multivalentes.

En el proceso de gelificación iónica se producen pequeñas gotas de solución a partir de la mezcla entre un agente encapsulante y el compuesto que se desea encapsular (Figura 4). El agente encapsulante mayormente usado es el alginato de sodio, debido a que es un polímero de fácil accesibilidad, baja viscosidad y alta reactividad con los iones calcio (Ortiz et al., 2021).

El proceso de microencapsulación con alginato se lleva a cabo a través de dos mecanismos de gelificación iónica: la gelificación externa (Figura 3A) y la gelificación interna (Figura 3B), dependiendo de si el calcio se suministra desde fuera de las cápsulas o en el interior de las mismas (Lupo et al., 2012).

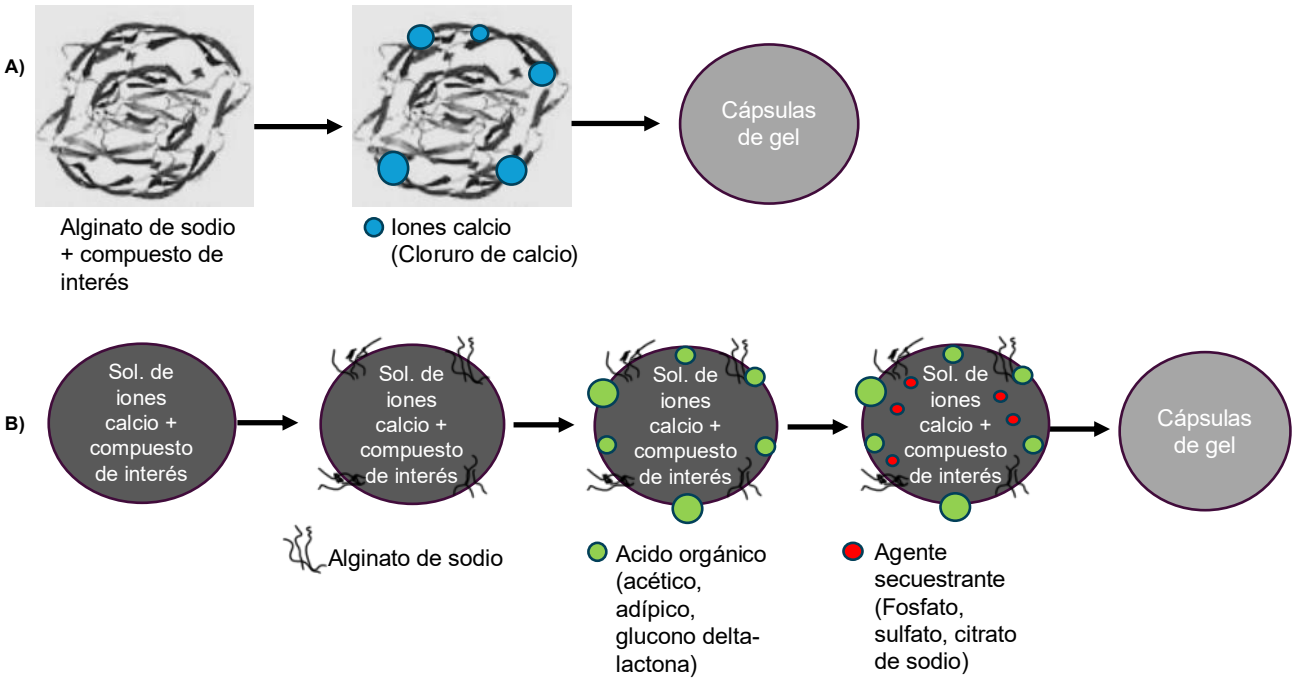


Figura 3: *Diagrama representativo de gelificación iónica externa (A) e interna (B)*

Fuente: Ortiz et al. (2021)

Según Castillo et al. (2017), por el método de gelificación iónica existen factores determinantes para la morfología de las microcápsulas como el tamaño de la boquilla de la jeringa, la distancia de separación de la boquilla a la solución de

cloruro de calcio, el efecto de la gravedad y la tensión superficial de la solución que induce la gelificación influyen en su forma esférica y tamaño. Otros factores determinantes que pudiesen influir en la forma son el tamaño de partícula, la concentración de alginato, la carga bacteriana y el tiempo de exposición al cloruro de calcio.

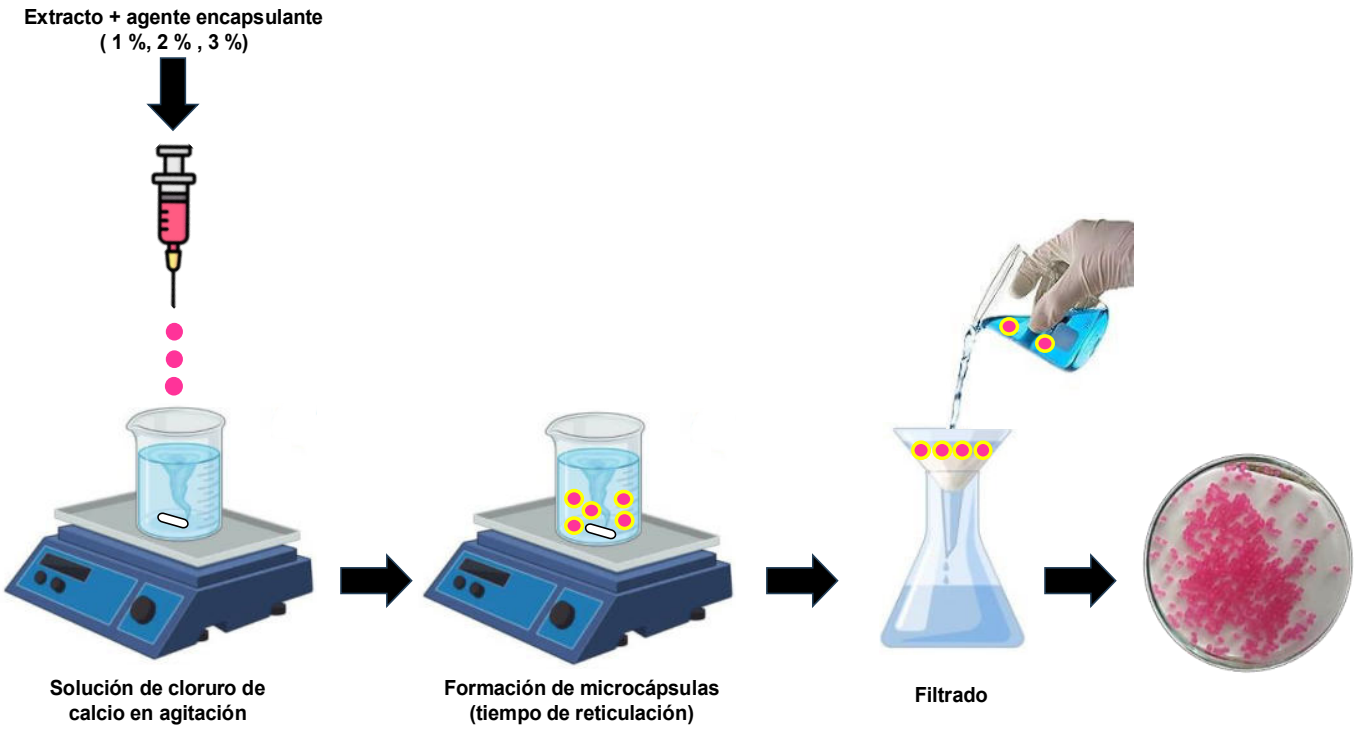


Figura 4: Proceso de gelificación iónica

La gelificación con el calcio es una de las propiedades funcionales más relevantes del alginato y la pectina que les permite ser utilizados en la industria alimentaria, su mecanismo de gelificación consiste en el clásico modelo de caja de huevo, en el que dos cadenas de poliuronato antiparalelas forman dímeros de caja de huevo con el calcio y se agregan posteriormente lateralmente para formar multímeros (Cao et al., 2020). Dicho modelo se usó por primera vez para describir el proceso de gelificación del calcio con el alginato y posteriormente se hicieron modificaciones para explicar la gelificación del calcio con la pectina, algunos estudios han descubierto que los geles de alginato y pectina muestran diferencias significativas en la forma de asociación cadena-cadena durante la formación de dímeros de caja de huevo y, por lo tanto, afecta las propiedades finales del gel (Cao et al., 2020).

2.2.5. Agentes encapsulantes

A. Alginato de sodio

El alginato ha sido uno de los polímeros más empleado en la microencapsulación, esta forma una matriz altamente versátil, biocompatible y no tóxica para la protección de componentes activos, células o microorganismos sensibles al calor, pH, oxígeno y luz, entre otros factores (Lupo et al., 2012).

Los alginatos son hidrocoloides extraídos de las algas que pueden reaccionar con los iones de calcio y formar un gel estable. Para hacer las perlas, se mezcla el alginato con el compuesto bioactivo y luego se agrega gota a gota una solución de cloruro de calcio. La perla puede tener un tamaño de 200 a 5000 micrones. Y los geles retienen moléculas superiores a 5.000 Dalton (Gibbs et al., 1999).

El alginato de sodio estructuralmente es la sal sódica del ácido algínico y consta de grupos sucesivos de dos ácidos urónicos: β-D-manurónico (M) y α-L-glucurónico (G), unidos linealmente entre sí por enlaces glicosídicos 1-4, cuya estructura química se muestra en la Figura 5.

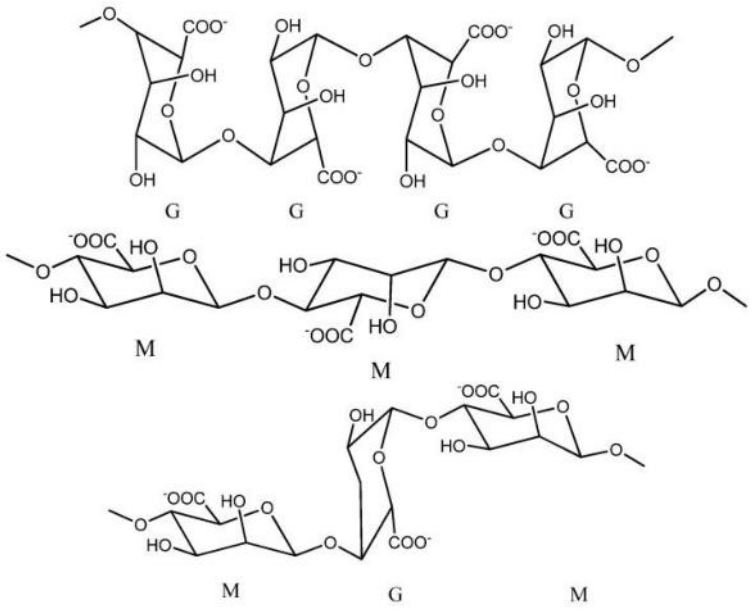


Figura 5: *Estructura química del alginato de sodio*

Fuente: Frent et al. (2022)

Solubilidad

La solubilidad del alginato de sodio es más lenta en agua fría y lleva a la obtención de una solución viscosa. Presenta insolubilidad en alcohol, soluciones hidroalcohólicas con un contenido de alcohol superior al 30%, cloroformo y éter. Su solubilidad depende del pH, el peso molecular, la fuerza iónica, la naturaleza de los iones presentes en su estructura y la concentración (Frent et al., 2022).

El mecanismo de gelificación del alginato es conocido por el modelo de caja de huevos, generado por una unión cooperativa de cationes divalentes y las regiones del bloque G del alginato. La adición de los iones calcio al alginato provocan la unión de dos cadenas G en lados opuestos, formando estructuras arqueadas y con cavidades que contienen los iones Ca 2+ (Hu et al., 2022; Ching et al., 2015). (Figura 6)

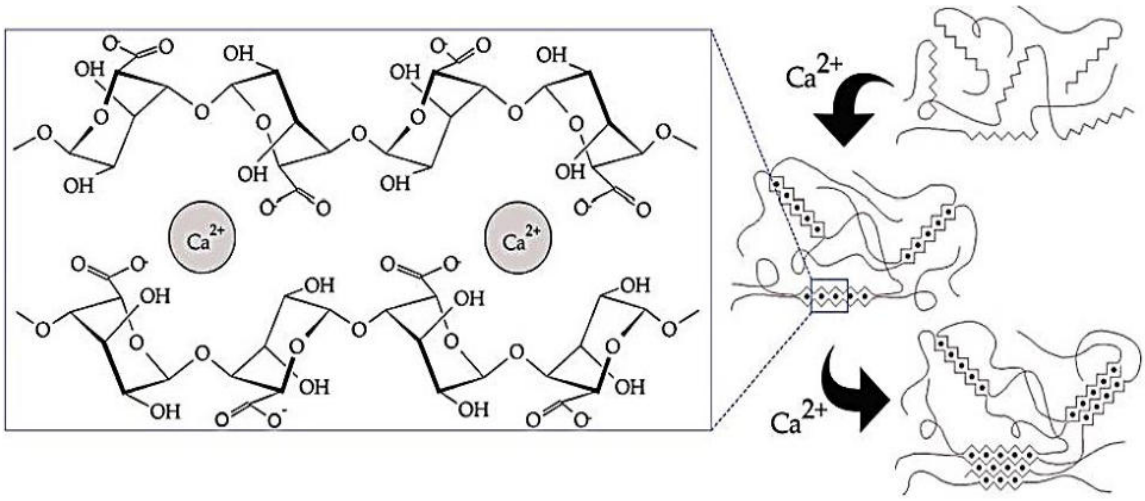


Figura 6: *Modelo de "caja de huevos" de gelificación del alginato con el ión calcio*

Fuente: Lopes da Silva et al. (2017)

B. Pectina

Es una fibra polisacárida con una estructura muy compleja formada por unidades lineales de ácido galacturónico unidas por enlaces glucosídicos parcialmente metoxilados (Bruno et al., 2022), cuya estructura química se muestra en la Figura 7. Entre sus propiedades más destacadas están la biodegradabilidad, biocompatibilidad y capacidad de gelificación, lo que la convierte en un gran portador para compuestos bioactivos (Odún & Reddy,

2023). Además, presentan otros beneficios como polímero de encapsulación y beneficios para la salud como tal (Morales et al., 2022).

La pectina es un polímero prometedor para ser utilizado en aplicaciones de liberación controlada, no es fácilmente digerida por las enzimas digestivas humanas y, por lo tanto, es usada para aumentar el tiempo de tránsito u obtener la entrega específica del sitio de compuestos bioactivos (Morales et al., 2022; Singh et al., 2018).

El grado de metilación es un parámetro importante relacionado con su capacidad de gelificación, el cual se basa en la relación de los grupos carboxilo metil-esterificados a la cantidad total de unidades de ácido galacturónico (Gawkowska et al., 2018). La clasificación tecnológica de la pectina está basada en el grado de metilación, las pectinas de alto metoxilo poseen más del 50% de sus grupos carboxilo esterificados con metanol, las pectinas de bajo metoxilo entre el 5% y el 50%, y el ácido péctico por debajo del 5% (Gawkowska et al., 2018).

La gelificación o reticulación de la pectina se puede lograr debido a las fuertes interacciones inter o intramoleculares formadas entre el Ca2+ y el grupo de los aniones carboxilo de la pectina, para crear una red de gel continua a través del paradigma de "caja de huevo" (Figura 8) (Odún & Reddy, 2023). La capacidad del gel para producir uniones estables de caja de huevo está sujeto a la presencia de bloques extendidos de residuos de ácido galacturónico no metoxilados para la unión con los iones Ca 2+ (Said et al., 2023).

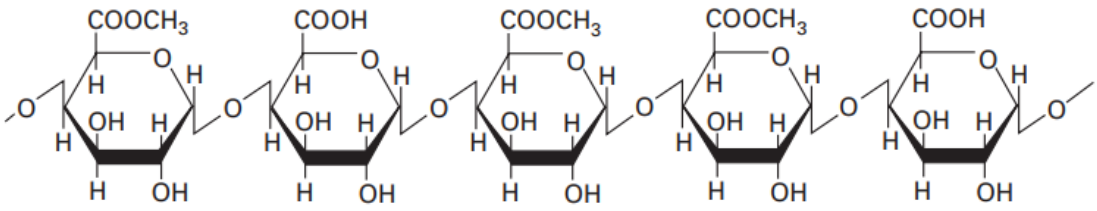


Figura 7: *Estructura química de la pectina*

Fuente: Pawar et al. (2008)

Solubilidad

La pectina es soluble en agua y su solubilidad depende del grado de esterificación, el peso molecular, el pH, la temperatura y los iones presentes en la solución (Arias et al., 2021).

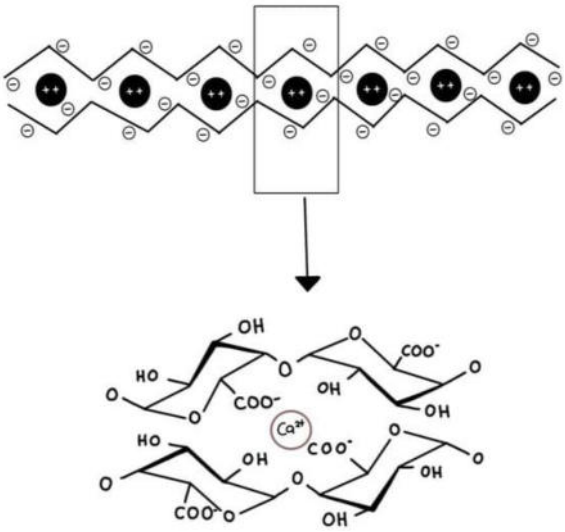


Figura 8: *Modelo de "caja de huevos" que ilustra el mecanismo de gelificación de la pectina de bajo metoxilo*

Fuente: Saadah dijo et al. (2023)

2.3. Definición de términos

2.3.1. Polifenoles: Son compuestos orgánicos caracterizados por múltiples unidades de fenol. Son reconocidos como los principales compuestos bioactivos de las plantas, abundantes en diversas fuentes dietéticas, y se destacan por su potente actividad biológica y propiedades antioxidantes. Safer et al., (2013).

2.3.2. Antioxidante: Se definen como sustancias sintéticas o naturales que pueden retrasar o prevenir la oxidación de un sustrato cuando está presente en pequeñas cantidades en relación con la cantidad del sustrato. Nie et al., (2018).

2.3.3. Extracción por ultrasonido: Tecnología emergente de extracción rápida y efectiva que utiliza ultrasonidos para generar un movimiento rápido de solventes, lo que resulta en una mayor velocidad de transferencia de masa, así como una aceleración de la extracción. Singla & Sit, (2021).

2.3.4. Microencapsulación: Tecnología avanzada de procesamiento de alimentos que puede encapsular cualquier compuesto dentro de un material en particular, formando una pequeña esfera que protege los compuestos sensibles y garantiza su administración segura. Choudhury et al., (2021).

2.3.5. Gelificación iónica: Es una técnica de encapsulación que se basa en interacciones iónicas entre un polímero y un polianión de bajo peso molecular o policatión, que, por lo general, son iones calcio (cloruro de calcio) produciendo un gel insoluble dentro de una sustancia activa, de esta manera, la sustancia a encapsular queda atrapada en la matriz de un polisacárido y su liberación posterior se realiza a través de cambios de fase de gel. Mosquera-Vivas et al., (2023).

2.3.6. Reticulación iónica: Es una reticulación física que ocurre cuando un polímero soluble en agua y cargado se entrecruza con un ion de carga opuesta. Duran et al., (2022).

2.3.7. Agente encapsulante: También recibe otras denominaciones como material de recubrimiento, membrana, cubierta, cápsula, material portador, fase externa o matriz polimérica**.** Se utiliza para encapsular componentes bioactivos y actúa como una película protectora, aislando el núcleo y evitando el efecto de su exposición inadecuada. Esta membrana se disuelve a través de un estímulo específico, liberando el núcleo en el lugar ideal. Zambrano et al., (2024).

2.3.8. Gloquidios: Espinas delgadas y cortas que se encuentran en las areolas de los cactus, especialmente en las subfamilias *Opuntioideae.* Porras-Flórez et al., (2017).

2.3.9. Cladodios: También conocidos como tallos de nopal, palas o pencas, son articulados aplanados y con tejidos carnosos; en el centro de la penca se encuentra una red bilateral del tejido celulósico que con el transcurso del tiempo se endurece, dándole a ésta una constitución rígida. Guzmán & Chávez (2007).

2.3.10. Catión divalente: Es un ión con carga positiva y valencia (+2) como el Mg^{2+} y Ca^{2+}, que actúan como puente para la unión de iones o moléculas cargadas negativamente (aniones). Debido a su doble carga positiva, puede formar enlaces iónicos más fuertes que un catión univalente. Negin et al., (2017).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación de este proyecto es experimental y cuantitativo.

3.2. Ámbito temporal y espacial

El proyecto de investigación se desarrolló durante el periodo junio – octubre 2024. El acondicionamiento de la muestra, extracción por ultrasonido, los análisis de polifenoles totales, capacidad antioxidante (DPPH y ORAC), perfil de polifenoles y microencapsulación se realizaron en el Laboratorio de Extracción de Compuestos de Alto Valor (TESECAV) de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAM. Los análisis relacionados a la morfología y tamaño de partícula se realizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional San Agustín (Arequipa).

