

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE
ALMACENAMIENTO EN LA OXIDACIÓN DE ACEITE DE
UNGURAHUI (*Oenocarpus bataua*) EN HIDROGELES DE
ALGINATO CON Y SIN RECUBRIMIENTO CON
PROTEÍNAS DE CLARA DE HUEVO**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Autores : Bach. Ana Yanet Lopez Cordova
: Bach. Diana Noemi Zurita Ramirez**

**Asesores : Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano
: Dr. Juan Dario Rios Mera**

Línea de investigación: LI_IIA_03: Ingeniería de Procesos Alimentarios

JAÉN – PERÚ

2025

Ana Yanet Lopez Cordova Diana Noemi Zurita Ram...

EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN LA OXIDACIÓN DE ACEITE DE UNGU...

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3299993431

55 Páginas

Fecha de entrega

21 jul 2025, 10:54 a.m. GMT-5

12.014 Palabras

Fecha de descarga

21 jul 2025, 11:05 a.m. GMT-5

65.289 Caracteres

Nombre de archivo

INFORME_FINAL_removed_1.pdf

Tamaño de archivo

2.5 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Segundo Sanchez Tello
Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

7% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 25 de julio del año 2025, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dra. Delicia Liliana Bazán Tantaleán

Secretario: MSc. Andrea Fioreli Velarde Santoyo

Vocal: Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos, para evaluar la Sustentación de:

() Trabajo de Investigación

(X) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN LA OXIDACIÓN DE ACEITE DE UNGURAHUI (*Oenocarpus bataua*) EN HIDROGELES DE ALGINATO CON Y SIN RECURBRIMIENTO CON PROTEINAS DE CLATA DE HUEVO", presentado por las tesisistas Diana Noemi Zurita Ramirez y Ana Yanet Lopez Cordova de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (17) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 12:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 25 de julio de 2025

Dra. Delicia Liliana Bazán Tantaleán
Presidente

M.Sc. Andrea Fioreli Velarde Santoyo
Secretario

Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos
Vocal

“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, **Ana Yanet Lopez Cordova**, egresado de la carrera Profesional de **Ingeniería de Industrias Alimentarias** de la Facultad de **Ingeniería** de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **75787977**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en la oxidación de aceite de ungurahui (*Oenocarpus bataua*) en hidrogeles de alginato con y sin recubrimiento con proteínas de clara de huevo”. Asesorado por el **Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano** y el **Dr. Juan Dario Rios Mera**. El mismo que presento bajo la modalidad de **tesis** para optar; el Título Profesional de **Ingeniero de Industrias Alimentarias**.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 27, noviembre, 2025.

Bach. Ana Yanet Lopez Cordova

“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, **Diana Noemi Zurita Ramirez**, egresado de la carrera Profesional de **Ingeniería de Industrias Alimentarias** de la Facultad de **Ingeniería** de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **60687935**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en la oxidación de aceite de ungurahui (*Oenocarpus bataua*) en hidrogeles de alginato con y sin recubrimiento con proteínas de clara de huevo”. Asesorado por el **Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano** y el **Dr. Juan Dario Rios Mera**. El mismo que presento bajo la modalidad de **tesis** para optar; el Título Profesional de **Ingeniero En Industrias Alimentarias**.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 27, noviembre, 2025.



Bach. Diana Noemi Zurita Ramirez

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MATERIALES Y MÉTODOS	11
2.1. Lugar de ejecución	11
2.2. Materiales	11
2.3. Métodos.....	11
2.3.1. Producción de micropartículas por gelificación iónica	11
2.3.2. Recubrimiento de los hidrogeles con proteínas de clara de huevo.....	13
2.3.3. Caracterización de las micropartículas	15
2.3.3.1 Humedad	15
2.3.3.2 Cenizas	16
2.3.3.3 Proteínas.....	16
2.3.4. Morfología y tamaño medio	17
2.3.5. Eficiencia de microencapsulación	17
2.3.6. Índice de peróxido	18
2.3.7. Diseño experimental	19
2.3.8. Análisis de datos.....	21
III. RESULTADOS	21
3.1. Caracterización de las micropartículas.....	21
3.1.1 Humedad.....	21
3.1.2 Cenizas	22