3.3. Muestra

10 kg de tuna roja se recolectaron mediante muestreo aleatorio no probabilístico por conveniencia. Las muestras fueron proporcionadas por productores de San Cristóbal de Calacoa, el cual está ubicado en el departamento de Moquegua, provincia General Sánchez Cerro, región Moquegua, cuyas coordenadas son -16.741253, -70.711609. Luego las muestras fueron transportadas en cajas de cartón corrugado protegidas de la luz.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Materiales, equipos, instrumentos y reactivos

a) Materiales

- Agitadores magnéticos
- Bolsas para sellado al vacío
- Botellas de plástico ámbar
- Bureta automática
- Cinta doble cara de carbono
- Cubetas de plástico para espectrofotometría

- Embudos
- Espátulas
- Filtros de jeringa 0,22 um
- Fiolas (5, 10,25,50,100,250 y 1000 mL)
- Gradilla de metal
- Jeringas de 5 mL con aguja de la marca Family Doctor, con calibre 21G (grosor de la aguja) y una longitud de 1 1/2 pulgadas (aproximadamente 38 mm)
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL
- Microplacas blancas y negras de 96 pocillos
- Papel aluminio
- Papel filtro estándar
- Pinzas
- Piseta
- Placas Petri
- Probetas de vidrio (10, 25, 50, 100 y 250 mL)
- Punta para micropipeta (100- 1000 µL)
- Punta para micropipeta (20 - 200 µL)
- Stup de aluminio
- Tamiz Humboldt U.S.A STANDARD N° 8
- Tubos Eppendorf de polipropileno para microcentrífuga de capacidad de 2 mL
- Tubos Eppendorf de polipropileno para microcentrífuga de capacidad de 50 mL
- Vasos precipitados (10,30, 50, 100 y 250 mL)

b) Equipos

- Analizador de humedad (Fisher Scientific, MX-50)
- Balanza analítica (ENTRIS224-1S, Sartorius)
- Centrífuga (Centurion Scientific, Pro-analityt.C2004)
- Congelador (Indrel Scientific, CV 54 D-486)
- Congeladora –refrigeradora (Samsung, modelo Rh25h5613sg)
- Espectrofotómetro UV-Vis (Genesys 150, Thermofisher)
- Estufa (memmert, UN55)
- Homogenizador por ultrasonido (CY-500, Optic Ivymen Systems™)
- Lector de Microplacas (Synergy/HTX, Biotek Instruments Inc)

- Lector de Microplacas (Thermo Scientific, Fluoroskan 5200112)
- Metalizador (Quorum, modelo Q150R ES Plus) Microscopio electrónico de barrido (Thermo Scientific, modelo Scios 2 Dual Beam)
- Multiagitador (Witeg Germany, MS-MP8)
- pH metro (Thermo Scientific- Orion Versastar Pro)
- Picador Universal (Ergomixx 800 W, Bosch MS6CA4120)
- Placa calefactora con agitación (Thermo Scientific, Cimarec* SP88857105)
- Selladora al vacío (Lavezzini, modelo Jolly)
- UHPLC Vanquish Flex acoplado a un espectrómetro de masas Orbitrap (Thermo Scientific)
- Vórtex (J.P. Selecta)

c) Instrumentos

- Micropipeta volumen 10-100 µL
- Micropipeta volumen 20-200 µL
- Micropipeta volumen 100-1000 µL
- Vernier precisión 0.05 mm
- Refractómetro (Milwaukee, MA871)

d) Reactivos

- 2,2-diphenyl-1-picrilhidrazilo – DPPH (90 % pureza)
- Acetonitrilo
- Ácido 6-hidroxi-2, 5, 7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico - Trolox (98% de pureza)
- Ácido fórmico (≥ 98% pureza)
- Ácido gálico (99% pureza)
- Agua destilada
- Agua Mili Q
- Alginato de sodio
- Carbonato de sodio
- Citrato de sodio
- Cloruro de calcio
- Dihidrocloruro de 2,2'-Azinobis (2-metilpropionamidina) -AAPH (97%)
- Estándar de ácido cafeico (98%)
- Estándar de ácido vanílico (97%)

- Estándar de apigenina (95%)
- Estándar de catequina (95%)
- Estándar de epicatequina (90%)
- Estándar de kaempferol (97%)
- Estándar de procianidina A2 (90%)
- Estándar de procianidina B2 (90%)
- Estándar de quercitrina (90%)
- Estándar de resveratrol (99%)
- Estándar de rutina (93%)
- Etanol grado HPLC
- Fluoresceína (>95 de pureza)
- Folin Ciocalteu
- Fosfato dibásico de potasio
- Fosfato monobásico de potasio
- Metanol (99% pureza)
- Pectina de bajo metoxilo
- Pulverización catódica de oro

3.5. Procedimientos

El presente trabajo de investigación se desarrolló en dos etapas que incluyen la extracción de compuestos antioxidantes (etapa A) y la microencapsulación (etapa B) (Figura 9).

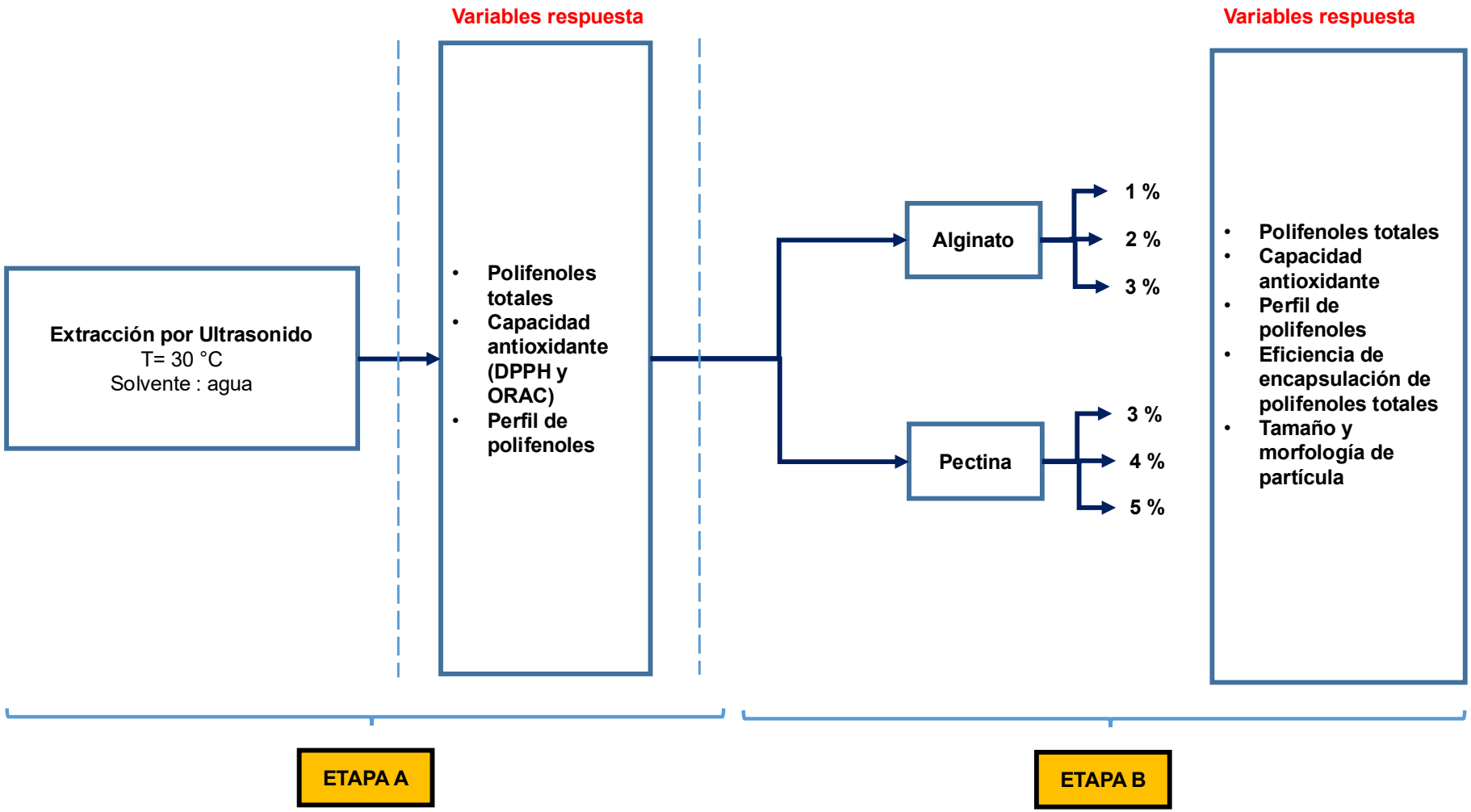


Figura 9: *Diagrama general del proyecto*

A continuación, detallamos en la metodología cada una de las etapas de la Figura 9.

3.5.1. Metodología

A. ACONDICIONAMIENTO

Los frutos de tuna roja fueron adquiridos del distrito de San Cristóbal de Calacoa la región de Moquegua y se transportaron en cajones de madera al Laboratorio de Extracción de Compuestos de Alto Valor de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

El acondicionamiento inicio con la eliminación de los gloquidios (espinas foliares) de los frutos de tuna empleando una esponja y agua. Posteriormente se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 3%. Luego se realizó la separación de la cáscara de la pulpa. Después se cortaron las cáscaras en trozos pequeños de 2 x 2 cm y se acondicionaron en bolsas de sellado al vacío. Las muestras permanecieron en congelación a -20°C hasta su posterior uso (Gómez et al., 2021).

A.1. EVALUACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA CÁSCARA DE TUNA

Se evaluaron las siguientes características:

- pH: El pH se midió en un potenciómetro (Thermo Scientific - Orion Versastar Pro), según la metodología descrita en la AOAC (1990).
- Sólidos solubles (°Brix): Los °Brix se midieron en un refractómetro (Milwaukee, MA871), según la metodología descrita en la AOAC (1990).
- Acidez: La acidez titulable se cuantificó homogenizando 10 g de cáscara con 90 mL de agua mili Q. La muestra fue filtrada y se ajustó a pH 8.2 añadiendo NaOH 0.1 N contenido en una bureta automática. Los resultados fueron expresados como g ácido cítrico 100 /g de cáscara (Bolaños et al., 2012). Para ello se empleó la siguiente formula:

$$\%acidez\ titulable = \left(\frac{N * Meq * F}{m}\right) * 100$$

Donde:

N: Normalidad NaOH

Meq: Peso equivalente del ácido cítrico 0.06404

F: Volumen utilizado en mL del NaOH

m: Peso de la muestra en g

- Humedad: Se realizó la medición de humedad según la metodología descrita en la AOAC (1990), por dos métodos:
  - Método convencional (estufa)
  - Analizador de humedad (Fisher Scientific, MX-50)

B. PROCESO DE EXTRACCIÓN

B.1. Extracción por ultrasonido

Los parámetros de proceso se establecieron basándose en anteriores investigaciones reportadas por Amrane et al., (2018) con algunas modificaciones. Las muestras congeladas de cáscara de tuna se trituraron con un picador Universal (Ergomixx 800 W, Bosch MS6CA4120) por 30 segundos, hasta obtener un menor tamaño de partícula. Luego se pesó ~24 g de la muestra acondicionada y se añadió el solvente (agua mili Q). Posteriormente se sometió a 30°C por 20 minutos en un sistema de ultrasonido con sonda (CY-500, Optic Ivymen Systems™). Después, los extractos obtenidos se centrifugaron a 4000 rpm por 10 minutos en una centrífuga (Centurion Scientific, Pro-analityt.C2004) y el sobrenadante se filtró con papel filtro. Las condiciones anteriormente mencionadas permitieron obtener extractos con una relación muestra sólida: volumen de extracto de 1:32.5. Y finalmente, los extractos crudos fueron envasados en viales ámbar y almacenados a -20 °C hasta su posterior análisis.

C. CARACTERIZACIÓN DE EXTRACTOS

C.1. Determinación del contenido de polifenoles

El contenido de polifenoles totales de los extractos de cáscara de tuna se determinó por el método de Folin-Ciocalteu de Singleton y Rossi, (1965) y adaptado por Amrane et al., (2023). Se mezcló un volumen de 1500 µL del Reactivo de Folin diluido 1/10 con 500 µL de extracto de cáscara. Se dejó reaccionar por 5 minutos y luego se añadió 1500 µL de carbonato de sodio (6% p/v). Luego la mezcla se dejó en reposo por 1 h a temperatura ambiente y la absorbancia se lecturó a 750 nm (Espectrómetro UV-Vis Genesys 150, Thermofisher, San Jose, CA, USA). Los resultados fueron expresados en mg EAG (equivalente de ácido gálico) por gss (gramo de sólido seco).

Se elaboró la curva de calibración a partir de una solución stock (10 mg/mL) de ácido gálico (Anexo 1).

C.2. Determinación de la capacidad antioxidante

C.2.1. Determinación de la capacidad antioxidante por DPPH

La capacidad antioxidante de los extractos se determinó por el método de inhibición del radical DPPH desarrollado por Brand-Williams et al., (1995). En una placa de 96 pocillos se mezcló 140 µL de extracto diluido con 140 µL de solución metanólica DPPH (0,3 mM), luego la solución se incubó a temperatura ambiente en oscuridad por 45 min. Posteriormente, se lecturo a 517 nm en un lector de microplacas (Synergy/HTX, Biotek Instruments Inc). A la vez, se usó como blanco 140 µL de metanol más 140 µL del solvente de extracción (agua mili Q) y como parte del control 140 µL de solución DPPH más 140 µL de metanol. Los resultados se expresaron en CI_{50} (mg/mL), concentración de extracto efectivo necesario para inhibir el 50% de la actividad del radical DPPH.

C.2.2. Determinación de la capacidad antioxidante por ORAC

La capacidad antioxidante por el método ORAC (Capacidad de Absorción de radicales de Oxígeno) de los extractos se realizó de acuerdo a la metodología desarrollada por Chirinos et al., (2013). Primero se preparó la solución buffer fosfato (PBS) a 75 mM, pH 7,4; para ello se mezcló fosfato dibásico de potasio con fosfato monobásico de potasio, lo cual se empleó para la dilución de los demás reactivos. Seguidamente se preparó la fluoresceína 55 nM, la solución Trolox 0,0002 M la cual se empleó para hacer una curva de calibración Trolox a 8, 16, 24, 32 y 40 µM, y por último se preparó el APPH 153 mM. Posteriormente, en una placa de 96 pocillos de color negro se añadió 25 µL de muestra, las diluciones Trolox y el blanco (PBS). La placa se insertó en el lector de microplacas (Thermo Scientific, Fluoroskan 5200112) y se incubó por 10 min a 37 °C antes de la inyección automática de fluoresceína y AAPH. Los valores finales de ORAC se expresaron como µmol ET/gss (micromol equivalente a Trolox por gramo de sólido seco).

C.3. Determinación del perfil de polifenoles

La cuantificación del perfil de polifenoles se realizó según el método descrito por Briliantama et al., (2022) con algunas modificaciones , en un sistema UHPLC (cromatógrafo líquido de ultra alta performance)(Agilent 1290 Infinity II, USA) con detector de arreglo de diodos (DAD). Para la extracción de fase sólida, cartuchos SPE SiliaPrep C18 5 mL, 500 mg (Silicycle, Québec, Cánada) se activaron con 10 mL de metanol grado HPLC y seguidamente de 10 mL de agua Mili Q. Posteriormente se añadió 25 mL del extracto con una presión de vacío moderada. Luego, para eluir los analitos retenidos en los cartuchos se usó 5 mL de metanol, se filtraron los extractos eluidos a través de un filtro de jeringa de 0,22 µm y se almacenó en viales ámbar. Después, 2 µL de las muestras se inyectaron en un cromatografo líquido de ultra alta performance. Para la separación se usó una columna analítica a InfinityLab (Agilent, USA) Poroshell EC-C18 (2,1 mm × 150 mm x 1,9 µm) a 30 °C. La fase móvil estuvo conformada por solvente (A) agua Mili Q más 0,1% de ácido fórmico y solvente (B) acetonitrilo más 0,1% de ácido fórmico, utilizando una elución de gradiente: 0 min 95% A – 5% B, 15 min 60% A – 40% B y 18 min 95% A – 5% B a un caudal de 0.3 mL/min. Finalmente, los análisis de llevaron a cabo por triplicado y los resultados fueron expresados en µg del polifenol específico por gramo de sólido seco (µg/gss).

D. MICROENCAPSULACIÓN

La microencapsulación se realizó utilizando el método descrito por Sampaio et al. (2019) con algunas modificaciones. Al extracto de cáscara de tuna se añadió los agentes encapsulantes, el alginato de sodio (1, 2 y 3% p/v) y la pectina de bajo metoxilo (3, 4 y 5% p/v), y la solución se mantuvo en agitación a 35 °C hasta disolución completa de los encapsulantes (5 h aproximadamente). Estas concentraciones de agente encapsulante se eligieron en base a pruebas preliminares como las concentraciones mínimas necesarias para formar microcápsulas esféricas (observadas visualmente). Posteriormente, la mezcla obtenida, se depositó en una jeringa de 5 mL y se dejó caer por goteo en un vaso de precipitado conteniendo 50 mL de $CaCl_2$ al 7 %, la altura entre la punta de la jeringa y la solución fue de 5 cm, la cual se mantuvo en agitación a 350 rpm durante 30 segundos (tiempo de

endurecimiento). Finalmente, se filtraron las microcápsulas y se almacenaron en oscuridad a 4 °C para su posterior análisis y uso.

D.1. Análisis del encapsulado

D.1.1. Tamaño y morfología de partícula

La morfología de las microcápsulas se realizó utilizando el método descrito por Sampaio et al. (2019) con algunas modificaciones. Para ello se tomó una parte de las capsulas húmedas y se transfirieron a una estufa a 60°C por 24 horas, con la finalidad de obtener microcápsulas secas. Se prepararon las muestras colocándolas en un stup de aluminio (soporte) y se recubrieron con una cinta doble cara de carbono para fijar más las muestras. Posteriormente se recubrió las muestras con oro por pulverización catódica con el equipo metelizador (Quorum, Q150R ES Plus) durante 2 minutos. Finalmente, las muestras fueron analizadas por un microscopio electrónico de barrido (Thermo Scientific, modelo Scios 2 Dual Beam), el ensayo se realizó con el detector ETD a una distancia de trabajo de 5.00 - 45.00 mm. El análisis se realizó operando a 20.00 Kv y las magnificaciones se realizaron de 80x a 15 000x.

Para el tamaño de partícula se realizó la medición de 35 cápsulas tomadas al azar con un Vernier de precisión 0,05 mm.

D.1.2. Caracterización de cápsulas

La caracterización se realizó utilizando el método descrito por Muchiutti et al. (2019) con algunas modificaciones. Para ello se disolvió 1 g de cápsula húmeda en citrato de sodio (5 % p/v) en un agitador a 37 °C y 200 rpm hasta la disolución completa de las cápsulas (1 h con 30 min aproximadamente). Posteriormente se cuantificó el contenido de polifenoles totales, perfil de polifenoles y capacidad antioxidante; de acuerdo a las metodologías anteriormente descritas.

D.1.3. Eficiencia de encapsulación (EE) de polifenoles totales

La eficiencia de encapsulación se calculó empleando la siguiente ecuación:

$$EE(\%) = \frac{CPT_{microcápsulas}}{CPT_{extracto}} X\ 100$$

Donde $CPT_{microcápsulas}$ representa el contenido total de polifenoles encapsulados en microcápsulas y $CPT_{extracto}$ representa el contenido total de polifenoles de los extractos de cáscara de tuna utilizados en el proceso de obtención de las microcápsulas.

3.6. Análisis de datos

Para la microencapsulación, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) de 2 (encapsulante: pectina y alginato) x 3 (concentraciones de encapsulante) con 2 repeticiones con la finalidad de evaluar el efecto de los factores estudio sobre las variables respuesta (polifenoles totales, capacidad antioxidante, perfil de polifenoles, eficiencia de encapsulación y tamaño y forma de los encapsulados). El programa utilizado fue el Statgrafics Centurion XVI.I versión 2012, donde los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y las pruebas de comparación de medias se realizó mediante la prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos permiten definir su composición, calidad y pureza, (Clogston & Patri, 2013). De acuerdo con nuestros resultados, los valores de pH, Brix y humedad se encuentran dentro de los rangos rexportados por otros autores (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis fisicoquímicos en cáscara de tuna roja

Análisis	Cáscara de tuna roja
pH	5,35 ± 0,02
°Brix	14,5 ± 0,28
Acidez (% ácido cítrico)	0,027 ± 0,00
Humedad (%)	84,83 ± 1,26

La tabla presenta el promedio ± la desviación estándar (n = 3).

Bourhia et al., (2019) reportaron en cáscaras de tuna frescas valores de pH entre 5,13 a 5,32; °Brix de 14,69 a 15,80 y acidez titulable de 0,130 a 0,196 de ácido cítrico/100 g de materia. Mientras, Gosh et al., (2021) determinaron valores de pH de 5,48; °Brix de 13,02 y acidez como % de ácido cítrico en 0,03 a partir de cáscaras de tuna púrpura. Bolaños et al., (2012) analizó siete variedades de tuna color rojo-púrpura cuyos valores en pH fueron de 5,57 y 5,75; °Brix 10,03 y 11,97 y acidez titulable 0,032 y 0,021 g ácido cítrico/100 g.

Con respecto a la humedad, Ettalibi et al., (2020) estudiaron las características fisicoquímicas de tres variedades de cáscara de tuna donde obtuvieron valores de humedad entre 81,59 % a 83,47 %. Asimismo, Choque et al., (2023) obtuvieron un valor de 82,72% en frutos de tuna morada.

4.2. Análisis químicos de los extractos obtenidos a partir de cáscara de tuna

El contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante se muestran en la Tabla 10. Al respecto, Mamani- Pari et al., (2024) realizaron la extracción en cáscara de tuna roja por ultrasonido utilizando como solvente agua a 30°C, obteniendo un valor de polifenoles totales de 8,63 mg EAG/ gss, así como valores de capacidad antioxidante por DPPH (4,29 mg/mL) y ORAC (432,86 umol/gss). Si bien existen

diferencias entre los resultados reportados, la composición de los frutos de tuna varía dependiendo de los factores edáficos en el sitio de cultivo, la estación y la edad de la planta, por ende, los valores de capacidad antioxidante y polifenoles podrían variar de acuerdo a la especie y variedad (Boutakiout et al., 2018). El uso de ultrasonido como medio de extracción permite que las ondas ultrasónicas rompan las paredes celulares, mejorando la transferencia de masa y facilitando la liberación de polifenoles (Mehta et al., 2024).

Tabla 10. Contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante en extractos de cáscara de tuna roja

Análisis	Extracto de cáscara de tuna roja
Contenido de polifenoles totales (mg EAG/gss)	7,95 ± 0,39
Capacidad antioxidante	
DPPH (mg/mL)	18,44 ± 0,59
ORAC (umol ET/gss)	115,37 ± 3,15

La tabla presenta el promedio ± la desviación estándar (n = 3).

4.3. Perfil de polifenoles

En la cuantificación de compuestos fenólicos mediante cromatografía liquida permitió identificar 7 compuestos fenólicos (Tabla 11). El ácido gálico fue el polifenol más abundante con 26,64 ug/gss, seguidos por la epicatequina (19,65 ug/gss) y rutina (16,41 ug/gss). Contrariamente, la Procianidina B2 fue el polifenol presente en menor concentración con 1,31 ug/gss. Al respecto, Iftikhar et al. (2023) mencionan que el compuesto fenólico más predominante en el fruto entero de la tuna es el ácido gálico (84,74 µg/g), así como otros polifenoles tales como ácido siríngico (23,54 µg/g), rutina (7,43 µg/g) y la quercitina (3,41 µg/g). Similarmente, Abou-Zaid et al., (2022) también obtuvieron como ácido fenólico más predominante al ácido gálico en cáscaras de tuna roja. Interesantemente, Mamani-Pari et al. (2024) bajo las mismas condiciones de extracción en cáscaras de tuna roja obtuvieron como flavanol más predominante a la Procianidina A2 (36,51 µg/gss) seguido de la catequina (11,83 µg/gss) y como flavonol mayoritario se tuvo a la quercitina (96,00 µg/gss). Las diferencias a la muestra en estudio se deben a la zona de recolección y las labores culturales. Esto considerando que existen diversos factores que pueden influir en la biosíntesis y acumulación de metabolitos

secundarios tales como factores genéticos/cultivares, prácticas agronómicas y condiciones ambientales /climáticas (Aruwa et al., 2019).

Tabla 11. Perfil de polifenoles en extractos de cáscara de tuna roja

Descripción	Extracto de cáscara de tuna roja
	Promedio ± DE
Ácidos fenólicos (µg/gss)	
Ácido gálico	26,64 ± 2,13
Ácido vanilico	ND
Subtotal	26,64
Estilbenos (µg/gss)	
Resveratrol	ND
Flavanoles (µg/gss)	
Catequina	13,43 ± 1,08
Procianidina A2	6,13 ± 0,49
Procianidina B2	1,31 ± 0,10
Epicatequina	19,65 ± 1,57
Subtotal	40,52
Flavonoles (µg/gss)	
Rutina	16,41 ± 1,31
Kaempferol	ND
Quercetina	9,52 ± 0,76
Subtotal	25,93
Flavona (µg/gss)	
Apeginina	ND
Feniletanoides (µg/gss)	
Hidroxitirosol	ND
Secoiridoides (µg/gss)	
Oleopeurina	ND

El perfil de polifenoles de los extractos de cáscara de tuna esta expresado en microgramos por gramos de sólido seco. El promedio es el resultado de 2 repeticiones. ± representa la desviación estándar (n=2). Los coeficientes de variación son menores al 10 % para todos los tratamientos. ND: No detectado.

4.4. Microencapsulación

4.4.1. Análisis del encapsulado

A. Morfología y tamaño de partícula

En general, las microcápsulas en estado húmedo exhibieron una forma circular-esférica con excepción del alginato de sodio al 3% que presento una forma tipo lágrima (Figura 12): Probablemente, el incremento de la

concentración de alginato del 2 al 3% incrementa la viscosidad generando una solución muy espesa y viscosa, por lo que se requiere una mayor fuerza para la generación de gotas a través de la jeringa (Belščak et al., 2015). Esto concuerda con la investigación de Wissam & Samer (2019), quienes al emplear concentraciones de alginato al 1 y 2% obtuvieron perlas esféricas y al 3% se formaron perlas con colas distintivas.

Luego durante el proceso de secado, las microcápsulas obtenidas (Figura 10 – 15) mostraron una superficie rugosa con presencia de grietas y algunos poros, esta morfología fue similar a las reportadas por Otárola et al. (2016) y Dallabona et al. (2020). La formación de poros y grietas está relacionada con la expansión de las partículas por el efecto de la temperatura, velocidad de secado y la viscosidad del encapsulante (Colín-Cruz et al., 2019). El proceso de secado promueve la deformación de las microcápsulas a causa de la pérdida de agua, debilitando la estructura del gel de la matriz, produciendo la contracción y el colapso de la superficie de las microcápsulas (Sampaio et al., 2019). Al respecto, Živković et al., (2020), produjeron microcápsulas mediante gelificación iónica de extractos de hojas de Stevia y orujo de Aronia, las cuales en estado húmedo fueron casi esféricas; sin embargo, después de secarlas a una masa constante, se perdió su esfericidad con la aparición de grietas y poros.

Por otro lado, Jansen et al. (2019), menciona que la presencia de grietas podría interferir en la protección de los compuestos activos, favoreciendo la transferencia de oxígeno.

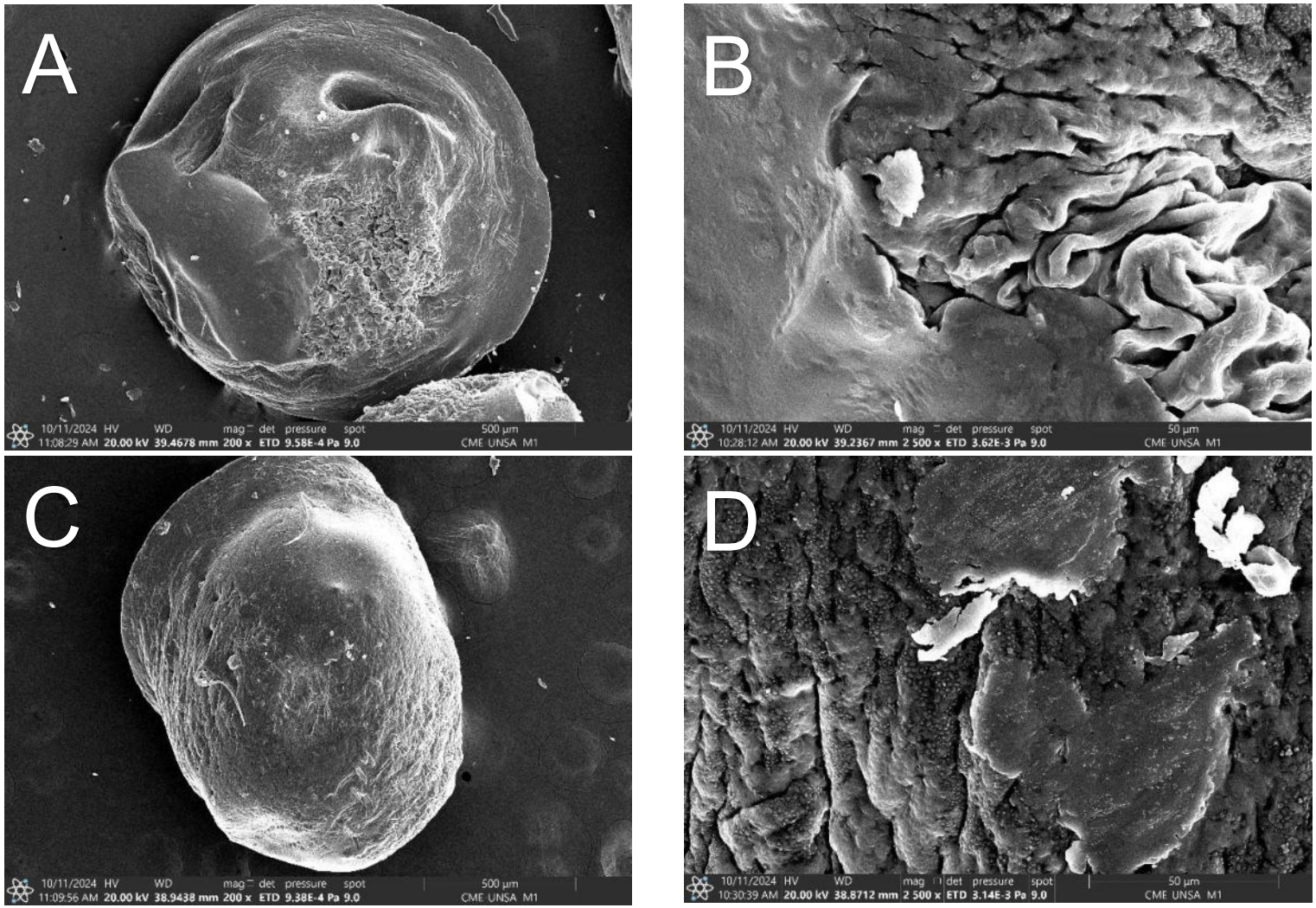


Figura 10: *Micrografías SEM de microcápsulas de alginato 1% magnificación 200× (A y C) y 2500x (B y D)*

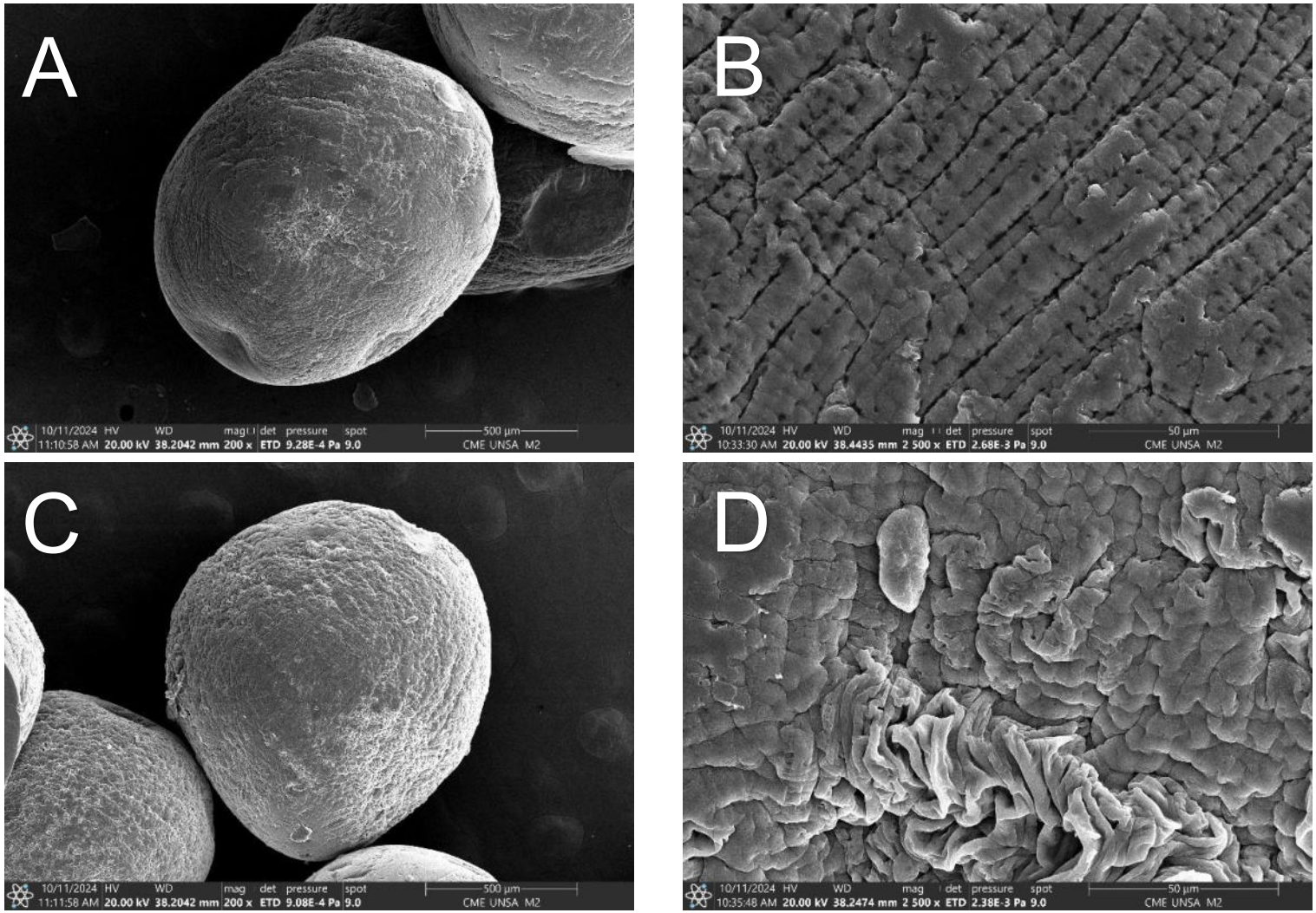


Figura 11: *Micrografías SEM de microcápsulas de alginato 2% magnificación 200× (A y C) y 2500x (B y D)*

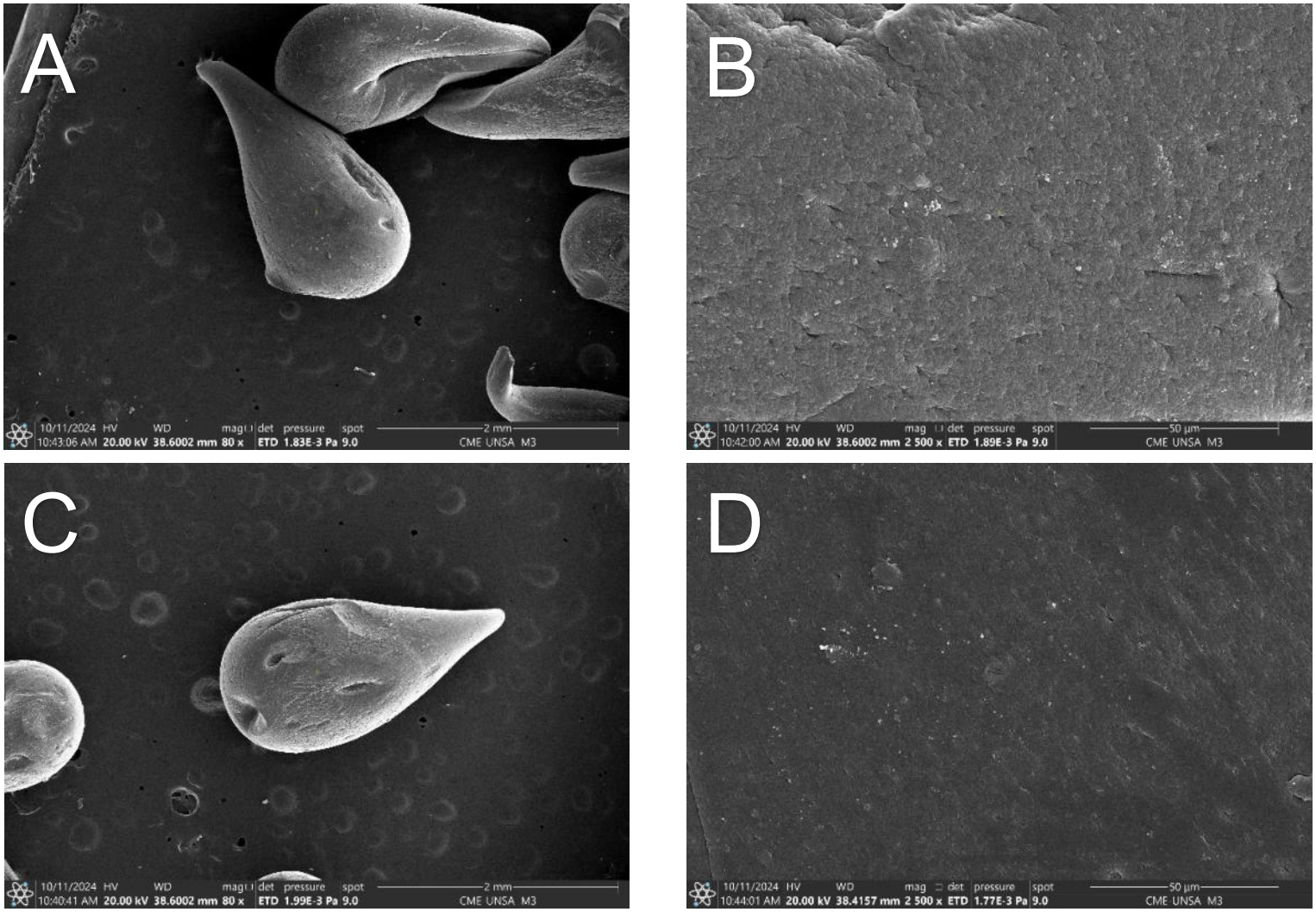


Figura 12: *Micrografías SEM de microcápsulas de alginato 3% magnificación 80× (A y C) y 2500x (B y D)*

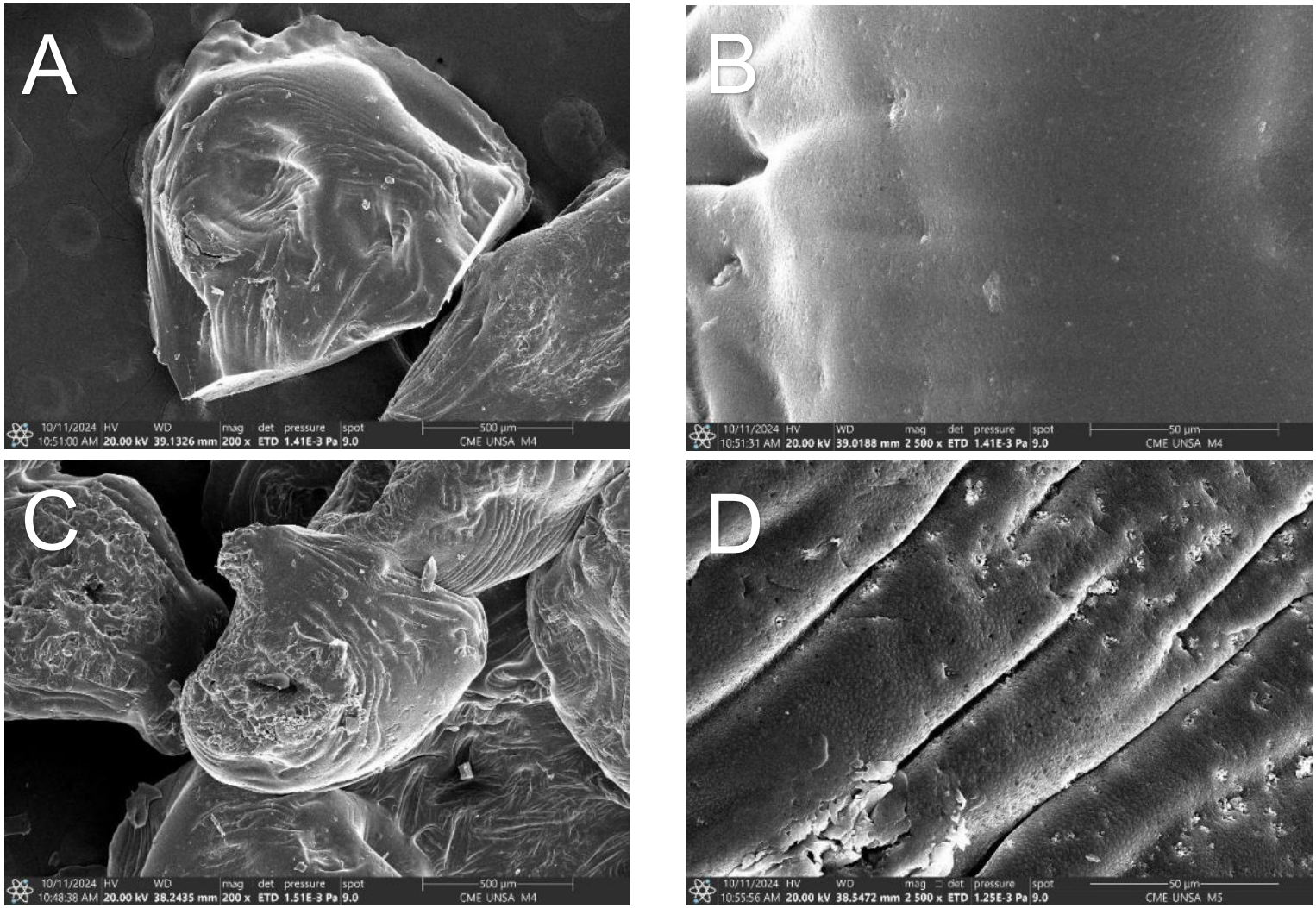


Figura 13: *Micrografías SEM de microcápsulas de pectina 3% magnificación 200× (A y C) y 2500x (B y D)*

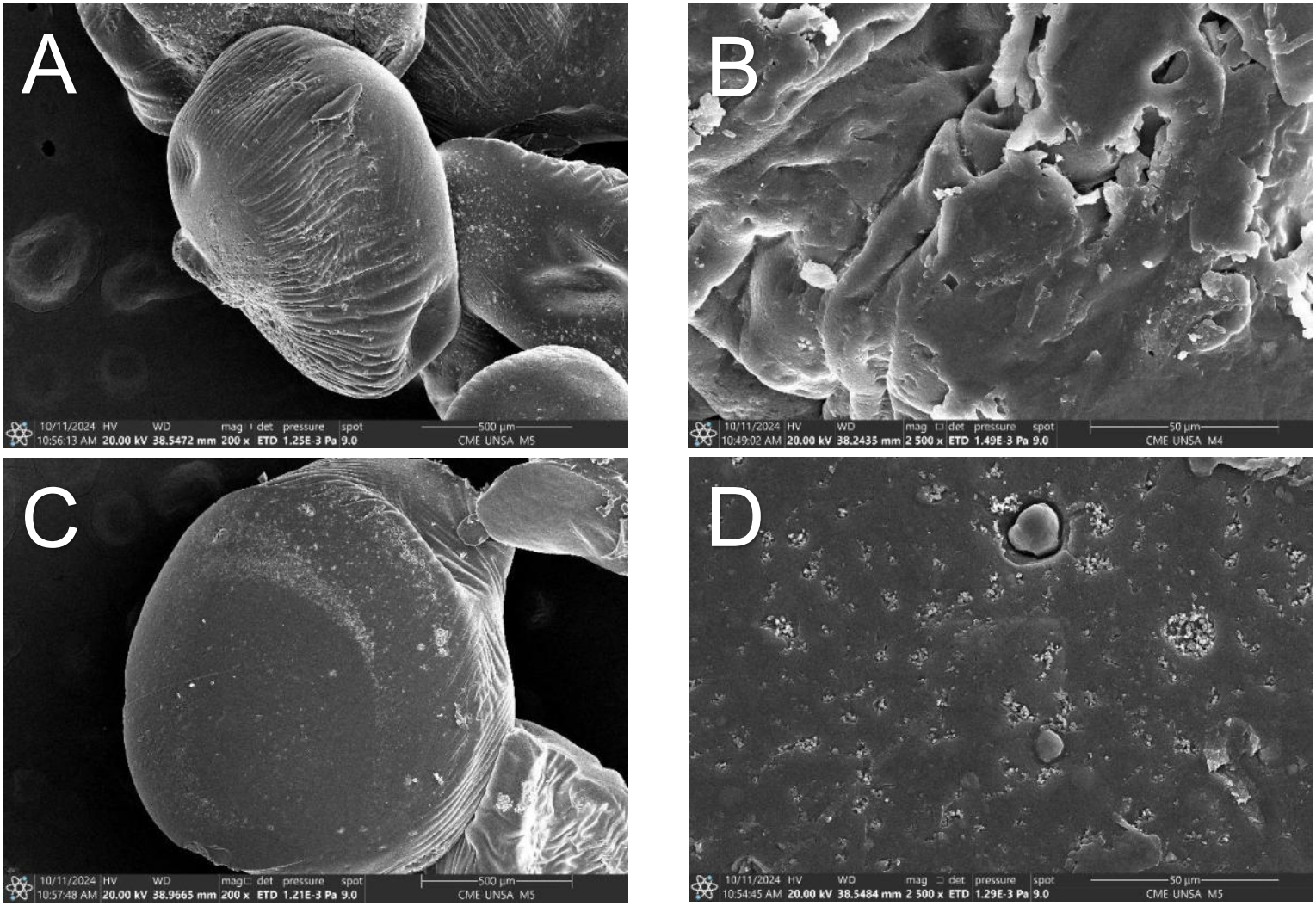


Figura 14: *Micrografías SEM de microcápsulas de pectina 4% magnificación 200× (A y C) y 2500x (B y D)*