3.1.3 Proteínas	23
3.2. Morfología y tamaño medio	24
3.3. Eficiencia de microencapsulación	26
3.4. Índice de peróxidos	26
IV. DISCUSIONES	28
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
5.1. Conclusiones	33
5.2. Recomendaciones	34
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
AGRADECIMIENTO	39
DEDICATORIA	40
ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición centesimal de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico	47
Tabla 2. Resultados de la prueba T Student para humedad, proteína, ceniza, tamaño medio y eficiencia de encapsulación.	47
Tabla 3. Resultados del índice de peróxidos (meq O ₂ /kg aceite) de las tres repeticiones realizadas en MR y MSR almacenadas a 45,55 y 65°C durante 1,3 y 5 horas.....	48
Tabla 4. Análisis de varianza para el índice de peróxido en MSR y MR a diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento.	50
Tabla 5. Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del índice de peróxido en MR y MSR	50
Tabla 6. Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del efecto de la temperatura en el IP de las micropartículas.....	50
Tabla 7. Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del efecto del tiempo de almacenamiento en el IP de las micropartículas.....	51
Tabla 8. Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del IP de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico a 45, 55 y 65°C	51
Tabla 9. Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del IP de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico durante 0,1,3 y 5 horas de almacenamiento	52
Tabla 10. Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del IP de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico a diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo para la obtención de micropartículas por gelificación iónica	12
Figura 2. Proceso de atomización de las micropartículas.....	13
Figura 3. Diagrama de flujo del recubrimiento de los hidrogeles con proteínas de clara de huevo (PCH).....	14
Figura 4. Curva padrón de $[\text{Fe}]^{(3+)}$ (ug) con valores de absorbancia	19
Figura 5. Esquema Experimental de las micropartículas de aceite de Ungurahui (<i>Oenocarpus bataua</i>).....	20
Figura 6. Humedad en micropartículas con y sin recubrimiento (%).....	22
Figura 7. Cenizas en micropartículas con y sin recubrimiento (%)	23
Figura 8. Proteínas en micropartículas con y sin recubrimiento (%)	24
Figura 9. Tamaño medio en micropartículas con y sin recubrimiento (%).....	25
Figura 10. Morfología de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico	25
Figura 11. Eficiencia de encapsulación en micropartículas con y sin recubrimiento (%) .	26
Figura 12. Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento de las MR y MSR en el índice de peróxido	27
Figura 13. Pesado del alginato de sodio	41
Figura 14. Dilución del alginato de sodio en agitadores magnéticos	41
Figura 15. Soluciones de alginato de sodio diluidas	41
Figura 16. Pesado de cloruro de calcio.....	42
Figura 17. Dilución y ajuste de pH de cloruro de calcio	42
Figura 18. Emulsificación de la solución de alginado de sodio y aceite de ungurahui.....	42
Figura 19. Atomización de micropartículas	43
Figura 20. Lavado de micropartículas	43
Figura 21. Pesado de micropartículas.....	43

Figura 22. Ajuste de pH de la solución acuosa de proteínas	44
Figura 23. Dilución de micropartículas con la solución acuosa de proteínas	44
Figura 24. Lavado de micropartículas recubiertas	44
Figura 25. Determinación de humedad	45
Figura 26. Determinación de proteínas	45
Figura 27. Determinación de cenizas	45
Figura 28. Determinación de eficiencia de encapsulación	46
Figura 29. Determinación de tamaño medio de las micropartículas	46
Figura 30. Evaluación de índice de peróxidos	46

Lista de Abreviaturas

GI	Gelificación iónica
MSR	Micropartículas sin recubrimiento proteico
MR	Micropartículas con recubrimiento proteico
PCH	Proteínas de clara de huevo
EE	Eficiencia de encapsulación
AS	Alginato de sodio
NaOH	Hidróxido de sodio
IP	Índice de peróxidos
HCl	Ácido clorhídrico
CaCl ₂	Cloruro de calcio