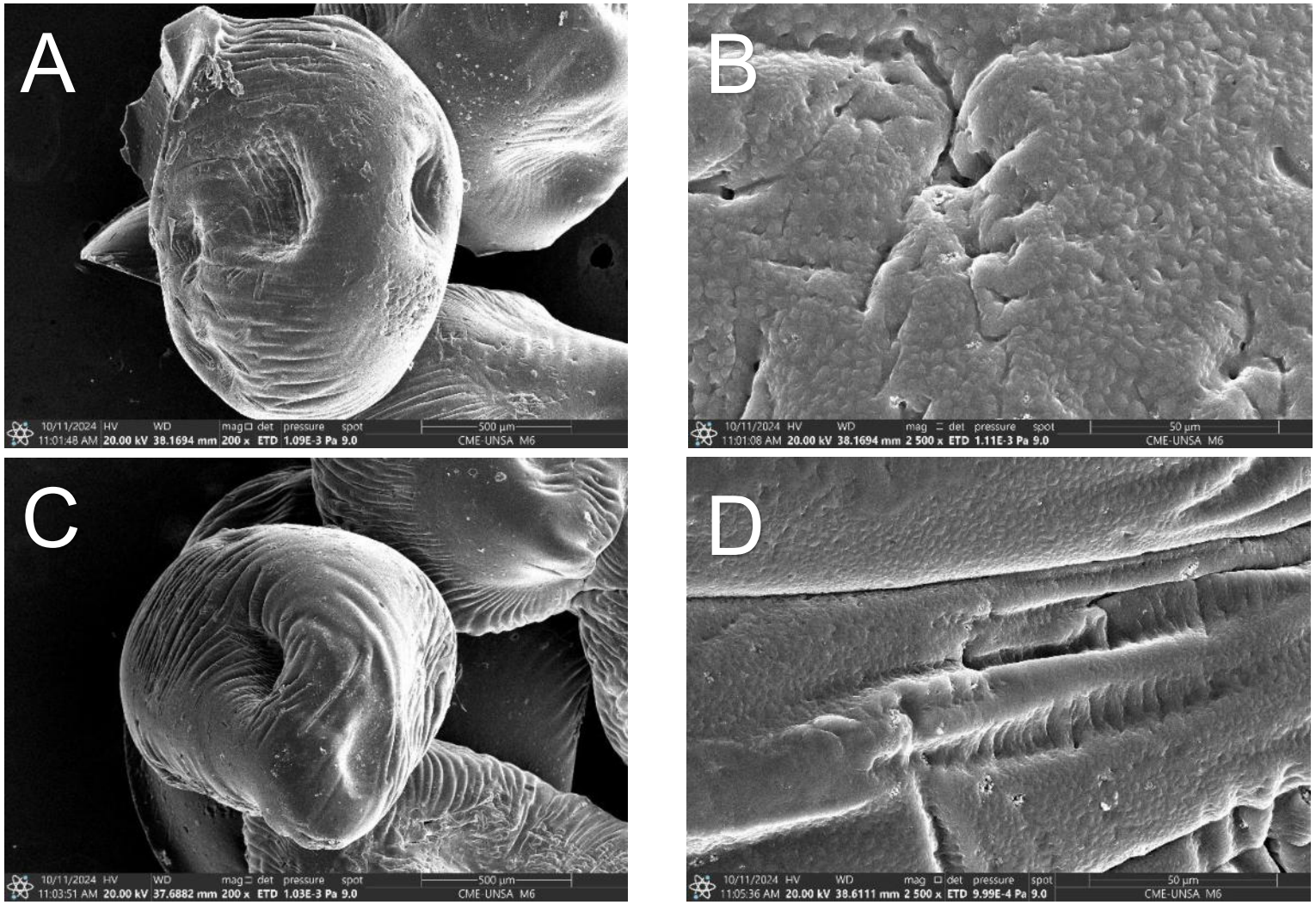


***Figura 15**: Micrografías SEM de microcápsulas de pectina 5% magnificación 200× (A y C) y 2500x (B y D)*

Los diámetros de las cápsulas de alginato al 3% fueron 1.4 veces más grandes que las cápsulas al 1% de alginato. Mientras, las cápsulas de pectina al 5% fueron 1.36 veces más grandes que las cápsulas al 3% de pectina (Tabla 12). Esta diferencia se debe a que la concentración de agente encapsulante afecta directamente el tamaño de partícula, a una mayor concentración se incrementa la viscosidad, y, por ende, se producen partículas con diámetros más grandes (Machado et al., 2022). Además, de acuerdo a Ribeiro et al. (2019), la denominación que reciben las cápsulas con un diámetro entre 1 a 5 mm es de microcápsulas.

Tabla 12. Tamaño de microcápsulas de alginato y pectina

Agente encapsulante		Diámetro (mm)
Alginato de sodio	1 %	1,93 ± 0,07
	2 %	2,27 ± 0,21
	3 %	2,70 ± 0,20
Pectina de bajo metoxilo	3 %	1,98 ± 0,06
	4 %	2,19 ± 0,17
	5 %	2,70 ± 0,24

La tabla presenta el promedio ± la desviación estándar (n = 3).

Resultados similares han sido reportados por otros autores Narin et al., (2020), quienes produjeron cápsulas de alginato al 1% con un diámetro de 1,66 mm; Li et al., (2021), obtuvieron cápsulas de alginato al 2% de tamaño uniforme con un diámetro promedio de 2,66 mm; Cortes-Camargo et al., (2023), evaluaron el alginato de sodio (SA) y dos mezclas de SA - mucílago de semilla de tamarindo (SA-TSM) como encapsulantes donde el tamaño medio de partícula de las perlas de hidrogel varió entre 2,09 y 2,91 mm. No obstante, el tamaño de partícula depende del diámetro de la aguja, la viscosidad de la mezcla, la homogeneización y la distancia entre su salida y la solución endurecedora (cloruro de calcio) (Etchepare et al., 2015).

En el caso de la pectina, Sampaio et al., (2019), evaluaron la pectina al 4% en un proceso de gelificación iónica para encapsular licopeno de sandía donde el diámetro promedio fue de 2,93 mm. Mientras, Silveira et al., (2023), evaluaron el efecto del tamaño de las cápsulas en la retención de extracto de granada en cápsulas de pectina, donde el tamaño promedio fue de 2,762 mm. Mayormente, en la pectina se han hecho mezclas con otros encapsulantes para mejorar la eficiencia de encapsulación y retención de

compuestos activos (Belščak et al., 2015; Norcino et al., 2022; Singh, et al., 2018).

B. Caracterización de microcápsulas

B.1. Polifenoles totales

Para el alginato de sodio, el uso de 1, 2 y 3 % permitió obtener un contenido de polifenoles totales de 4,25; 3,18 y 2,47 mg EAG/gss (Figura 16). Por ello, la mejor condición fue establecida con el uso del 1% de alginato. Si bien no existen reportes de encapsulados de extractos de cáscara de tuna roja, hay algunas investigaciones sobre la recuperación de compuestos activos utilizando alginato como encapsulante. Por ejemplo, Stoica et al., (2013), encapsuló polifenoles de *rosa canina (*escaramujos o rosal) con alginato al 2 y 3 %, su mejor condición fue al 2% de alginato. Por otro lado, Narin et al., (2020) investigaron el efecto de diferentes concentraciones de alginato al 1; 1,5 y 2 %; siendo el 1 % la concentración con mayor presencia de compuestos bioactivos.

Por otro lado, Bajpai & Tankhiwale (2006), mencionan que durante la encapsulación el tiempo es un factor que puede afectar la capacidad de retención de compuestos bioactivos, porque tiempos mayores de 11 min pueden desestabilizar la red estructural que protege a estos compuestos. Por ello, diversos investigadores mencionan que para mantener y/o preservar el mayor contenido de compuestos bioactivos se deben utilizar mezclas de encapsulantes puede aumentar la capacidad de encapsulación de los polifenoles y extender su liberación en condiciones de digestión simulada (Li, et al., 2021; Ćorković et al., 2021).

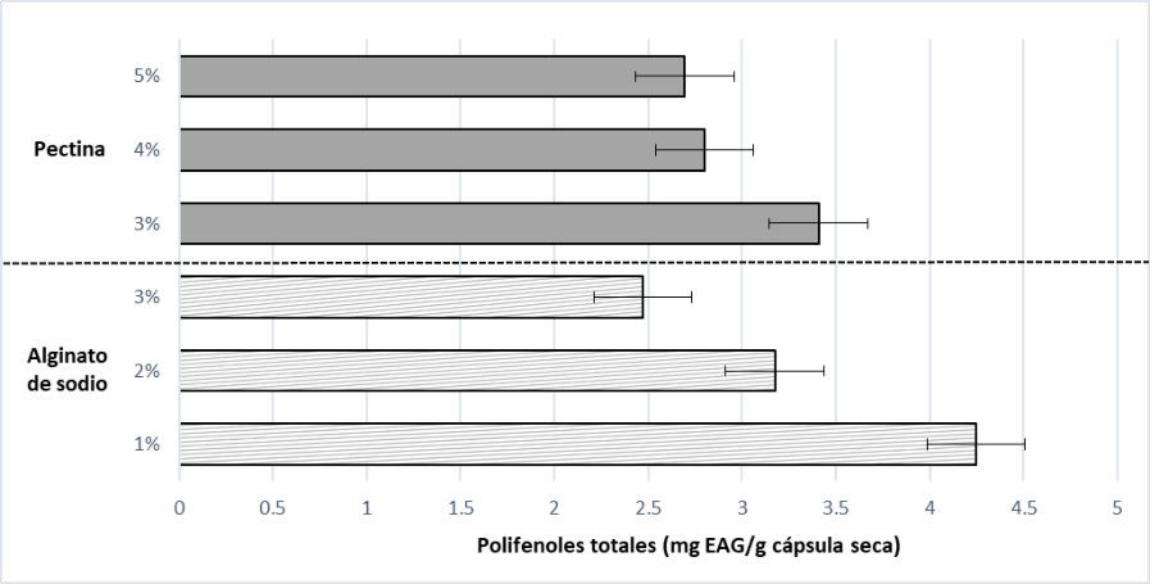


Figura 16: *Contenido de polifenoles totales en microencapsulados*

Para la pectina, empleando concentraciones del 3, 4 y 5 % permitió obtener un contenido de polifenoles totales de 3,41; 2,80 y 2,69 mg EAG/gss (Figura 16). La mejor condición fue al 3%. El mecanismo de gelificación de la pectina depende de factores como la concentración de la pectina, la concentración de iones divalentes, el pH, la temperatura y el tipo y la concentración de sólidos solubles (Yuliarti et al., 2017). La pectina de bajo metoxilo como material de pared produce microcápsulas con una estructura suave y un alto contenido de humedad por lo que su estabilidad es limitada y podría conducir a futuro a la pérdida de compuestos bioactivos (Budin et al., 2023).

En este sentido, comparando los dos encapsulantes, las partículas producidas con alginato de sodio al 1% fueron 1.25 veces más efectivas que las producidas con pectina al 3%. Por ello, el alginato es el encapsulante mayormente usado para microencapsular debido a que presenta una capacidad para formar un gel más fuerte en presencia de calcio (Chew & Nyam, 2016).

B.2. Capacidad antioxidante (ORAC)

La capacidad antioxidante está directamente relacionada con el contenido de polifenoles totales. (Aguirre et al., 2018). Para el alginato de sodio, el uso de concentraciones de 1, 2 y 3 % de alginato permitió obtener una capacidad antioxidante en valores de ORAC de 81,11; 78,64 y 68,24 µmol ET /gss, respectivamente (Figura 17). Entonces, las bajas concentraciones de alginato mejoran la capacidad antioxidante. De manera similar, el uso de pectina al 3, 4 y 5 % permitió obtener una capacidad antioxidante de 64,91; 62,23 y 62,22 µmol ET /gss (Figura 17). El análisis ORAC mide la capacidad global de los antioxidantes para neutralizar los radicales peróxilo (Bevan et al., 2023). No obstante, las partículas producidas con alginato de sodio al 1% permitió mejorar la capacidad de inhibición de radicales libres de los encapsulados siendo más efectivo que las producidas con pectina al 3%.

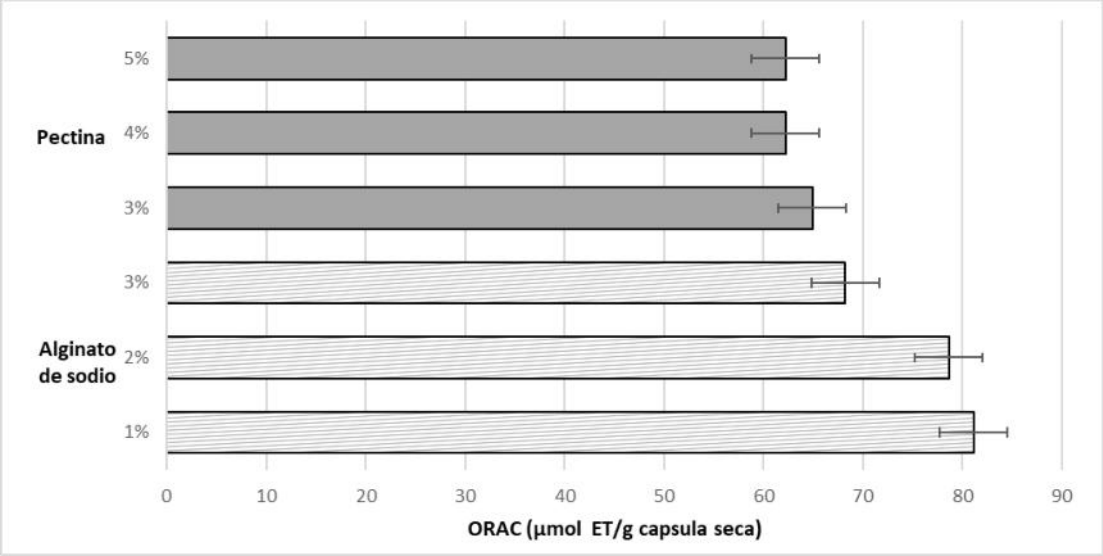


Figura 17: *Capacidad antioxidante ORAC en microencapsulados*

B.3. Perfil de polifenoles

Tabla 13. Perfil de polifenoles en microencapsulados a partir de extractos de cáscara de tuna roja

Descripción	Alginato de sodio			Pectina		
	1%	2%	3%	3%	4%	5%
Ácidos fenólicos (µg/gss)	**Promedio ± DE**	**Promedio ± DE**	**Promedio ± DE**	**Promedio ± DE**	**Promedio ± DE**	**Promedio ± DE**
Ácido gálico	1,44 ± 0,45	2,08 ± 0,13	7,56 ± 0,96	1,05 ± 0,10	1,37 ± 0,05	1,66 ± 0,18
Ácido vanilico	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Subtotal	1,44	2,08	7,56	1,05	1,37	1,66
Flavanoles (µg/gss)						
Catequina	5,57 ± 1,42	7,51 ± 0,55	10,02 ± 1,28	0,22 ± 0,04	0,30 ± 0,01	0,34 ± 0,07
Procianidina A2	2,03 ± 0,13	2,02 ± 0,05	2,58 ± 0,33	ND	ND	ND
Procianidina B2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Epicatequina	4,03 ± 0,66	4,07 ± 1,30	12,48 ± 1,59	0,60 ± 0,26	0,50 ± 0,02	0,93 ± 0,40
Subtotal	11,63	13,60	25,07	0,81	0,80	1,27
Flavonoles (µg/gss)						
Rutina	2,67 ± 0,28	2,75 ± 0,09	5,02 ± 0,64	1,71 ± 0,23	2,27 ± 0,08	2,69 ± 0,40
Kaempferol	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quercetina	1,45 ± 0,15	1,79 ± 0,00	2,55 ± 0,32	0,51 ± 0,07	0,69 ± 0,02	0,81 ± 0,12
Subtotal	4,12	4,54	7,56	2,22	2,96	3,49

El promedio es el resultado de 2 repeticiones. ± representa la desviación estándar (n=2). Los coeficientes de variación son menores al 10 % para todos los tratamientos. ND: No detectado

B.3.1. Ácidos fenólicos

Un incremento en la concentración de alginato del 1 al 3% permitió recuperar 5.25 veces más ácido gálico (Tabla 13). Probablemente, el incremento de la concentración de alginato de sodio afecta el contenido y liberación de los ácidos fenólicos en la solución, debido a que el gel es más denso y retiene fuertemente estos compuestos (Essifi et al.,2021). Similarmente, los incrementos de pectina del 3 al 5% recuperan un 58% más ácido gálico (Tabla 13). No obstante, comparando ambos polímeros, en la pectina se encontraron los valores más bajos en ácidos fenólicos a comparación con el alginato. Esto debido a que los ácidos fenólicos interactúan con la pectina por medio de enlaces de hidrógeno, fuerzas de van der Waals, interacciones hidrofóbicas y electrostáticas lo cual provoca la disminución de polifenoles libres y cambios en su grupo activo (Hu et al., 2023).

B.3.2. Flavanoles

El uso de alginato al 3% recupero 19.74 veces más la recuperación de flavanoles totales que la pectina al 5%. Además, el alginato recupero altas concentraciones de catequina, Procianidina A2 y epicatequina (Tabla 13). Interesantemente, catequina fue el flavanol mayoritario. Entonces, contrario al comportamiento de los ácidos fenólicos, el incremento en la concentración de alginato de sodio podría mejorar el rendimiento de encapsulación de los flavonoides (Essifi et al., 2021).

B.3.3. Flavonoles

Rutina y quercetina fueron los flavonoles cuantificados en los encapsulados de alginato y pectina. Al igual que en los flavanoles, los flavonoles obtenidos con el alginato de sodio se vieron favorecidos al aumentar la concentración del 1 al 3 % (Tabla 13). Mientras, los incrementos en la concentración de pectina de 3 a 5% mejoró en 57% y 59% la recuperación de rutina y quercetina, respectivamente (Tabla 13). Contrario al comportamiento del contenido de polifenoles donde se veía que las bajas concentraciones ayudaban a la recuperación de estos compuestos, en el análisis se ve que las altas concentraciones favorecen el contenido de polifenoles específicos.

C. Eficiencia de encapsulación (EE) de polifenoles totales

Para el alginato de sodio, empleando concentraciones del 1, 2 y 3 % permitió obtener eficiencias de encapsulación de 53,40; 39,93 y 31,07% (Figura 18). La mejor condición fue al 1%. Entonces, a menores concentraciones mejor es la eficiencia de los encapsulados. Similares resultados fueron obtenidos por Tzatsi & Goula (2021), quienes encapsularon extractos de bayas de aronia con concentraciones de alginato del 2 al 4 %, teniendo una mejor eficiencia de encapsulación al 2%. Mientras, Kim et al., (2016), también obtuvieron bajas eficiencias del 29 al 41% para microcápsulas de alginato cargadas de catequina preparadas por gelificación en emulsión con aceite de girasol. Probablemente, una mayor concentración incrementa la viscosidad e intensifican la estructura porosa de las cápsulas, reduciendo el diámetro medio de las gotas y la eficiencia de encapsulación (Leal et al., 2023).

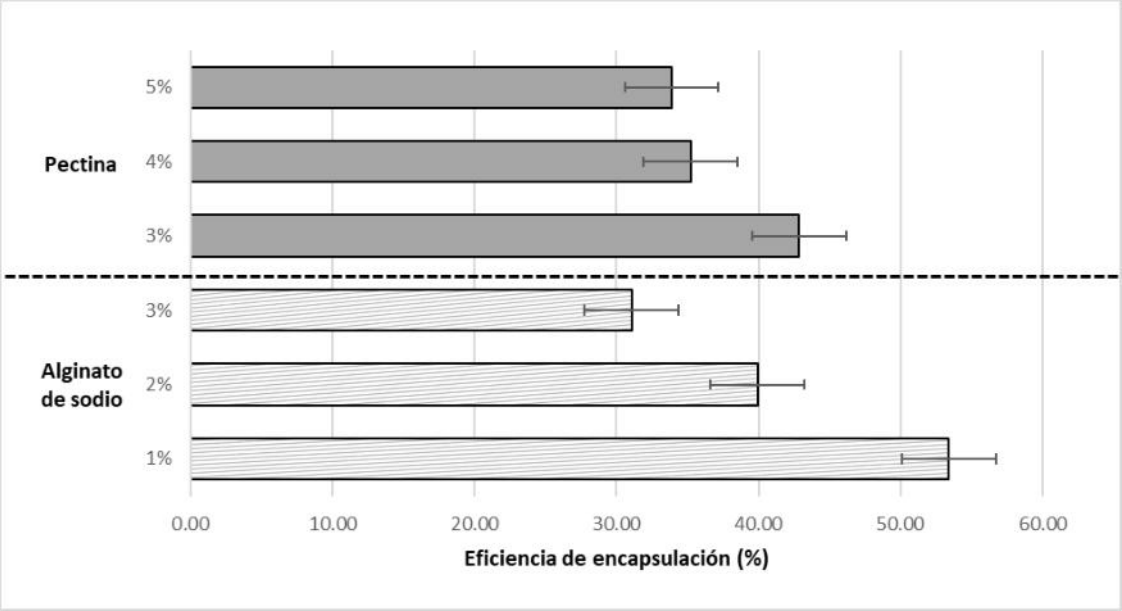


Figura 18: *Eficiencia de encapsulación (%)*

Para la pectina, el uso de concentraciones del 3, 4 y 5 % permitió obtener eficiencias de encapsulación de 42,86; 35,22 y 33,88% (Figura 18). Pawar et al., (2008), al encapsular metronidazol empleando concentraciones de cloruro de calcio del 1 al 5%, las eficiencias más altas se tuvieron a la concentración del 1%. Las cápsulas de pectina se forman por reticulación intermolecular, entre los grupos carboxilo de la pectina que poseen carga negativa y los iones divalentes de calcio, cuando existe un exceso de cationes divalentes, compiten por la

interacción con los sitios aniónicos, imponiendo fuerzas repulsivas que resultan en el debilitamiento de los geles.

CAPÍTULO V

5.CONCLUSIONES

En el proceso de microencapsulación por gelificación iónica los mejores resultados se tuvieron a bajas concentraciones de agente encapsulante; en el alginato de sodio al 1% mejoró el contenido de polifenoles (4,25 mg EAG/gss), la capacidad antioxidante (ORAC: 81,11 µmol ET/gss) y la eficiencia de encapsulación (53,40%). Al igual que la pectina al 3% favoreció los polifenoles totales (3,41 mg EAG/gss), la capacidad antioxidante (ORAC: 64,91 µmol ET/gss) y la eficiencia (42,86%). En cuanto a los polifenoles específicos en los encapsulados las altas concentraciones presentaron la mayor recuperación de ácidos fenólicos (7,56 µg/gss); flavanoles (25,07 µg/gss) y flavonoles (7,56 µg/gss) para el alginato de sodio al 3%. Asimismo, en la pectina al 5% aumentó el contenido de ácidos fenólicos (1,66 µg/gss); flavanoles (1,27 µg/gss) y flavonoles (3,49 µg/gss). Las cápsulas producidas con alginato fueron más eficientes que las de pectina en cuanto a la retención de polifenoles y capacidad antioxidante.

Con respecto a la forma de los microencapsulados, en estado húmedo todas las cápsulas tuvieron una forma esférica a excepción del tratamiento con alginato de sodio al 3% que poseía una forma irregular alargada. En estado seco, se aprecia que visualmente tenía una mejor apariencia el alginato de sodio al 2% ya que no presentaba muchas rugosidades y su forma era redonda, del mismo modo la pectina al 4 y 5% fueron las mejores concentraciones en las que se mantuvo una forma redonda en los microencapsulados. Por otro lado, el tamaño se vio influenciado por la concentración, a medida que aumenta la concentración de encapsulante aumenta su tamaño. Estos resultados permiten concluir que las cápsulas producidas con alginato son la mejor opción ya que poseen una estructura más fuerte y sólida, y a la vez, se podría optimizar el proceso de gelificación iónica para reducir la pérdida de polifenoles ajustando las condiciones del proceso y realizando modificaciones en la matriz a través de combinaciones con otros encapsulantes.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda que las microcápsulas elaboradas se puedan emplear para futuras investigaciones, por ello se sugiere refrigerarlas y almacenarlas entre 5 a 10 °C en un recipiente húmedo en ausencia de luz.

Se sugiere realizar un estudio donde se realicen mezclas de encapsulantes para evaluar la factibilidad en la eficiencia, el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante de las sustancias encapsuladas.

CAPÍTULO VII

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abou-Zaid, F.O.; Ahmed, F. & Zedan, A.E.I. (2022). Using Prickly Pear (Opuntia Spp.) Fruit Juice and Peels in Cookies Production. Volume 43, Pages 239-248, DOI:10.21608/asejaiqjsae.2022.239236

Aguirre Calvo, T. R., Perullini, M., & Santagapita, P. R. (2018). Encapsulation of betacyanins and polyphenols extracted from leaves and stems of beetroot in Ca (II)-alginate beads: A structural study. *Journal of Food Engineering*, 235, 32–40. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.04.01

Albergamo, A., Potortí, A. G., Di Bella, G., Amor, N. Ben, Vecchio, G. Lo, Nava, V., Rando, R., Mansour, H. Ben, & Turco, V. Lo. (2022). Chemical Characterization of Different Products from the Tunisian Opuntia ficus-indica (L.) Mill. *Foods*, 11(2), 1–19. https://doi.org/10.3390/foods11020155

Almanza, P. & Fischer, G. (2012). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Chapter: Tuna (Opuntia ficus-indica (L.) Miller). (pp.1014-1023). Produmedios, Bogotá

Álvarez, R.; Araya, H.; Navarro-Lisboa, R. & Lopez de Dicastillo, C. (2016). Evaluation of Polyphenol Content and Antioxidant Capacity of Fruits and Vegetables Using a Modified Enzymatic Extraction. *Food Technol Biotechnol*; 54(4):462-467. doi: 10.17113/ftb.54.04.16.4497.

Amaya, J. (2009). “EL CULTIVO DE TUNA” *Opuntia ficus índica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú., 18p.

Amaya, D.; Pérez, I.; Delgado, J. & Mondragón, C. (2019). An integral profile of bioactive compounds and functional properties of prickly pear (Opuntia ficus indica L.) peel with different tonalities. *Food Chemistry,* 278. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.11.031

Amrane, M.; Nerín, C.; Canellas, E.; Benkerrou, F.; Louaileche, H. (2018). Modeling and optimization of phenolic compounds extraction from prickly pear (opuntia ficus-indica) seeds via ultrasound-assisted technique. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati - Food Technology*, 42(2), 109-121

Amrane-Abider, M.; Imre, M.; Herman, V.; Debbou-Iouknane, N.; Saci, F.; Boudries, H.; Madani, K.; Merzouk, H. & Ayad, A. (2023). Opuntia Ficus-Indica Peel By-Product as a Natural Antioxidant Food Additive and Natural Anticoccidial Drug. *Foods*, 12(24), 4403. https://doi.org/10.3390/foods12244403

AOAC, Official Methods of Analysis. 15th, U.S.A.: Association of Official Analytical Chemists. (1990).

Aqilah, N.M.N.; Rovina, K.; Felicia, W.X.L. & Vonnie, J.M. (2023). "A Review on the Potential Bioactive Components in Fruits and Vegetable Wastes as Value-Added Products in the Food Industry" *Molecules*, 28 no. 6: 2631. https://doi.org/10.3390/molecules28062631

Arias, D.; Rodríguez, J.; López, B. & Méndez, P. (2021). Evaluation of the physicochemical properties of pectin extracted from Musa paradisiaca banana peels at different pH conditions in the formation of nanoparticles. *Heliyon*; 7(1): e06059. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06059

Arriola, N.D.A.; Chater, P.I.; Wilcox, M.; Lucini, L.; Rocchetti, G.; Dalmina, M.; Pearson, J.P & de Mello Castanho Amboni, R.D. (2018). Encapsulation of Stevia rebaudiana Bertoni aqueous crude extracts by ionic gelation – Effects of alginate blends and gelling solutions on the polyphenolic profile. *Food Chemistry*, Volume 275, Pages 123-134, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.086

Aruwa, C.E.; Amoo, S. & Kudanga, T. (2019). Phenolic compound profile and biological activities of Southern African Opuntia ficus-indica fruit pulp and peels. *LWT*, Volume 111, Pages 337-344, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.028

Bajpai, S. K. & Tankhiwale, R. (2006). Investigation of dynamic release of vitamin B2 from calcium alginate/chitosan multilayered beads: Part II. *Reactive and Functional Polymers*, 66(12), 1565–1574. doi:10.1016/j.reactfunctpolym.200

Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F., & Arora, A. (2017). Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. *Food Chemistry,* 225, 10–22. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.093

Barba, FJ.; Putnik, P.; Bursać Kovačević, D.; Poojary, MM.; Roohinejad, S.; Lorenzo, JM. & Koubaa, M. (2017). Impact of conventional and non-conventional processing on prickly pear (Opuntia spp.) and their derived products: From preservation of beverages to valorization of by-products. *Trends in Food Science & Technology,* 67, 260–270. doi:10.1016/j.tifs.2017.07.012

Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Karlović, S., Djaković, S., Špoljarić, I., Mršić, G., & Ježek, D. (2015). Improving the controlled delivery formulations of caffeine in alginate hydrogel beads combined with pectin, carrageenan, chitosan and psyllium. *Food Chemistry*, Vol 167, pages 378–386. doi:10.1016/j.foodchem.2014.07.011

Bevan, P.; Pastor, M.V.; Almajano, M.P. & Torella, I.C. (2023). Antioxidant and Antiradical Activities of Hibiscus sabdariffa L. Extracts Encapsulated in Calcium Alginate Spheres. *Polymers (Basel)*; 15(7):1740. doi: 10.3390/polym15071740

Bhooshan, K. & Ibrahim, S. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid Med Cell Longev*. v.2 (5): 270–278. doi: 10.4161/oxim.2.5.9498

Bolaños, A., Nora, E., Moctezuma, C., Servia, C., Luis, J., Isela, R., Hernández, S., Eryck, R., Guzmán, V., Nora, E., Bolaños, A., Moctezuma, Y. C., Luis, J., & Servia, C. (2012).

Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (Opuntia spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Investigación y Ciencia*, *20*(55), 3–10.

Bouarab, L.; Degraeve, P.; Ferhout, H.; Bouajila, J. & Oulahal, N. (2019). Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives. *J Sci Food Agric*; 99(4):1457-1474. doi: 10.1002/jsfa.9357.

Bourhia, M.; Elmahdaoui, H.; Ullah, R.; Bari, A. & Benbacer, L. (2019). Promising Physical, Physicochemical, and Biochemical Background Contained in Peels of Prickly Pear Fruit Growing under Hard Ecological Conditions in the Mediterranean Countries. *BioMed Research International*, 1–8. doi:10.1155/2019/9873146

Boutakiout, A., Elothmani, D., Hanine, H., Mahrouz, M., Le Meurlay, D., Hmid, I., & Ennahli, S. (2018). Effects of different harvesting seasons on antioxidant activity and phenolic content of prickly pear cladode juice. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. Volume 17, Issue 4, October 2018, Pages 471-480, doi:10.1016/j.jssas.2016.11.005

Brahmi, F.; Blando, F.; Sellami, R.; Mehdi, S.; De Bellis, L.; Negro, C.; Haddadi, H.; Madani, K.; Makhlouf, L. (2022). Optimization of the conditions for ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from Opuntia ficus-indica [L.] Mill. flowers and comparison with conventional procedures. Industrial Crops and Products. Volume 184, 114977. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114977

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT – Food Science and Technology, 28(1), 25–30, https://doi.org/10.1016/S0023-6438 (95)80008-5

Briliantama, A.; Diah, N.; Rahmawati, S.; Setyaningsih, W. & Palma, M. (2022). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction (UAE) for Simultaneous Determination of Individual Phenolic Compounds in 15 Dried Edible Flowers. *Horticulturae*, 8(12), 1216; https://doi.org/10.3390/horticulturae8121216

Bruno, L.; Farinassi, J.; Abreu, J.; Leite, N.; Alvarenga, D.; Capparelli, L. (2022). Development of alginate/pectin microcapsules by a dual process combining emulsification and ultrasonic gelation for encapsulation and controlled release of anthocyanins from grapes (Vitis labrusca L.). *Food Chemistry*, Volume 391, 133256, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133256

Budin, A.C.; Takano, L.V.; Alvim, I.D. & de Moura, S. (2023). Stability of yerba mate extract, evaluation of its microencapsulation by ionic gelation and fluidized bed drying. *Heliyon*, Volume 9, Issue 6, e16611, https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16611

Bušić, A.; Belščak-Cvitanović, A.; Vojvodić Cebin, A.; Karlović, S.; Kovač, V.; Špoljarić, I.; Mršić, G. & Komes, D. (2018). Structuring new alginate network aimed for delivery of

dandelion (Taraxacum officinale L.) polyphenols using ionic gelation and new filler materials. *Food Research International*, 111, 244–255. doi:10.1016/j.foodres.2018.05.034

Cao, L., Lu, W., Mata, A., Nishinari, K., & Fang, Y. (2020). Egg-box model-based gelation of alginate and pectin: A review. *Carbohydrate Polymers*, 116389. doi:10.1016/j.carbpol.2020.116389

Cao, H.; Yi, L.; Zhong, J.; Högger, P.; Wang, M.; Prieto, M.A.; Simal-Gandara, J. & Xiao, J. (2020). Investigation of new products and reaction kinetics for myricetin in DMEM via an in situ UPLC–MS–MS analysis. *Food Frontiers*, 1(3), 243–252. https://doi.org/10.1002/fft2.19

Cao, H.; Saroglu, O.; Karadag, A., Diaconeasa, Z.; Zoccatelli, G.; Conte-Junior, C.A.; Gonzalez-Aguilar, G.A.; Ou, J.; Bai, W.; Zamarioli, C.M.; de Freitas, L.A.P.; Shpigelman, A.; Campelo, P.H.; Capanoglu, E.; Hii, C.L.; Jafari, S.M.; Qi, Y.; Liao, P.; Wang, M.; Zou, L.; Bourke, P.; Simal-Gandara, J. & Xiao, J. (2021). Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing. *Food Frontiers, vol 2, pp 109-139, DOI:10.1002/FFT2.65*

Castañón, J.; Soto, M. & Uresti, R. (2020). Evaluación de la estabilidad de cápsulas de jugo de naranja obtenidas mediante gelificación iónica. CienciaUAT. 14(2): 117-132, doi.org/10.29059/cienciauat.v14i2.1285

Castillo, S., Alvarado, J. M., Baez, J. G., Macías, E., Ramírez-Baca, P., Gallardo, C., & Candelas-Cadillo, M. G. (2017). Diseño De Microcápsulas De Alginato Con Matriz Prebiótica De Aloe Vera. *Investigacion y Desarrollo En Ciencias y Tecnologia de Los Alimentos*, *2*, 531–536.

Castro-Enríquez, DD.; Montaño-Leyva, B.; Del Toro-Sánchez, CL.; Juaréz-Onofre, JE.; Carvajal-Millan, E.; Burruel-Ibarra, SE.; Tapia-Hernández, JA.; Barreras-Urbina, CG. & Rodríguez-Félix, F. (2019). Stabilization of betalains by encapsulation-a review. *J Food Sci Technol*; 57(5):1587-1600. doi: 10.1007/s13197-019-04120-x.

Castromonte, M., Wacyk, J., & Valenzuela, C. (2020). Encapsulación de extractos antioxidantes desde sub-productos agroindustriales: una revisión. *Revista Chilena de Nutrición*, *47*(5), 836–847. https://doi.org/10.4067/s0717-75182020000500836

Chaparro, E., Mayta, D., Llamoca, E., Choquecahua, D., & Otero, K. (2019). Comparación del proceso de secado de los residuos de cáscara de tuna y corona de piña. *Revista ciencia y tecnología para el desarrollo - UJCM*; 5(9): pág.4-9

Chew, S.C. & Nyam, K.L. (2016). Microencapsulation of kenaf seed oil by co-extrusion technology. *Journal of Food Engineering,* 175, 43–50. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.12.002

Ching, S. H.; Bansal, N. & Bhandari, B. (2015). Alginate gel particles–A review of production techniques and physical properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* 57(6), 1133–1152. doi:10.1080/10408398.2014.965773

Chirinos, R., Pedreschi, R., Rogez, H., Larondelle, Y., & Campos, D. (2013). Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. *Industrial Crops and Products*, 47, 145–152. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.025

Choque-Quispe, D.; Ligarda-Samanez, C.A.; Huamán Rosales, E.R.; Aguirre Landa, J.P.; Agreda Cerna, H.W.; Zamalloa-Puma, M.M.; Álvarez-López, G.J.; Barboza Palomino, G.I.; Alzamora-Flores, H. & Gamarra-Villanueva, W. (2023). Bioactive Compounds and Sensory Analysis of Freeze-Dried Prickly Pear Fruits from an Inter-Andean Valley in Peru. *Molecules*, 28, 3862. https:// doi.org/10.3390/molecules28093862

Choudhury, N.; Meghwal, M. & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food frontiers,* 2:426–442, https://doi.org/10.1002/fft2.94

Clogston, J.D. & Patri, A.K. (2013). Importance of Physicochemical Characterization Prior to Immunological Studies. *Handbook of Immunological Properties of Engineered Nanomaterials,* pp 25-52, https://doi.org/10.1142/9789814390262_0002

Colín-Cruz, M.A.; Pimentel-Gonzalez, D.J.; Carrillo-Navas, H.; Alvarez-Ramirez, J.; Guadarrama-Lezama, A.Y. (2019). Co-encapsulation of bioactive compounds from blackberry juice and probiotic bacteria in biopolymeric matrices. *LWT*, Volume 110, Pages 94-101, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.064

Ćorković, I.; Pichler, A.; Ivić, I.; Šimunović, J. & Kopjar, M. (2021). Microencapsulation of Chokeberry Polyphenols and Volatiles: Application of Alginate and Pectin as Wall Materials. *Gels*; 7(4): 231. doi: 10.3390/gels7040231

Coronado-Contreras, A.; Ruelas-Chacón, X.; Reyes-Acosta, YK.; Dávila-Medina, MD; Ascacio-Valdés, JA. & Sepúlveda, L. (2023). Valorization of Prickly Pear Peel Residues (Opuntia ficus-indica) Using Solid-State Fermentation. *Foods* ;12(23):4213. doi: 10.3390/foods12234213.

Cortes- Camargo, S.; Román- Guerrero, A.; Alvarez- Ramirez, J.; Alpizar- Reyes, Velasquez-Gutierrez, S.K. & Perez- Alonso, C. (2023). Microstructural influence on physical properties and release profiles of sesame oil encapsulated into sodium alginate-tamarind mucilage hydrogel beads. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications,* Volume 5, 100302, https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100302

Cota, J. (2015). Nutritional Composition of the Prickly Pear (Opuntia ficus-indica) Fruit. Nutritional Composition of Fruit Cultivars. Primera Edición (pp.691-712). DOI:10.1016/B978-0-12-408117-8.00028-3

Frent, O.; Vicas, L.; Duteanu, N.; Morgovan, C.; Jurca, T.; Pallag, A.; Muresan, M.; Filip, S.; Lucaciu, R.; Marian, E. (2022). Sodium Alginate—Natural Microencapsulation Material of Polymeric Microparticles. *Int J Mol Sci*; 23(20): 12108. doi: 10.3390/ijms232012108

Dallabona, I.D.; De Lima, G.G.; Cestaro, B.I.; De Souza Tasso, I.; Paiva, T.S.; Laureanti, E. J.G., De Matos Jorge, L.M.; Gonçalves da Silva, B.J.; Helm, C.V.; Mathias, A.L. & Matos Jorge, R.M. (2020). Development of alginate beads with encapsulated jabuticaba peel and propolis extracts to achieve a new natural colorant antioxidant additive. *International Journal of Biological Macromolecules*. Volume 163, Pages 1421-1432, doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.07.25

Deng, J.; Yang, H.; Capanoglu, E.; Cao, H. & Xiao, J. (2018). Technological aspects and stability of polyphenols. *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications*, Pages 295-323, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813572-3.00009-9

Delandino, L.; Anbinder, D.; Navarro, A. & Martino, M. (2008). Encapsulation of natural antioxidants extracted from Ilex paraguariensis. *Carbohydrate Polymers* 71, 126–134, doi:10.1016/j.carbpol.2007.05.030

Dormousoglou, M.; Efthimiou, I.; Antonopoulou, M.; Dailianis, S.; Herbst, G. & Vlastos, D. (2023). Phytochemical Analysis and Genotoxicological Evaluation of Prickly Pear Peel Extracts. *Plants*, 12(7), 1537; https://doi.org/10.3390/plants12071537

Duran, M.; Serrano, A.; Nikulim, A.; Dauvergne, J-L.; Derzsi, L. & Palomo del Barrio, E. (2022). Microcapsule production by droplet microfluidics: A review from the material science approach. Materials & Design, Volume 223, https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111230

Essifi, K.; Brahmi, M.; Berraaouan, D.; Ed-Daoui, A.; El Bachiri, A.; Fauconnier, M. & Tahani, A. (2021). Influence of Sodium Alginate Concentration on Microcapsules Properties Foreseeing the Protection and Controlled Release of Bioactive Substances. *Journal of Chemistry*, Volume 2021, pages 13, https://doi.org/10.1155/2021/5531479

Etchepare, M.A.; Caceres de Menezes, M.F.S.; Rodrigues, L.Z.; Codevilla, C.F. & Ragagnin de Menezes, C. (2015). Microencapsulação de compostos bioativos pelo método de extrusão. *Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM. v.37, p. 97 – 105, DOI:10.5902/2179-460X19725*

Ettalibi, F.; Elmahdaoui, H.; Amzil, J.; Gadhi, C. & Harrak, H. (2020). Drying impact on physicochemical and biochemical criteria of prickly pear fruit peels of three varieties of Opuntia spp. *Materials Today Proceedings*, Vol 27(12), DOI:10.1016/j.matpr.2020.04.726

Fang, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols - A review. *Trends in Food Science and Technology*, *21*(10), 510–523. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003

Fernández-López, J. A., Almela, L., Obón, J. M. & Castellar, R. (2010). Determinación de componentes antioxidantes en frutos de pera de cactus. Alimentos vegetales para la nutrición humana, 65(3), 253-259. DOI: 10.1007/s11130-010-0189-x

Ferreyra, S.; Bottini, R. & Fontana, A. (2023). Temperature and light conditions affect stability of phenolic compounds of stored grape cane extracts. *Food Chemistry*, Volume 405, Part A, 134718, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134718

Flores-Mancha, M. A., Rentería-Monterrubio, A. L., Sánchez-Vega, R., & Chávez-Martínez, A. (2019). Estructura y estabilidad de las Betalaínas. *Interciencia*, *Vol.44* (6), 318-325 pp.

Gawkowska, D.; Cybulska, J. & Zdunek, A. (2018). Structure-Related Gelling of Pectins and Linking with Other Natural Compounds: A Review. *Polymers (Basel)*; 10(7):762. doi: 10.3390/polym10070762

Gibbs, B. F., Kermasha, S., Alli, I., & Mulligan, C. N. (1999). Encapsulation in the food industry: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *50*(3), 213–224. https://doi.org/10.1080/096374899101256

Gómez, I.; Lobo, G.; Portillo, M. & Pilar, M. (2021). Ultrasound-Assisted “Green” Extraction (UAE) of Antioxidant Compounds (Betalains and Phenolics) from *Opuntia stricta var. Dilenii’s* Fruits: Optimization and Biological Activities. *Antioxidants*, 10(11), 1786.https://doi.org/10.3390/antiox10111786

Gómez-Maqueo, A.; Antunes-Ricardo, M.; Welti-Chanes, J. & Cano, M.P. (2020). Digestive Stability and Bioaccessibility of Antioxidants in Prickly Pear Fruits from the Canary Islands: Healthy Foods and Ingredients. *Antioxidants (Basel)* ;9(2):164. doi: 10.3390/antiox9020164.

Gonzalez, F.P.H.; Saucedo, V.C.; Guerra, R.D.; Suarez, E.J.; Soto, H.R.M.; Lopez, J.A.; Garcia, C.E. & Hernandez, R.J. (2021). Post-harvest quality and quantification of betalains, phenolic compounds and antioxidant activity in fruits of three cultivars of prickly pear (Opuntia ficus-indica L. Mill). *Journal of Horticultural Sciences*, vol. 16, núm 1, pp. 91-102, https://doi.org/10.24154/JHS.2021.v16i01.010

Gosh, I.L.; Ephraim, T.; Mashau, M.E. & Obiefuna, A.I. (2021). Physicochemical properties of South African prickly pear fruit and peel: Extraction and characterisation of pectin from the peel. *Open Agriculture*; 6(1):178–191; DOI:10.1515/opag-2021-0216

Grazul, M., & Budzisz, E. (2009). Biological activity of metal ions complexes of chromones, coumarins and flavones. *Coordination Chemistry Reviews*, 253(21-22), 2588–2598. doi: 10.1016/j.ccr.2009.06.015

Guzmán, D. & Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Rev. Soc. Quím. Perú*, vol.73, n.1, pp.41-45.