RESUMEN

El aceite de ungurahui (*Oenocarpus bataua*) es rico en ácidos grasos esenciales beneficiosos para la salud, pero es susceptible a la oxidación. La microencapsulación por gelificación iónica mejora su estabilidad oxidativa, pero los hidrogeles resultantes son porosos y requieren un recubrimiento con proteínas, como las proteínas de clara de huevo (PCH). El objetivo general fue evaluar el efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en la oxidación de aceite de ungurahui en hidrogeles de alginato, con y sin recubrimiento con PCH. Se evaluaron las características fisicoquímicas de las micropartículas (humedad, cenizas y proteínas), morfología y tamaño medio, y eficiencia de encapsulación. Además, las micropartículas fueron sometidas a temperaturas de 45°C, 55°C y 65°C durante 1, 3 y 5 horas para determinar el índice de peróxidos. Las micropartículas sin recubrimiento (MSR) mostraron alto porcentaje de humedad, mientras que las micropartículas recubiertas (MR) presentaron un incremento significativo en proteínas (37.09%) y una eficiencia de encapsulación de 81.74%. Aunque ambas micropartículas presentaron producción de peróxidos con el aumento de temperatura y tiempo, las MR presentaron mayor estabilidad oxidativa. En conclusión, el recubrimiento proteico en las micropartículas de aceite de ungurahui fue efectivo y se sugiere su uso en matrices alimentarias.

Palabras claves: microencapsulación, gelificación iónica, *Oenocarpus bataua*, clara de huevo, estabilidad oxidativa.

ABSTRACT

Ungurahui oil (*Oenocarpus bataua*) is rich in essential fatty acids that are beneficial to health, but it is susceptible to oxidation. Microencapsulation by ionic gelation improves its oxidative stability, but the resulting hydrogels are porous and require coating with proteins, such as egg white proteins (EWP). The overall objective was to evaluate the effect of temperature and storage time on the oxidation of ungurahui oil in alginate hydrogels, with and without EAP coating. The physicochemical characteristics of the microparticles (moisture, ash, and protein), morphology and average size, and encapsulation efficiency were evaluated. In addition, the microparticles were subjected to temperatures of 45°C, 55°C, and 65°C for 1, 3, and 5 hours to determine the peroxide index. The uncoated microparticles (MSR) showed a high percentage of moisture, while the coated microparticles (MR) showed a significant increase in protein (37.09%) and an encapsulation efficiency of 81.74%. Although both microparticles showed peroxide production with increasing temperature and time, the MR showed greater oxidative stability. In conclusion, protein coating on ungurahui oil microparticles was effective and its use in food matrices is suggested.

Keywords: microencapsulation, ionic gelation, *Oenocarpus bataua*, egg white, oxidative stability.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria alimentaria valora la importancia de aprovechar una amplia variedad de recursos naturales, entre ellos el aceite de ungurahui (*Oenocarpus bataua*) con el propósito de fomentar una alimentación más saludable (Jaramillo et al., 2022). Este aceite es originario de la Amazonía peruana, se caracteriza por su perfil de ácidos grasos, destacando especialmente su alto contenido de ácido oleico (80.65%), palmítico (23.53%), linoleico (2,530%), linolénico (0,77%) Vargas et al. (2022). Ofrece beneficios significativos para la salud, tales como la reducción del riesgo de enfermedades cardíacas, el mantenimiento de niveles normales de colesterol, la disminución de la presión arterial y la prevención de enfermedades crónicas degenerativas (Calderón et al., 2024; Jaramillo et al., 2022). Sin embargo, a pesar de sus beneficios potenciales para la salud, el aceite de ungurahui es susceptible a la oxidación, lo que limita su aplicación en productos alimenticios y su capacidad para conservar sus propiedades beneficiosas a lo largo del tiempo (Maytahuari, 2022).

En este sentido, la microencapsulación se presenta como una tecnología prometedora para proteger y preservar los componentes activos del aceite de ungurahui. La gelificación iónica es una técnica utilizada en este proceso, ya que permite microencapsular el aceite en micropartículas, creando una barrera física contra factores ambientales como la luz, el oxígeno, la humedad y el calor, que podrían favorecer su oxidación (Meneses, 2022). No obstante, Somacal et al. (2022) destacan el impacto de la gelificación iónica en la estabilidad oxidativa y la conservación del contenido de ácidos grasos de aceites vegetales. Sin embargo, esta técnica conlleva a la formación de hidrogeles porosos, lo que hace necesario recubrir las micropartículas con proteínas de carga opuesta (Rengifo y Torres, 2018).

Una solución para mejorar la resistencia de las micropartículas de alginato, es el recubrimiento con proteínas de clara de huevo que poseen propiedades; gelificantes, espumantes y estabilizantes (Zhu et al., 2023). Este recubrimiento puede aumentar la protección de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados del aceite de ungurahui, además, el uso de micropartículas recubiertas con proteínas de clara de huevo sería de gran aporte para la industria alimentaria, puesto que puede mejorar la calidad nutritiva de productos de panadería, cárnicos y snacks (Rengifo y Torres, 2018).

Por ello que nacen investigaciones sobre este tema interesante, tales como lo reportado por Rengifo y Torres (2018), quienes caracterizaron micropartículas de alginato y pectina producidas por gelificación iónica recubiertas con proteína de sangre bovina y clara de huevo en diferentes concentraciones, y evaluaron su resistencia física mediante simulación gastrointestinal *in vitro*. Los resultados demostraron que hubo mayor adsorción de proteínas (65.47 %) en las micropartículas de pectina recubiertas con sangre bovina (10 %), y la resistencia física se vio más afectada por el tipo de polisacárido, siendo más resistentes las micropartículas de alginato.

Es importante destacar que, tras llevar a cabo el proceso de microencapsulación de un aceite y su recubrimiento con proteínas, es fundamental controlar diversos factores, como la temperatura y el tiempo durante su almacenamiento, para asegurar la eficacia y estabilidad de las micropartículas resultantes a lo largo del tiempo (Budin et al., 2025). En un estudio realizado por De Souza et al. (2024) evaluaron la estabilidad oxidativa del aceite de sacha inchi libre, en micropartículas recubiertas y no recubiertas producidas por gelificación iónica, con y sin recubrimiento de ovoalbúmina almacenadas a 60 °C durante 4 días, mostrando que el aceite microencapsulado y recubierto con proteínas presentó mejor estabilidad oxidativa, logrando conservar su perfil de ácidos grasos poliinsaturados a comparación del aceite microencapsulado sin recubrimiento proteico, lo cual sugiere su aplicación en alimentos para aumentar su valor nutricional y vida útil.

De acuerdo al panorama presentado, la presente investigación buscó evaluar ¿cuál es el efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en la oxidación del aceite de unguurahui (*Oenocarpus bataua*) en hidrogeles de alginato con y sin recubrimiento con proteínas de clara de huevo?

Los objetivos de la investigación fueron:

Objetivo general

- Evaluar el efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento en la oxidación de aceite de unguurahui (*Oenocarpus bataua*) en hidrogeles de alginato con y sin recubrimiento con proteínas de clara de huevo.

Objetivos específicos

- Caracterizar las micropartículas recubiertas con clara de huevo y sin recubrir: humedad, cenizas, proteína, morfología y tamaño medio.

- Evaluar la eficiencia de microencapsulación del aceite.
- Determinar el índice de peróxido del aceite de ungurahui en hidrogeles sometidos a la acción de temperatura (45°C, 55°C y 65°C) y tiempo (1,3 y 5 horas) de almacenamiento.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

Los análisis y ensayos experimentales se realizaron en la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP), en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias y en el Laboratorio de la Unidad Especializada de Control de Calidad del Centro de Investigación de Recursos Naturales de la Amazonía (CIRNA) de la ciudad de Iquitos, departamento Loreto.

2.2. Materiales

Los materiales utilizados incluyen alginato de sodio (AS) (lote GQB0420801, F&M, Perú). Para la interacción electrostática se utilizó clara de huevo (CH) (mercado central, Iquitos, Perú), aceite de ungurahui (lote 160, D'SOUZA NALSAC, Iquitos, Perú), cloruro de calcio anhidro (lote: K47498778, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), ácido clorhídrico (lote: K476888817611, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), ácido sulfúrico (lote: K4746131545, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), cloroformo (lote: K47769245, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), hidróxido de sodio (lote: K47498778, Merck Peruana S.A., Lima, Perú), enzima pancreatina de páncreas de cerdos adquirido de Sigma-Aldrich (código: P7545-25G, lote SLBP9482V, actividad 8 x USP especificaciones).