Habibi, Y., Heyraud, A., Mahrouz, M. & Vignon, M. (2004), Structural features of pectic polysaccharides from the skin of Opuntia ficus-indica prickly pear fruits.Carbohydr Res 28;339(6):1119-27. doi: 10.1016/j.carres.2004.02.005.

Hanuka, I.; Eran, E.; Okun, Z. & Shpigelman, A. (2020). The Link between Polyphenol Structure, Antioxidant Capacity and Shelf-Life Stability in the Presence of Fructose and Ascorbic Acid. *Molecules*; 25(1): 225. doi: 10.3390/molecules25010225

Hernández, J., Hinojosa, P., Salazar, A., García, J., Rodríguez, G., Quiroz, J. (2018). Conservación por microencapsulación de bacterias de uso agrícola: *azospirillum brasilense*. Revista Boliviana de Química, vol. 35, núm. 4, pp. 117-122

Hooi, R., Barbano, D. M., Bradley, R. L., Budde, D., Bulthaus, M., Chettiar, M., Lynch, J., & Reddy, R. (2004). Chemical and physical methods. In: Wehr, H. M., Frank, J. F. (ed.). Standard methods for the examination of dairy products. 17th ed. (pp. 385–391, 408–434, 442–460). Washington, DC: American Public Health Association.

Hu, C.; Lu, W.; Sun, C.; Zhao, Y.; Zhang, Y. & Fang, Y. (2022). Gelation behavior and mechanism of alginate with calcium: Dependence on monovalent counterions. *Carbohydrate Polymers*, Volume 294, 119788, https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119788

Hu, J.; Bi, J.; Li, X., Wu, X.; Wang, W. & Yu, Q. (2023). Understanding the impact of pectin on browning of polyphenol oxidation system in thermal and storage processing. *Carbohydrate Polymers*, Volume 307, 120641, https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120641

Huamán, L. (2014). Evaluación del tipo de solvente en el rendimiento durante la extracción de colorante natural de la cascara de tuna morada (opuntia ficus). Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero en industrias alimentarias. Huancayo-Perú.

Hussain, H., Mamadalieva, NZ., Hussain, A., Hassan, U., Rabnawaz, A., Ahmed, I. & Green IR. (2022). Fruit Peels: Food Waste as a Valuable Source of Bioactive Natural Products for Drug Discovery. *Curr Issues Mol Biol; 44*(5):1960-1994. doi: 10.3390/cimb44050134

Iftikhar, K., Siddique, F., Ameer, K., Arshad, M., Kharal, S., Mohamed, I., Yasmin, Z., Aziz, N. (2023). Phytochemical profiling, antimicrobial, and antioxidant activities of hydroethanolic extracts of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit and pulp. *Food Science & Nutrition*, 11:1916–1930. DOI: 10.1002/fsn3.3226

Instituto Adolfo Lutz (2008). 494/IV Fermented milk—determination of volatile substances and total dry extract, 879, Chapter XXVII Milk and derivatives. In: Physical-chemical methods for food analysis, 1st digital edition, Coordinators: Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet and Paulo Tiglea. 4th edition. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1020.

Jansen-Alves, C.; Maia, D.S.V.; Krumreich, F.D.; Crizel-Cardoso, M.M.; Fioravante, J.B.; da Silva, W.P.; Borges, C.D. & Zambiazi, R.C. (2019). Propolis microparticles produced with

pea protein: Characterization and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities. *Food Hydrocolloids*, Volume 87, Pages 703-711, doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.09.004

Jha, AK & Sit, N. (2022). Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review. *Trends in Food Science & Technology*; Volume 119, Pages 579-591. Doi: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.019

Jorge, P. & Troncoso, L. (2016). Capacidad antioxidante del fruto de la *Opuntia apurimacensis* (ayrampo) y de la *Opuntia ficus-indica* (tuna). Anales de la Facultad de Medicina, vol. 77, núm. 2, pp. 105-109

Kim, E.S.; Lee, J.S. & Lee, H.G. (2016). Calcium-alginate microparticles for sustained release of catechin prepared via an emulsion gelation technique. *Food Sci Biotechnol*. ;25(5):1337-1343. doi: 10.1007/s10068-016-0210-8.

Kumar, K.; Srivastav, S. & Sharanagat, VS. (2020) Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrason Sonochem; 70:105325*. doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105325.

Kurozawa, LM. & Hubinger, MD. (2017). Hydrophilic food compounds encapsulation by ionic gelation. *Current Opinion in Food Science*, Volume 15, Pages 50-55, https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.06.004

Lara, M., Ortega, V., Perez, A., País, J., Nuñez, J. & Gonzáles, E. (2019). Evaluación de ph, temperatura y concentración de alginato en el proceso de gelificación iónica del zumo natural de frutas. Centro Azúcar, Vol 46, Edición Especial SIQ´2019 (pp. 55-60)

Laureanti, EJG.; Paiva, TS.; Jorge, LMM. & Jorge, RMM. (2023). Microencapsulation of bioactive compound extracts using maltodextrin and gum arabic by spray and freeze-drying techniques. *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 253, Part 4, https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126969

Leal Mazza, K.E.; Magalhães Costa, A.M.; Lima da Silva, J.P.; Sales Alviano, D.; Bizzo, H.R. & Valeriano Tonon, R. (2023). Microencapsulation of marjoram essential oil as a food additive using sodium alginate and whey protein isolate. *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 233, 123478, https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123478

Li, Q.; Duan, M.; Hou, D.; Chen, X.; Shi, J.; & Zhou, W. (2021). Fabrication and characterization of Ca (II)-alginate-based beads combined with different polysaccharides as vehicles for delivery, release and storage of tea polyphenols. *Food Hydrocolloids*, vol 112, https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106274

Lopes da Silva, T.; Martins, J.; da Silva, M.G.C.; Gimenes, M. & Adeodato, M. (2017). Alginate and Sericin: Environmental and Pharmaceutical Applications. Biological Activities and Application of Marine Polysaccharides. Intech. Chapter 4. DOI: 10.5772/65257

Lupo, B., González, C., & Maestro, A. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, *3*(1), 130–151.

Machado, A.R.; Silva, P.; Vicente, A.A.; Souza-Soares, L.A.; Pinheiro, A.C. & Cerqueira, M.A. (2022). Alginate Particles for Encapsulation of Phenolic Extract from Spirulina sp. LEB-18: Physicochemical Characterization and Assessment of In Vitro Gastrointestinal Behavior. *Polymers*, 14(21), 4759; https://doi.org/10.3390/polym14214759

Mamani, S.; Molina, M.; Zirena, F.; Luque, O.; Allcca, E.; Escobedo, E.; Huamán, N. (2024). Alternative green extraction techniques to enhance recovery of antioxidant compounds from red peel prickly pear (Opuntia ficus-indica L. Miller). *Discov Food*, Vol 4, 58. https://doi.org/10.1007/s44187-024-00140-5

Mehta, N.; Kumar, P.; Verma, A.K.; Umaraw, P.; Kumar, Y.; Malav, O.P.; Sazili, A.Q.; Domínguez, R. & Lorenzo, J.M. (2022). Microencapsulation as a Noble Technique for the Application of Bioactive Compounds in the Food Industry: A Comprehensive Review. *Applied Sciences*, 12, 1424. https://doi.org/10.3390/app12031424

Mehta, D.; Kuksal, K.; Yadav, K.; Yadav, S.; Zhang, Y. & Nile, S. (2024). Ultrasound-assisted extraction and encapsulation of betalain from prickly pear: Process optimization, in-vitro digestive stability, and development of functional gummies. *Ultrasonics Sonochemistry*; Volume 108, https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106975

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2023). Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector. Recuperado de https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNzEzNTU2MmUtY2EzZC00YjQ2LTg5YzUtYzJjODRhZjg5NGY5IiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9

Mojzer, E.; Knez, M.; Škerget, M.; Knez, Z. & Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects. *Molecules*; 21(7): 901, doi: 10.3390/molecules21070901

Moura, S. C. S. R. De, Schettini, G. N., Garcia, A. O., Gallina, D. A., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2019). *Stability of Hibiscus Extract Encapsulated by Ionic Gelation Incorporated in Yogurt*.

Morales, R.; Drusch, E.; Acevedo, F.; Castro, A.; Benie, A.; Poncelet, D.; Dragosavac, M.; Defain, M.; Löwenstein, P.; Yonaha, V.; Iturralde, R.; Pedro, G. & de Vos, P. (2022). Structure, controlled release mechanisms and health benefits of pectins as an encapsulation material for bioactive food components. *Food Funct*., 13, 10870-10881, DOI: 10.1039/D2FO00350C

Mosquera-Vivas, E-S.; Ayala-Aponte, A-A. & Serna-Cock, L. (2023). Importancia de la encapsulación de probióticos: gelificación iónica y coacervación compleja como técnicas

prometedoras para uso alimentario. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, v. 22, n. 1, p. 105-123, https://doi.org/10.18684/rbsaa.v22.n1.2024.2223

Muchiutti, G. S., López Novello, L. H., Córsico, F. A., & Larrosa, V. J. (2019). Cápsulas de alginato para la protección de polifenoles presentes en el aceite esencial de orégano. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, *30*(59 nov-abr), 297–309. https://doi.org/10.33255/3059/687

Munin, A. & Edwards, F. (2011). Encapsulation of Natural Polyphenolic Compounds; a Review. *Pharmaceutics*; 3(4): 793–829. doi: 10.3390/pharmaceutics3040793

Narin, C.; Ertugrul, U.; Tas, O.; Sahin, S. & Oztop, M.H. (2020). Encapsulation of pea protein in an alginate matrix by cold set gelation method and use of the capsules in fruit juices. *J Food Sci*.; 85(10):3423-3431. doi: 10.1111/1750-3841.15433.

Nayhua, C. (2017). Obtención de colorante natural a partir de la cáscara de tuna púrpura (opuntia ficus-indica) por el método de extracción sólido-líquido para su aplicación en la industria de alimentos, fruto proveniente del distrito de san Cristóbal-Moquegua. Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero químico. Puno-Perú.

Nazri, M.; Abdullah, A. & Wan, W. (2021). Influence of sugar concentration and sugar type on the polyphenol content and antioxidant activity in spiced syrup preparation. Italian Journal of Food Science, Vol. 33 No. 1, DOI: 10.15586/ijfs. v33i1.1874

Negin, C.; Ali, S. & Xie, Q. (2017). Most common surfactants employed in chemical enhanced oil recovery. Petroleum, Volume 3, Issue 2, Pages 197-211, https://doi.org/10.1016/j.petlm.2016.11.007

Nie, S.; Cui, S. & Xie, M. (2018). Chapter 1 - Introduction. In Bioactive Polysaccharides (pp. 1-50), https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809418-1.00001-0

Nirmal, NP.; Khanashyam, AC.; Mundanat, AS.; Shah, K.; Babu, KS.; Thorakkattu, P.; Al-Asmari, F. & Pandiselvam, R. (2023). Valorization of Fruit Waste for Bioactive Compounds and Their Applications in the Food Industry. *Foods*. 12(3):556. doi: 10.3390/foods12030556.

Norcino, L.B.; Mendes, J.F.; Figueiredo, J.A.; Oliveira, N.L.; Brotel, D.A. & Mattoso, L.H.C. (2022). Development of alginate/pectin microcapsules by a dual process combining emulsification and ultrasonic gelation for encapsulation and controlled release of anthocyanins from grapes (Vitis labrusca L.). Food Chemistry, Volume 391,133256, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133256

Odún, F. & Reddy, L. (2023). Potential Biomedical Applications of Modified Pectin as a Delivery System for Bioactive Substances. *Polysaccharides*, 4(1), 1-32; https://doi.org/10.3390/polysaccharides4010001

Oktay, B.; Yolaçaner, E. & Aytaç, S. (2024). Ultrasound-assisted extraction of betalain-rich bioactive compounds of prickly pear fruit: An optimization study. *Food Bioscience*, Volume 61,104734, https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104734

Ordoñez, E., León, A., Rivera, H., & Vargas, E. (2019). Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y semilla de cacao (Theobroma cacao L.), tuna (Opuntia ficus indica Mill), uva (Vitis Vinífera) y uvilla (Pourouma cecropiifolia). Scientia Agropecuaria 10(2): 175 – 183. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2019.02.02

Ortiz, N.; Ochoa, L.; Gonzáles, S.; Rutiaga, O. & Gallegos, J. (2021). Avances en las investigaciones sobre la encapsulación mediante gelación iónica: una revisión sistemática. *TecnoL*. vol.24 no.52. https://doi.org/10.22430/22565337.1962

Otálora, M. C., Carriazo, J. G., Iturriaga, L., Osorio, C., & Nazareno, M. A. (2016). Encapsulating betalains from Opuntia ficus-indica fruits by ionic gelation: Pigment chemical stability during storage of beads. *Food Chemistry*, *202*, 373–382. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.115

Otálora, M. C., de Jesús Barbosa, H., Perilla, J. E., Osorio, C., & Nazareno, M. A. (2019). Encapsulated betalains (Opuntia ficus-indica) as natural colorants. Case study: Gummy candies. *Lwt*, *103*(September 2018), 222–227. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.074

Parra Huertas, A. R. (2011). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *63*(2), 5669–5684.

Pasukamonset, P.; Kwon, O. & Adisakwattana, S. (2016). Alginate-based encapsulation of polyphenols from Clitoria ternatea petal flower extract enhances stability and biological activity under simulated gastrointestinal conditions. *Food Hydrocolloids*. Volume 61, Pages 772-779. Doi: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.039

Paucara, C. & Castillo, C. (2021). Caracterización física y química de la tuna *(Opuntia ficus indica)* en el municipio de Luribay, La Paz - Bolivia. Revista Agro-Vet, V.5, n.1 La Paz

Pawar, R.; Jadhav, W.; Bhusare, S.; Borade, R.; Farber, S.; Itzkowitz, D. & Domb, A. (2008). Polysaccharides as carriers of bioactive agents for medical applications. *Natural-Based Polymers for Biomedical Applications.* Pages 3-53. https://doi.org/10.1533/9781845694814.1.3

Pawar, A., Gadhe, A., Venkatachalam, P., Sher, P., & Mahadik, K. (2008). Effect of core and surface cross-linking on the entrapment of metronidazole in pectin beads. *Acta Pharmaceutica*, 58(1). Doi: 10.2478/v10007-007-0046-0

Pérez, M.; Hernandez, L. & Barragán, B. (2017). Extracción de compuestos bioactivos de Pitaya Roja (Stenocereus stellatus) aplicando pretratamientos con microondas, ultrasonido y enzimáticos. Agrociencia, 51(2), 135-151

Piga, A. (2004). Cactus Pear: A Fruit of Nutraceutical and Functional Importance.Journal of the Professional Association for Cactus Development. Vol 6. DOI: https://doi.org/10.56890/jpacd.v6i.294

Plashchina, I.G.; Semenova, M.G.; Slovokhotov, Y.L.; Struchkov, Y.T.; Braudo, E.E.; Tolstoguzov, V.B. & Ignatov, G.I. (1986). Studies of the interaction of methanol with pectin in aqueous solution. *Carbohydrate Polymers*, 6(1), 1–13. doi:10.1016/0144-8617(86)90009-3

Porras-Flórez, D.; Albesiano, S. & Arrieta-Violet, L. (2017). El género Opuntia (Opuntioideae–Cactaceae) en el departamento de Santander, Colombia. *Biota Colombiana*, vol. 18, núm. 2, pp. 111-131, DOI: https://doi.org/10.21068/c2017.v18n02a07

Posbeyikian, A.; Tubert, E.; Bacigalupe, A.; Escobar, M.M.; Santagapita, P.R.; Amodeo, G. & Perullini, M. (2021). Evaluation of calcium alginate bead formation kinetics: An integrated analysis through light microscopy, rheology and microstructural SAXS. *Carbohydrate Polymers*, Volume 269, 118293, https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118293

Rahman, MM.; Rahaman, MS.; Islam, MR.; Rahman, F.; Mithi, FM.; Alqahtani, T.; Almikhlafi, MA.; Alghamdi, SQ.; Alruwaili, AS.; Hossain, MS.; Ahmed, M.; Das, R.; Emran, TB. & Uddin, MS. (2021) Role of Phenolic Compounds in Human Disease: Current Knowledge and Future Prospects. *Molecules; 27*(1):233. doi: 10.3390/molecules27010233.

Rambaran, T. (2020). Nanopolyphenols: a review of their encapsulation and anti-diabetic effects .SN Applied Sciences, 2:1335, https://doi.org/10.1007/s42452-020-3110-8

Ramírez-ramos, M., García-mateos, M. R., Corrales-garcía, J., Ybarra-moncada, C., & Ma, A. (2015). Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*opuntia sp.)* antioxidant compounds in prickly pear (*opuntia sp.*) pigmented varieties. *38*(4), 349–357.

Ribeiro, A.; Estevinho, B. & Rocha, F. (2019). Microencapsulation of polyphenols - The specific case of the microencapsulation of Sambucus Nigra L. extracts - A review. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 105, Pages 454-467, https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.011

Rodríguez, J.; Cuatzo, M.; Pérez, M.; Abarca, D. & Gallardo, Y. (2017). Alginate Encapsulation as a Preservation Method of Pitaya Fruit Juice (Stenocereus spp.). *Journal of Food Science and Engineering* 7, 127-134, doi: 10.17265/2159-5828/2017.03.002

Saénz, C., Tapia, S., Chávez, J., & Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (Opuntia ficus-indica). *Food Chemistry*, *114*(2), 616–622. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.095

Safer, A-M.; Afzal, M.; Nomani, M. & Mousa, S.A. (2013). Green Tea Extract in the Management of Hepatic Fibrosis. *Tea in Health and Disease Prevention,* Pages 903-909, chapter 76, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384937-3.00076-8

Said, N.S.; Olawuyi, I.F. & Lee, W.Y. (2023). Pectin Hydrogels: Gel-Forming Behaviors, Mechanisms, and Food Applications. *Gels*, 9(9), 732; https://doi.org/10.3390/gels9090732

Sampaio, G.; Pacheco,S.; Ribeiro, A.; Galdeano, M.; Gomes, F. & Tonon, R. (2019). Encapsulation of a lycopene-rich watermelon concentrate in alginate and pectin beads: Characterization and stability. *LWT - Food Science and Technology*, v. 116, 108589, p. 1-8, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108589

Sanchez, M.; Villamizar-Sarmiento, M.G.; Harmsen, I.; Valdés, F.; Villanueva, V.; Ceballos, R.; Wacyc, J.; Oyarzun-Ampuero, F. & Valenzuela, C. (2022). Encapsulation of house fly larvae (Musca domestica) meal by ionic gelation as a strategy to develop a novel nutritive food ingredient with improved aroma and appearance. *LWT*, Volume 163, 113597, doi: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113597

Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., García-Galindo, H.S., Alvarez-Ramírez, J., & Vernon-Carter, E.J. (2010). Textural properties of alginate–pectin beads and survivability of entrapped Lb. casei in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *Food Research International*, 43(1), 111–117. doi: 10.1016/j.foodres.2009.09.010

Santiago, V.; Cavia, M.; Torre, S. & Carrillo, C. (2020). Relationship between color and betalain content in different thermally treated beetroot products. *J Food Sci Technol*.; 57(9): 3305–3313. doi: 10.1007/s13197-020-04363-z

Shoutak, R.; Cappai, M.; Pia, G. & Pilia, L. (2023). An Updated Review: Opuntia ficus indica (OFI) Chemistry and Its Diverse Applications. *Appl. Sci*., 13(13), 7724; https://doi.org/10.3390/app13137724

Silva, P. T. da, Fries, L. L. M., Menezes, C. R. de, Holkem, A. T., Schwan, C. L., Wigmann, É. F.,Silva, C. de B. da. (2014). Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. *Ciência Rural*, 44(7), 1304–1311. Doi: 10.1590/0103-8478cr20130971

Silveira, M.P.; Almeida, F.L.C.; Alvim, I.D. & Prata, A.S. (2023). Encapsulation of pomegranate polyphenols by ionic gelation: Strategies for improved retention and controlled release. *Food Research International*, Volume 174, Part 1,113590, https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113590

Singh, J.; Kaur, K. & Kumar, P. (2018). Optimizing microencapsulation of α-tocopherol with pectin and sodium alginate. *J Food Sci Technol*.; 55(9): 3625–3631; doi: 10.1007/s13197-018-3288-6

Singla, M. & Sit, N. (2021). Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry,* Volume 73, 105506, https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105506

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16(3), 144–158. https://doi.org/10.12691/ijebb-2-1-5

Stintzing, F., Herbach, K., Mobhammer, M., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S. (2005). Colour, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (Opuntia spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 442–451

Stoica, R.; Pop, S.F. & Ion, R.M. (2013). Evaluation of natural polyphenols entrapped in calcium alginate beads prepared by the ionotropic gelation method. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, vol 15(7): p. 893-898

Surco-Laos, Felipe, Ayquipa Paucar, Hilda, Quispe Gamboa, Wilfredo, García Ceccarelli, Jorge, & Valle Campos, Manuel. (2020). Determinación de polifenoles totales y actividad antioxidante de extracto de semillas de uvas residuos de la producción de Piscos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, *86*(2), 123-131. https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v86i2.282

Teresa, M.; Cruz, S.; Madrigal, E. & García, D. (2011). Betalain, Acid Ascorbic, Phenolic Contents and Antioxidant Properties of Purple, Red, Yellow and White Cactus Pears. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(10):6452-68, DOI: 10.3390/ijms12106452

Tzatsi, P. & Goula, A. (2021). Encapsulation of Extract from Unused Chokeberries by Spray Drying, Co-crystallization, and Ionic Gelation. *Waste and Biomass Valorization*, 12(7-8):1-19, DOI: 10.1007/s12649-020-01316-7

Valencia-Áviles, E.; Zamora-Vega, R.; Tranquilino-Rodríguez, E.; Martínez-Flores, H.E.; Rodiles-López, J.O. & Castillo-Garibay, I.U. (2024). Antioxidant Evaluation of Extracts from the Peel of the Prickly Pear Cactus Opuntia streptacantha. *Journal of Food and Nutrition Research*, Vol. 12, No. 10, 438-445, DOI:10.12691/jfnr-12-10-6

Vakarelova, M. Zanoni, F.; Donà, G. & Fierri, I. (2023). Microencapsulation of astaxanthin by ionic gelation: effect of different gelling polymers on the carotenoid load, stability and bioaccessibility. *International Journal of Food Science and Technology*, 58 (05), 2489–2497, doi:10.1111/ijfs.16389

Vargas, M. de L., Figueroa Brito, H., Tamayo Cortez, J. A., Toledo López, V. M., & Moo Huchin, V. M. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *Sum*, *26*(2), 1–11. https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6

Vásquez, M.; Gonzáles, A.; Carrera, C.; Palma, M.; Barbero, G. & Aliaño, M. (2022). Ultrasound-Assisted Extraction of Betalains from Opuntia Fruit Pulp of Different Color Varieties. *Agronomy,* 12(11), 2604. https://doi.org/10.3390/agronomy12112604

Vitor, D., Leone, G., Reyes, F., Hoshi, A., & Martínez, J. (2021). Integration of pressurized liquids and ultrasound in the extraction of bioactive compounds from passion fruit rinds:

Impact on phenolic yield, extraction kinetics and technical-economic evaluation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies, 67(4), 57. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.10254*

Wang, R., Zhou, W., & Jiang, X. (2008). Reaction kinetics of degradation and epimerization of epigallocatechin gallate (EGCG) in aqueous system over a wide temperature range. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(8), 2694–2701.

Wissam, Z. & Samer, H. (2019). Encapsulation of flaxseed oil extract in alginate–salep system by ionic gelation. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 55(12), DOI:10.1590/s2175-97902019000200261

Wu, C.; Liao, J.; Wang, J. & Qi, J. (2024). Gelation behavior and mechanism of low methoxyl pectin in the presence of erythritol and sucrose: The role of co-solutes. *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 271, Part 1, 132261, https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132261

Xiao, J. (2022). Recent advances on the stability of dietary polyphenols. *eFood;* vol 3, issue 3, https://doi.org/10.1002/efd2.21

Yuliarti, O.; Hoon, A.L.S. & Chong, S.Y. (2017). Influence of pH, pectin and Ca concentration on gelation properties of low-methoxyl pectin extracted from Cyclea barbata Miers. *Food Structure*, Volume 11, Pages 16-23, https://doi.org/10.1016/j.foostr.2016.10.005

Zabot, G.L.; Schaefer Rodrigues, F.; Polano Ody, L.; Vinícius Tres, M.; Herrera, E.; Palacin, H.; Córdova-Ramos, J.S.; Best, I. & Olivera-Montenegro, L. (2022). Encapsulation of Bioactive Compounds for Food and Agricultural Applications. *Polymers (Basel)*; 14(19):4194. doi: 10.3390/polym14194194.

Zambrano Vélez, M.I.; Vera Zambrano, A.M. & Vera Arteaga, T.A. (2024). Microencapsulación en la industria alimentaria: avances y tendencias actuales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, Vol. 9(2): 51-60, https://doi.org/10.24054/cyta.v9i2.3108

Zeghbib, W.; Boudjouan, F.; Vasconcelos, V. & Lopes, G. (2022). Phenolic Compounds' Occurrence in Opuntia Species and Their Role in the Inflammatory Process: A Review. *Molecules*; 27(15):4763. doi: 10.3390/molecules27154763.

Živković, I.P.; Jurić, S.; Vinceković, M.; Galešić, M.A.; Marijan, M.; Vlahoviček-Kahlina, K.; Mikac, K.M. & Lemic, D. (2020). Polyphenol-Based Microencapsulated Extracts as Novel Green Insecticides for Sustainable Management of Polyphagous Brown Marmorated Stink Bug (Halyomorpha halys Stål, 1855). *Sustainability*, 12(23), 10079. doi:10.3390/su122310079

ANEXOS

Anexo 1. Análisis fisicoquímicos en cáscara de tuna roja

Determinación de pH

N° de muestra	Valor pH
1	5,323
2	5,338
3	5,365
4	5,373
5	5,343
Promedio	5,348
DS	0,020
CV	0,381

Determinación de acidez

N° de muestra	pH alcanzado	Volumen gastado NaOH (mL)	% Acidez
1	8,260	0,45	0,029
2	8,242	0,415	0,027
3	8,219	0,41	0,026
4	8,256	0,39	0,025
Promedio			0,027
DS			0,002
CV			5,996

Determinación de °Brix

N° de muestra	°Brix
1	14,1
2	14,5
3	14,9
4	14,5
5	14,5
Promedio	14,5
DS	0,28
CV	1,95

Determinación de Humedad

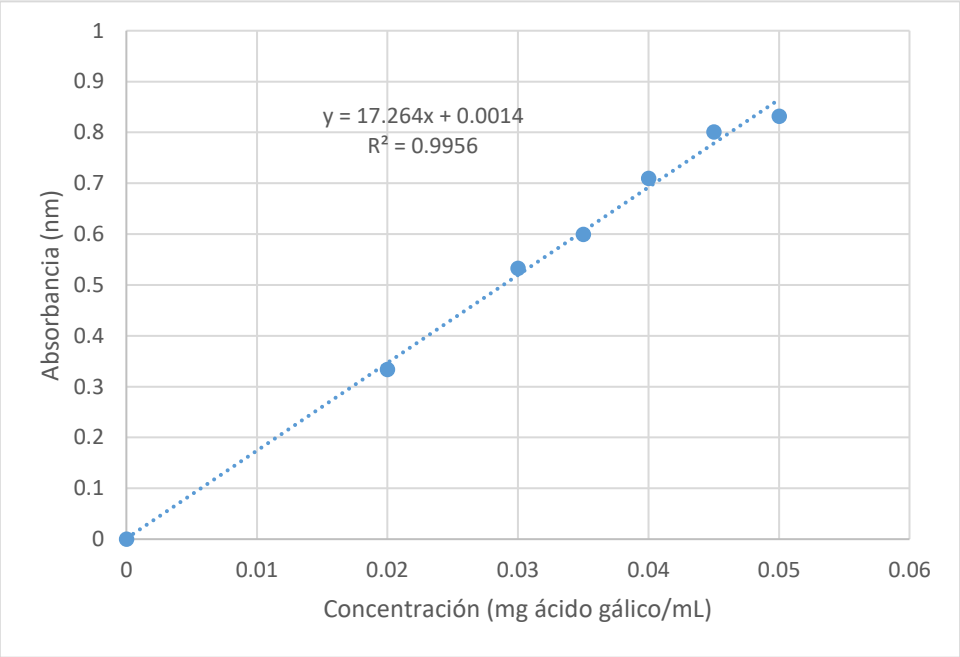
Determinación de humedad en balanza gravimétrica en cáscara de tuna roja

N° de muestra	Peso muestra inicial (g)	Peso muestra final (g)	% Humedad
1	4,630	0,745	83,90
2	4,636	0,796	82,83
Promedio			83,37
DS			0,76
CV			0,91

Determinación de humedad por estufa en cáscara de tuna roja

N° de muestra	Peso placas petri con tapa (g)	Peso muestra inicial (g)	Peso muestra final (g)	% Humedad
1	84,7448	4,0149	0,5535	86,21
2	89,9749	4,0779	0,6143	84,94
3	79,8220	4,0826	0,5765	85,86
4	83,9105	4,0829	0,6469	84,16
5	81,6223	4,0312	0,5675	85,92
Promedio				85,42
DS				0,86
CV				1,00

Anexo 2. Curva de calibración de ácido gálico



N°	Concentración (mg ácido gálico/mL)	Absorbancia (nm)
	X	Y
1	0	0
2	0,02	0,334
3	0,03	0,533
4	0,035	0,600
5	0,04	0,710
6	0,045	0,801
7	0,05	0,832

Anexo 3. Análisis en extractos de cáscara de tuna roja

Contenido de polifenoles totales

Repeticiones	Polifenoles (mg EAG/gss)	
	R1	R2
1	8,294	7,504
2	8,313	7,523
3	8,257	7,824
Promedio	7,952	
DS	0,385	
CV	4,845	

Capacidad antioxidante DPPH

Repeticiones	IC50: mg/mL	
	R1	R2
1	18,270	18,798
2	17,949	18,766
3	17,860	19,032
Promedio	18,446	
DS	0,593	
CV	3,216	

Capacidad antioxidante ORAC

Repeticiones	Capacidad antioxidante: umol ET /gss	
	R1	R2
1	133,136	111,686
2	111,394	121,290
3	108,274	106,421
Promedio	115,367	
DS	3,160	
CV	2,739	

Perfil de polifenoles

Muestra	Longitud de onda	Polifenoles	Concentración ppm	Muestra	Longitud de onda	Polifenoles	Concentración ppm	Promedio
EXTRACTO PURO R1	270	Rutina	15,48	EXTRACTO PURO R2	270	Rutina	17,3376	16,409
		Quercetina	8,98			Quercetina	10,0576	9,519
	280	Hidroxitirosol	ND		280	Hidroxitirosol	ND	ND
		Catequina	12,672			Catequina	14,19264	13,432
		Procianidina B2	1,234			Procianidina B2	1,38208	1,308
		Epicatequina	18,542			Epicatequina	20,76704	19,655
		Vanilina	ND			Vanilina	ND	ND
		Procianidina A2	5,783			Procianidina A2	6,47696	6,130
		Oleopeurina	ND			Oleopeurina	ND	ND
	324	Ácido gálico	25,134		324	Ácido gálico	28,15008	26,642
		Resveratrol	ND			Resveratrol	ND	ND
		Apeginina	ND			Apeginina	ND	ND
	373	Kaempferol	ND		373	Kaempferol	ND	ND

R: Repetición, ND: No detectado

Anexo 4. Análisis de los encapsulados

Contenido de polifenoles totales

Agente encapsulante	Concentración de encapsulante		Absorbancias a 750 nm			Concentración (mg EAG/gss)			Promedio (mg EAG/gss)
			R1	R2	R3	R1	R2	R3	
Alginato de sodio	1%	R1	0,586	0,586	0,586	4,09	4,09	4,09	4,09
	1%	R2	0,653	0,597	0,649	4,55	4,16	4,52	4,41
	2%	R1	0,446	0,489	0,441	2,81	3,08	2,77	2,89
	2%	R2	0,589	0,547	0,518	3,7	3,44	3,25	3,47
	3%	R1	0,453	0,478	0,431	2,36	2,49	2,24	2,36
	3%	R2	0,513	0,506	0,469	2,67	2,63	2,44	2,58
Pectina	3%	R1	0,538	0,555	0,545	3,22	3,32	3,26	3,27
	3%	R2	0,569	0,608	0,600	3,41	3,64	3,59	3,55
	4%	R1	0,498	0,531	0,533	2,57	2,74	2,75	2,68
	4%	R2	0,567	0,512	0,62	2,92	2,64	3,20	2,92
	5%	R1	0,523	0,533	0,533	2,57	2,61	2,61	2,60
	5%	R2	0,553	0,557	0,596	2,71	2,73	2,92	2,79

R: Repetición

Capacidad antioxidante ORAC

Agente encapsulante	Concentración de encapsulante		Concentración (uM)			Concentración (µmol ET/gss)			Promedio (µmol ET/gss)
			R1	R2	R3	R1	R2	R3	
Alginato de sodio	**1%**	**R1**	23,69	23,67	23,19	85,69	85,62	83,88	85,06
	1%	**R2**	21,09	21,48	21,43	76,28	77,69	77,51	77,16
	2%	**R1**	24,37	25,26	24,46	79,58	82,48	79,87	80,64
	2%	**R2**	24,23	23,66	22,52	79,12	77,26	73,54	76,64
	3%	**R1**	26,47	26,03	26,33	71,52	70,33	71,14	70,99
	3%	**R2**	26,07	24,15	22,5	70,44	65,25	60,79	65,49
Pectina	**3%**	**R1**	20,21	21,03	21,89	62,84	65,39	68,06	65,43
	3%	**R2**	21,22	20,68	20,23	65,98	64,30	62,90	64,39
	4%	**R1**	25,02	24,97	25,9	66,95	66,81	69,30	67,69
	4%	**R2**	20,66	22,13	20,86	55,28	59,21	55,82	56,77
	5%	**R1**	22,39	23,26	23,74	57,03	59,25	60,47	58,92
	5%	**R2**	26,97	26,9	23,3	68,70	68,52	59,35	65,52

R: Repetición

Perfil de polifenoles

		Alginato de sodio									Pectina								
		1%			2%			3%			3%			4%			5%		
Longitud de onda	**Polifenol específico**	**R1**	**R2**	**X̄**	**R1**	**R2**	**X̄**	**R1**	**R2**	**X̄**	**R1**	**R2**	**X̄**	**R1**	**R2**	**X̄**	**R1**	**R2**	**X̄**
270	Rutina	2,47	2,87	2,67	2,69	2,81	2,75	4,56	5,47	5,02	1,87	1,55	1,71	2,22	2,33	2,27	2,41	2,97	2,69
	Quercetina	1,34	1,56	1,45	1,79	1,79	1,79	2,32	2,77	2,54	0,56	0,46	0,51	0,67	0,70	0,69	0,72	0,89	0,81
280	Hidroxitirosol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Catequina	4,57	6,57	5,57	7,89	7,12	7,51	9,11	10,92	10,02	0,24	0,19	0,22	0,29	0,3	0,30	0,29	0,39	0,34
	Procianidina B2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Epicatequina	3,56	4,5	4,03	3,15	4,99	4,07	11,35	13,61	12,48	0,41	0,78	0,60	0,49	0,51	0,50	1,21	0,65	0,93
	Vanilina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Procianidina A2	2,12	1,94	2,03	2,06	1,98	2,02	2,35	2,81	2,58	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Oleopeurina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
324	Ácido galico	1,12	1,77	1,44	2,17	1,99	2,08	6,87	8,24	7,56	1,12	0,98	1,05	1,33	1,4	1,37	1,53	1,78	1,66
	Resveratrol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Apeginina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
373	Kaempferol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

R: repetición. X̄ promedio expresado en microgramos por gramo de sólido seco (µg/gss).

Tamaño de microcápsulas de alginato y pectina

N° Cápsula	TAMAÑO DE CAPSULAS (mm)						
	Alginato de sodio				Pectina		
	1%	2%	3% (ancho)	3% (largo)	3%	4%	5%
1	1,9	2,1	2,8	5	2	2,1	3
2	1,9	2,7	2,9	4	1,9	2,1	2,8
3	1,98	2,1	2,5	4,5	2	2,3	2,5
4	2	2,1	2,9	5	2	2,05	2,8
5	1,8	2,4	2,9	5,05	2	2,5	2,5
6	1,8	2,1	2,8	4,1	1,9	2	2,9
7	2	2,5	2,8	4,8	1,9	2,1	2,9
8	2	2,1	2,5	4	2	2,1	3
9	1,98	2,4	2,9	5	2	2,3	2,98
10	1,9	2,2	2,5	5	2,05	2,1	2,4
11	1,98	2,3	2,9	4,1	2	2,1	2,6
12	1,8	2,1	2,7	5,1	2	2	3
13	1,8	2	2,5	7	2	2,4	2,9
14	2	2,1	2,8	4,5	1,9	2,2	2,4
15	1,8	2,7	2,5	4,5	2	2,3	2,5
16	2	2,4	2,9	5,1	1,9	2,5	2,5
17	1,9	2,1	2,7	4,1	2	2,3	2,5
18	1,9	2,05	2,8	4,1	1,9	2,1	2,5
19	1,98	2,1	2,6	5,2	2	2,4	3
20	1,9	2,3	2,5	3,9	2	2	2,5
21	1,9	2,1	2,8	4,5	2,1	2,3	2,3
22	1,98	2,4	2,9	4,5	2	2	2,4
23	1,99	2,4	2,4	5	2	2,5	2,5
24	1,98	2,5	2,6	4	2	2,3	3
25	2	2,05	2,4	6,8	2,05	2,05	3
26	1,98	2,5	2,5	4,8	2,1	2,5	2,9
27	1,99	2,1	2,9	7	2	2,4	2,5
28	1,9	2,5	2,8	5,9	2	2,1	2,8
29	2	2,05	3	5,5	2	2,05	2,4
30	2	2,5	3	6	1,9	2,3	2,8
31	1,9	2,5	2,4	4	2	2	2,5
32	2	2,05	2,9	5	1,9	2	2,5
33	1,8	2,5	2,5	4,5	1,9	2,1	2,85
34	1,9	2,1	2,4	4	2	2,1	2,9
35	1,85	2,5	2,7	5	2	2	3
PROMEDIO	1,93	2,27	2,7	4,87	1,98	2,19	2,7
DS	0,07	0,21	0,2	0,84	0,06	0,17	0,24
CV	3,83	9,23	7,26	17,18	2,8	7,81	8,85

Anexo 5. Análisis de varianza para el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante y eficiencia de encapsulación y prueba Tukey por encapsulante

Tabla ANOVA para Polifenoles por Tratamientos encapsulante

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Tratamiento	12.3626	5	2.47252	48.18	0.0000
Error	1.53965	30	0.0513216		
Total (Corr.)	13.9023	35			

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
AG3	6	2.47057	a
PE5	6	2.69392	a
PE4	6	2.80062	Ab
AG2	6	3.17508	Bc
PE3	6	3.40855	C
AG1	6	4.24685	d

Tabla ANOVA para ORAC por Tratamientos encapsulante

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Tratamiento	2081.57	5	416.313	21.70	0.0000
Error	575.424	30	19.1808		
Total (Corr.)	2656.99	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para ORAC por Tratamientos encapsulante

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
PE5	6	62.2179	A
PE4	6	62.2279	A
PE3	6	64.9118	A
AG3	6	68.2422	A
AG2	6	78.6409	B
AG1	6	81.1123	B

Tabla ANOVA para Eficiencia encapsulación por Tratamientos encapsulante

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Tratamiento	1954.83	5	390.967	48.18	0.0000
Error	243.456	30	8.11521		
Total (Corr.)	2198.29	35			

Pruebas de Múltiple Rangos para Eficiencia encapsulación por Tratamientos encapsulante

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
AG3	6	31.0669	A
PE5	6	33.8754	A
PE4	6	35.2171	Ab
AG2	6	39.9259	Bc
PE3	6	42.8617	C
AG1	6	53.4031	d

Anexo 6. Análisis de varianza para el perfil de polifenoles y prueba Tukey por encapsulante

Tabla ANOVA para Rutina por Tratamiento encapsulante

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Tratamiento	12.8045	5	2.56091	21.61	0.0009
Error	0.711078	6	0.118513		
Total (Corr.)	13.5156	11			

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
PE3	2	1.7065	a
PE4	2	2.272	a
AG1	2	2.67	a
PE5	2	2.6865	a
AG2	2	2.7505	a
AG3	2	5.016	b

Tabla ANOVA para Quercetina por Tratamiento encapsulante

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Tratamiento	6.10176	5	1.22035	48.88	0.0001
Error	0.149801	6	0.0249669		
Total (Corr.)	6.25156	11			

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
PE3	2	0.513	a
PE4	2	0.684907	a
PE5	2	0.8075	a
AG1	2	1.4515	b
AG2	2	1.7875	b
AG3	2	2.545	c

Tabla ANOVA para Catequina por Tratamiento encapsulante

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Tratamiento	184.811	5	36.9622	56.03	0.0001
Error	3.95822	6	0.659704		
Total (Corr.)	188.769	11			

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
PE3	2	0.2155	a
PE4	2	0.295457	a
PE5	2	0.3395	a
AG1	2	5.5695	b
AG2	2	7.507	bc
AG3	2	10.0165	c

Tabla ANOVA para Epicatequina por Tratamiento encapsulante

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Tratamiento	209.669	5	41.9338	51.50	0.0001
Error	4.88531	6	0.814219		
Total (Corr.)	214.554	11			

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
PE4	2	0.499045	a
PE3	2	0.595	a
PE5	2	0.9325	a
AG1	2	4.0285	a
AG2	2	4.0698	a
AG3	2	12.479	b

Tabla ANOVA para Procianidina A2 por Tratamiento encapsulante

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Tratamiento	15.0568	5	3.01136	141.44	0.0000
Error	0.127742	6	0.0212904		
Total (Corr.)	15.1845	11			

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
PE4	2	0	a
PE5	2	0	a
PE3	2	0	a
AG2	2	2.0215	b
AG1	2	2.03	b
AG3	2	2.578	b

Tabla ANOVA para Acido gálico por Tratamiento encapsulante

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Tratamiento	61.8579	5	12.3716	61.98	0.0000
Error	1.19772	6	0.199619		
Total (Corr.)	63.0556	11			

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
PE3	2	1.0535	a
PE4	2	1.36644	a
AG1	2	1.444	a
PE5	2	1.6575	a
AG2	2	2.0785	a
AG3	2	7.555	b

Anexo 7. Panel fotográfico

Fotografía 1.
Separación de pulpa y cáscara de tuna roja





Fotografía 2.
Análisis fisicoquímicos

Determinación de pH



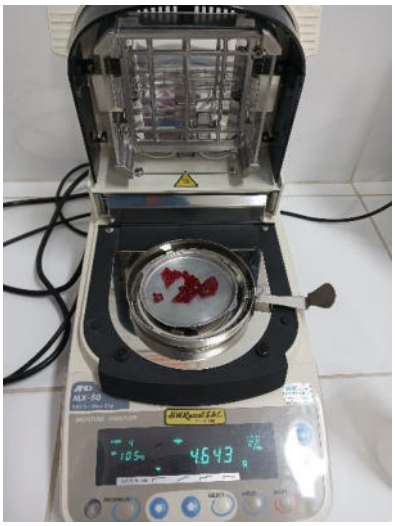
Determinación de acidez



Determinación de °Brix



Determinación de Humedad por balanza gravimétrica y estufa





Fotografía 3.
Determinación de tamaño de partícula (tamaño de partícula 2,0 mm; tamiz N°8)



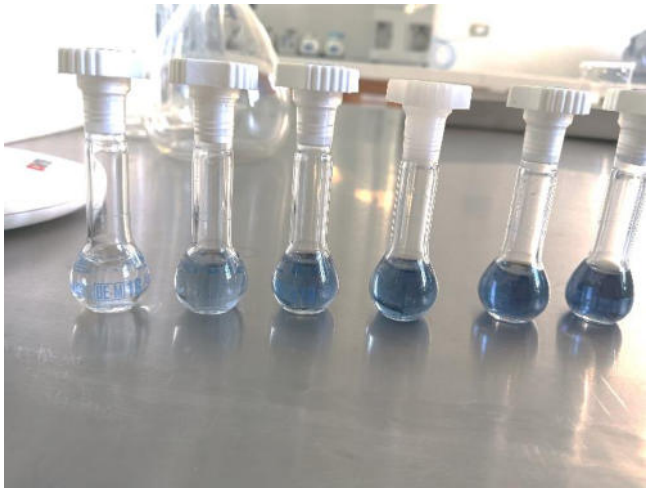


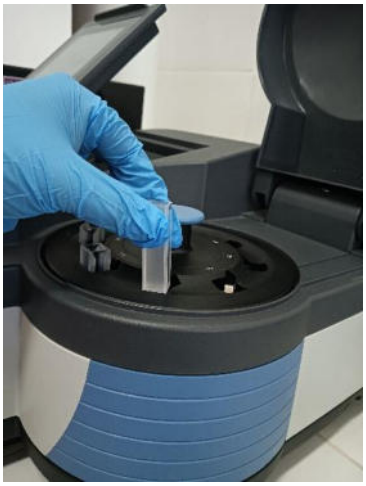
Fotografía 4.
Extracción por ultrasonido





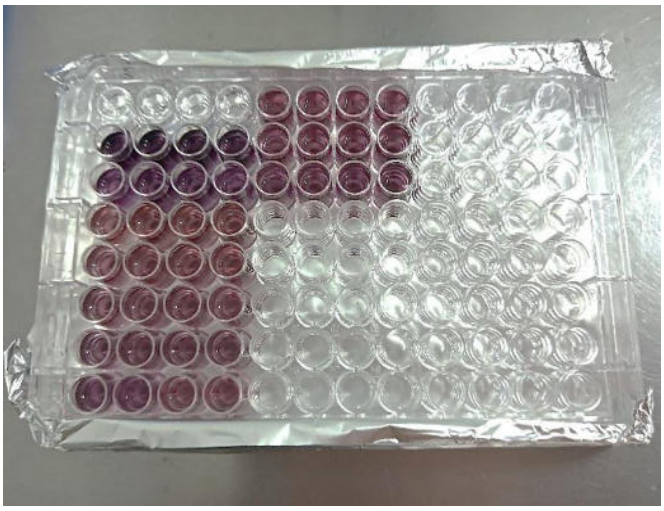
Fotografía 5.
Análisis de polifenoles totales



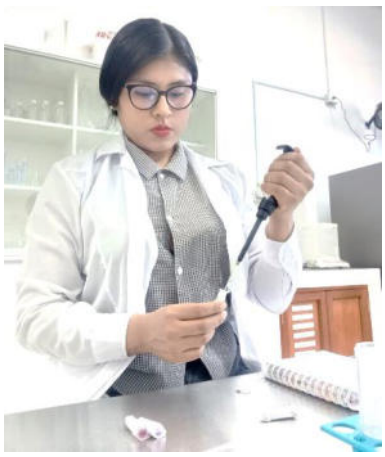


Fotografía 6.
Análisis de la capacidad antioxidante
Método DPPH





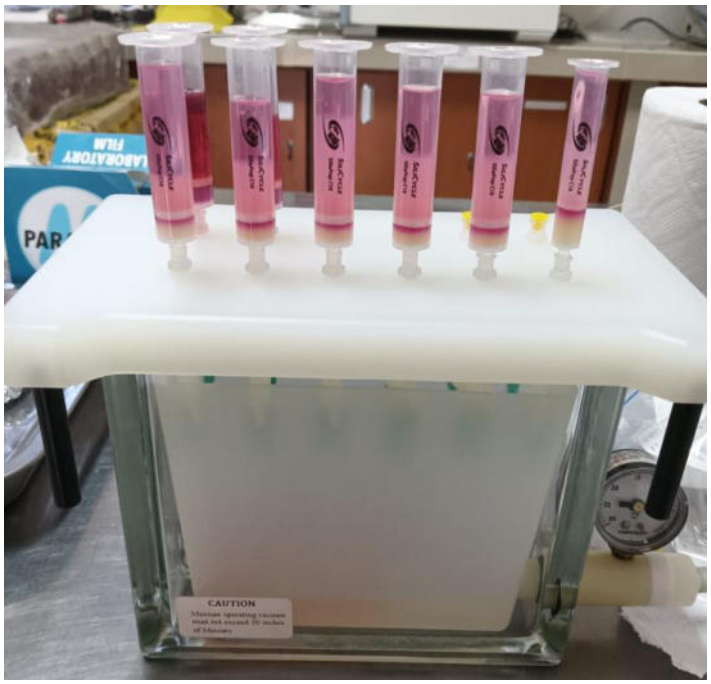
Método ORAC



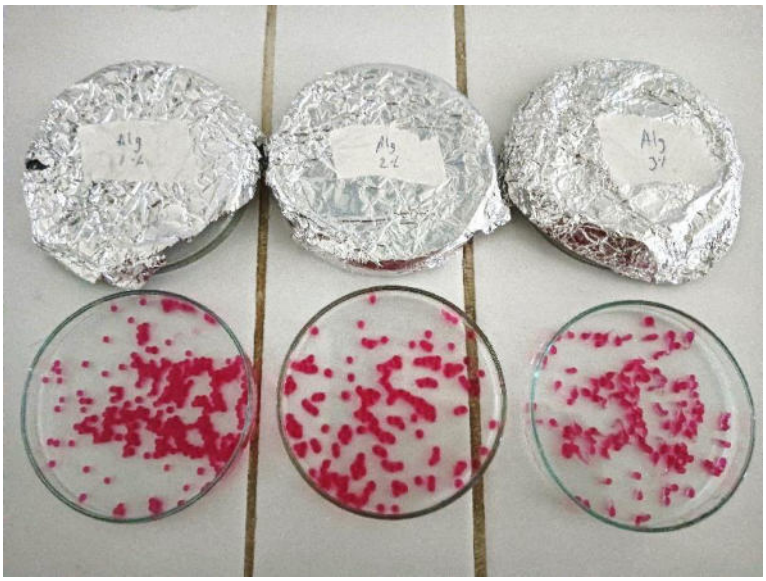


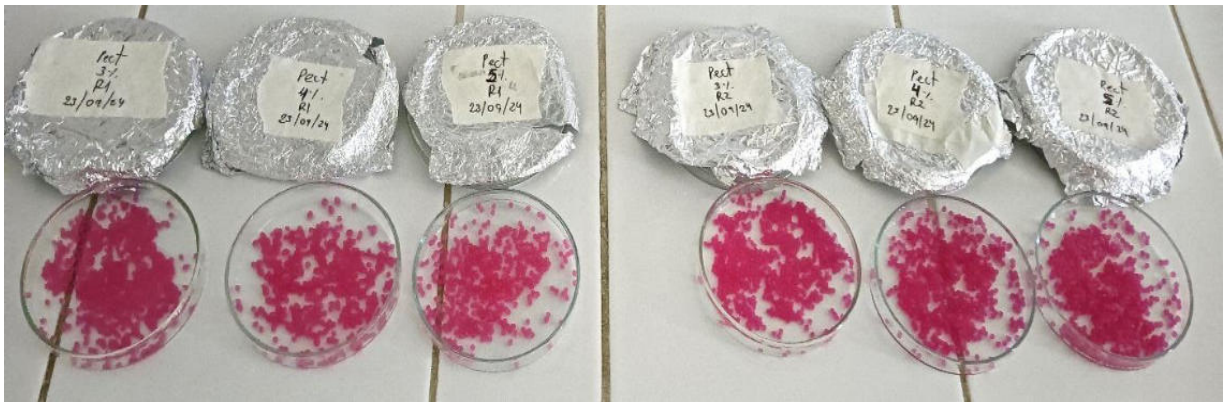
Fotografía 7.
Perfil de polifenoles
Extracción de fase sólida

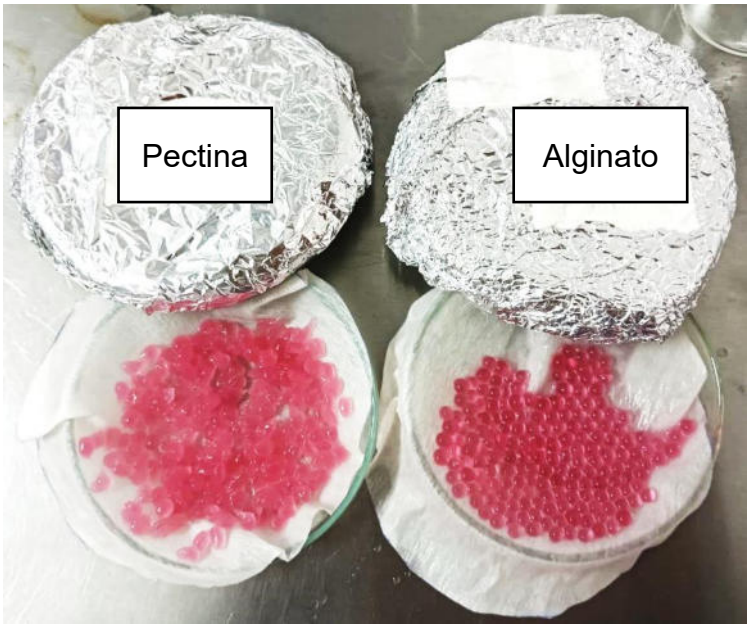




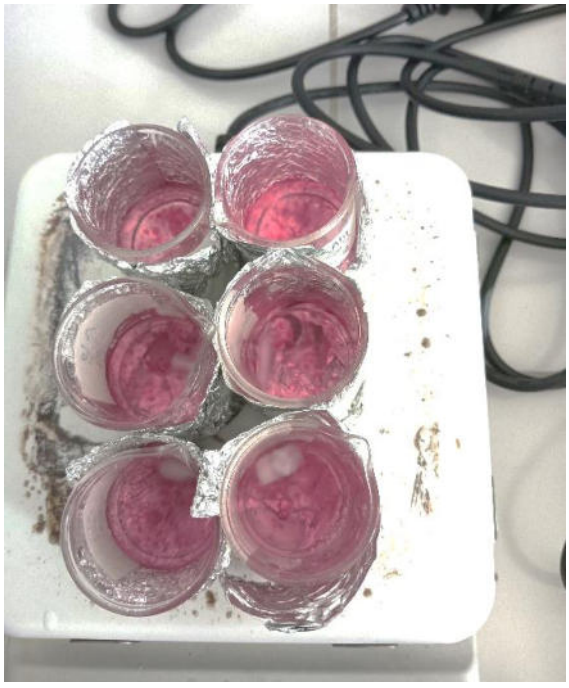
Fotografía 8.
Microencapsulación por gelificación iónica



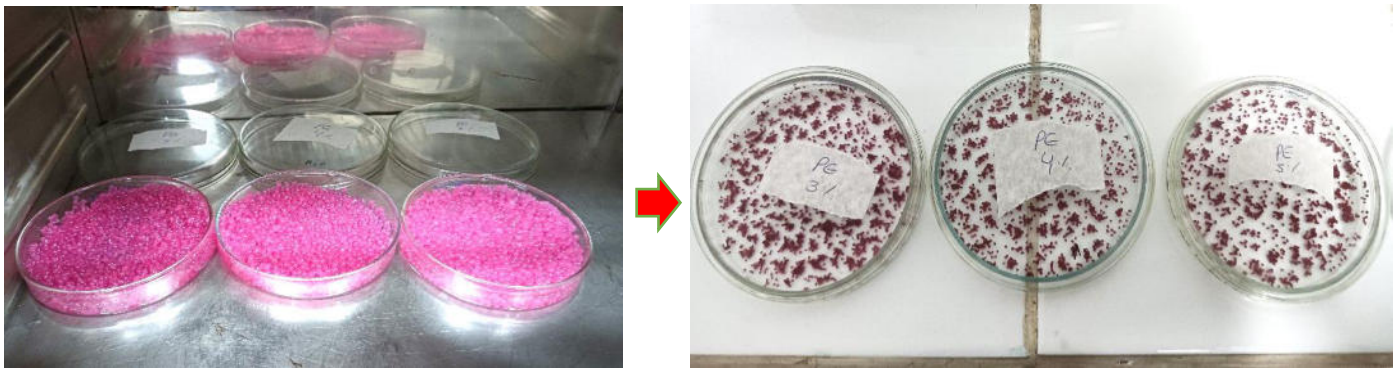




Fotografía 9.
Disolución de microencapsulados para análisis de polifenoles totales, perfil de polifenoles y capacidad antioxidante



Fotografía 10.
Secado de microencapsulados para análisis SEM (microscopia electrónica de barrido)



Fotografía 11.
Preparación de muestras para análisis SEM



Fotografía 12.
Recubrimiento de muestras en oro



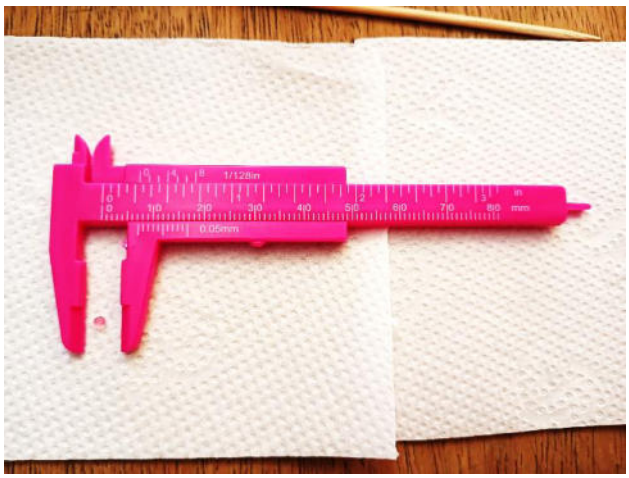
Fotografía 13.
Análisis SEM







Fotografía 14.
Medición del tamaño de los encapsulados



"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Angiee Gabriela Quispe Valdivia
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 71983277
Correo electrónico	: angieevaldivia16@gmail.com
Teléfono/Celular	: 958183052

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : "Microencapsulación mediante gelificación iónica de polifenoles extraidos de la cáscara de tuna roja (Opuntia ficus-indica)"
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra: https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.11.02
c) Fecha de publicación : 19 de noviembre 2025

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Nils Leander Huamán Castilla
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 41939181
c) ORCID : 0000-0002-3748-0883

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71983277
NOMBRES Y APELLIDOS : Angiee Gabriela Quispe Valdivia

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(_X_) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....



DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71983277
NOMBRES Y APELLIDOS : Angiee Gabriela Quispe Valdivia
FECHA : 19/11/2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Angiee Gabriela Quispe Valdivia,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería Agroindustrial,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 71983277, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:

Microencapsulación mediante gelificación iónica de polifenoles extraidos de la cáscara de tuna roja (Opuntia ficus-indica)

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 19 de noviembre del 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: Angiee Gabriela Quispe Valdivia
DNI: 71983277

INFORME FINAL DE TESIS_NH turniting.docx

Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:516168026

Fecha de entrega
21 oct 2025, 3:05 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
21 oct 2025, 3:23 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
INFORME FINAL DE TESIS_NH turniting.docx

Tamaño del archivo
33.8 MB

130 páginas

14.032 palabras

75.794 caracteres

UNAM

Firmado digitalmente por HUAMAN CASTILLA Nils Leander FAU 20449347448 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02.12.2025 11:32:09 -05:00

09

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
1% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alerta de integridad para revisión

Texto oculto
24 caracteres sospechosos en N.° de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
1% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Trabajos entregados
Fachhochschule fuer Wirtschaft Berlin on 2013-08-06 6%

2 Trabajos entregados
California State University, Fresno on 2019-12-03 3%

3 Internet
repositorio.unam.edu.pe 3%

4 Trabajos entregados
Grand Canyon University on 2015-12-10 1%

5 Trabajos entregados
American College of Education on 2023-10-07 <1%

6 Internet
www.fcb.uanl.mx <1%

7 Internet
hdl.handle.net <1%

8 Internet
1library.co <1%

9 Internet
revistas.unicauca.edu.co <1%

10 Internet
repositorio.untumbes.edu.pe <1%

11 Internet
unam.edu.pe <1%

12 Internet
www.cityofhinesville.org <1%

13 Internet
revistas.itm.edu.co <1%

14 Trabajos entregados
Universidad Nacional Agraria La Molina on 2025-07-21 <1%

15 Trabajos entregados
CONACYT on 2018-05-17 <1%

16 Internet
repositorio.unap.edu.pe <1%

17 Internet
repositorio.uta.edu.ec <1%

18 Internet
www.researchgate.net <1%

19 Internet
nanoage.eu <1%

20 Trabajos entregados
Grand Canyon University on 2015-11-18 <1%

21 Trabajos entregados
Murrieta Valley Unified School District on 2022-06-04 <1%

22 Trabajos entregados
Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2021-05-12 <1%

23 Internet
iccsafe.org <1%

24 Internet
ru.dgb.unam.mx <1%

25 Trabajos entregados
Universidad de Guadalajara on 2023-04-24 <1%

26 Internet

tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx <1%

27 Trabajos entregados

Lincoln Park High School on 2012-05-24 <1%

28 Internet

dspace.ueb.edu.ec <1%

29 Trabajos entregados

Universidad Nacional del Centro del Peru on 2025-03-23 <1%

30 Trabajos entregados

unapiquitos on 2024-07-10 <1%

31 Internet

coralito.umar.mx:8080 <1%

32 Internet

fortmonmouthrecords.com <1%

33 Internet

www.bpc.bt <1%

34 Trabajos entregados

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador on 2019-0... <1%

35 Trabajos entregados

ipn on 2025-06-24 <1%

36 Internet

repositorio.ufsc.br <1%

37 Internet

tesis.ucsm.edu.pe <1%

38 Trabajos entregados

Universidad Nacional del Centro del Peru on 2025-07-16 <1%

39 Internet

ri.ues.edu.sv <1%

40 Trabajos entregados
Instituto Especializado de Estudios Superiores Loyola on 2018-06-16 <1%

41 Internet
repositorio.upads.edu.pe <1%

42 Publicación
Hung, C.C.. "Relationship between carbonaceous materials and polychlorinated ... <1%

43 Trabajos entregados
Submitted on 1692223791829 <1%

44 Trabajos entregados
Universidad Nacional del Centro del Peru on 2025-04-09 <1%

45 Internet
aprenderly.com <1%

46 Internet
revistabiociencias.uan.edu.mx <1%

47 Trabajos entregados
Universidad Ricardo Palma on 2019-05-30 <1%

48 Internet
manualzz.com <1%

49 Internet
repositorio.uns.edu.pe <1%

50 Internet
repositorio.udea.edu.co <1%

51 Trabajos entregados
unajma on 2024-07-16 <1%

52 Internet
www.dspace.uce.edu.ec <1%

53 Publicación
Adriana R. Machado, Pedro M. P. Silva, António A. Vicente, Leonor A. Souza-Soares... <1%

54 Trabajos entregados
Indian Institute of Technology, Madras on 2015-05-04 <1%

55 Publicación
Patricia Tischendorf, Laura Beck, Tobias Krähling, Jan H. Lange, Walter Heindel. "I... <1%

56 Trabajos entregados
Universidad Nacional De La Amazonia Peruana on 2025-09-30 <1%

57 Trabajos entregados
Universidad TecMilenio on 2025-09-15 <1%

58 Internet
docta.ucm.es <1%

59 Internet
repositorio.uchile.cl <1%

60 Internet
repositorio.uncp.edu.pe <1%

61 Internet
rid.unrn.edu.ar <1%

62 Trabajos entregados
urjc on 2022-12-01 <1%

63 Internet
web10.unl.edu.ar:8080 <1%

64 Trabajos entregados
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA on 2019-10-17 <1%

65 Trabajos entregados
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA on 2019-10-21 <1%

66 Trabajos entregados
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA on 2019-12-10 <1%

67 Trabajos entregados
Universidad Catolica San Antonio de Murcia on 2025-05-22 <1%

68 Trabajos entregados
Universitas Islam Negeri Sumatera Utara on 2025-09-16 <1%

69 Publicación
Yang, N.. "PCBs and organochlorine pesticides (OCPs) in edible fish and shellfish ... <1%

70 Internet
lookformedical.com <1%

71 Internet
repositorio.lamolina.edu.pe <1%

72 Internet
repositorio.uach.mx <1%

73 Internet
repositorio.unajma.edu.pe <1%

74 Trabajos entregados
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA on 2019-10-21 <1%

75 Trabajos entregados
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA on 2021-06-03 <1%

76 Publicación
Mariana Pereira Silveira, Francisco Lucas Chaves Almeida, Izabela Dutra Alvim, A... <1%

77 Trabajos entregados
Universidad Nacional del Centro del Peru on 2020-12-28 <1%

78 Trabajos entregados
Universidad Nacional del Centro del Peru on 2024-10-12 <1%

79 Trabajos entregados
Universidad San Marcos on 2025-08-25 <1%

80 Trabajos entregados
Universidad de Costa Rica on 2017-07-02 <1%

81 Internet
cdi.mecon.gov.ar <1%

82 Internet

core.ac.uk <1%

83 Internet

idoc.pub <1%

84 Internet

repositorio.ug.edu.ec <1%

85 Internet

www.alanrevista.org <1%

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 869-2025-CU

Moquegua, 05 de diciembre de 2025

VISTOS:

El Proveído N° 5108-2025-R de fecha 05 de diciembre de 2025 emitido por el Rectorado, Informe N° D0509-2025-UNAM-R-SG de fecha 05 de diciembre de 2025 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° D0177-2025-SEGE-GT emitido por la Especialista Administrativo I–Grados y Títulos, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 47-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 05 de diciembre de 2025, y;

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley N° 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 18° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado bajo Resolución de Asamblea Universitaria N° 015-2025-AU-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 14, del artículo 20° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, el Sr. Rector es el personero y representante legal de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme a lo dispuesto por la Ley N° 30220-Ley Universitaria, tiene a su cargo la Dirección, Conducción y Gestión del Gobierno Universitario en todos sus ámbitos, concordante con el artículo 24° y numeral 2 del artículo 26° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Informe Técnico N° D0177-2025-SEGE-GT de fecha 05 de diciembre de 2025, e Informe N° D0509-2025-UNAM-R-SG de fecha 05 de diciembre de 2025, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expediente para el trámite de Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial de la Bachiller: QUISPE VALDIVIA ANGIEE GABRIELA de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, quien se encuentra apta para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de Actividades y Servicios Académicos y la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 05 de diciembre de 2025;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...). Asimismo, la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Extraordinaria N° 47-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 05 de diciembre de 2025, emitió, el siguiente, Acuerdo, POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial por la modalidad de sustentación de tesis a la Bachiller: QUISPE VALDIVIA ANGIEE GABRIELA, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 869-2025-CU

Moquegua, 05 de diciembre de 2025

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220 Ley Universitaria, el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario:

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN a la Bachiller

- **QUISPE VALDIVIA ANGIEE GABRIELA**

TESIS : "MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE GELIFICACIÓN IÓNICA DE POLIFENOLES EXTRAIDOS DE LA CÁSCARA DE TUNA ROJA (opuntia ficus-indica)", cuyo Asesor Principal fue el Dr. Nils Leander Huaman CAstilla.

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

Por la modalidad de SUSTENTACIÓN DE TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General a través de quien corresponda, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER, el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA SECRETARIA GENERAL

ABOG. EDGAR PINTO HUANCAVILCA
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA
VRI
FAIN
EPIA
GyT
DASA
OTI
Interesado
c.c. Arch.

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe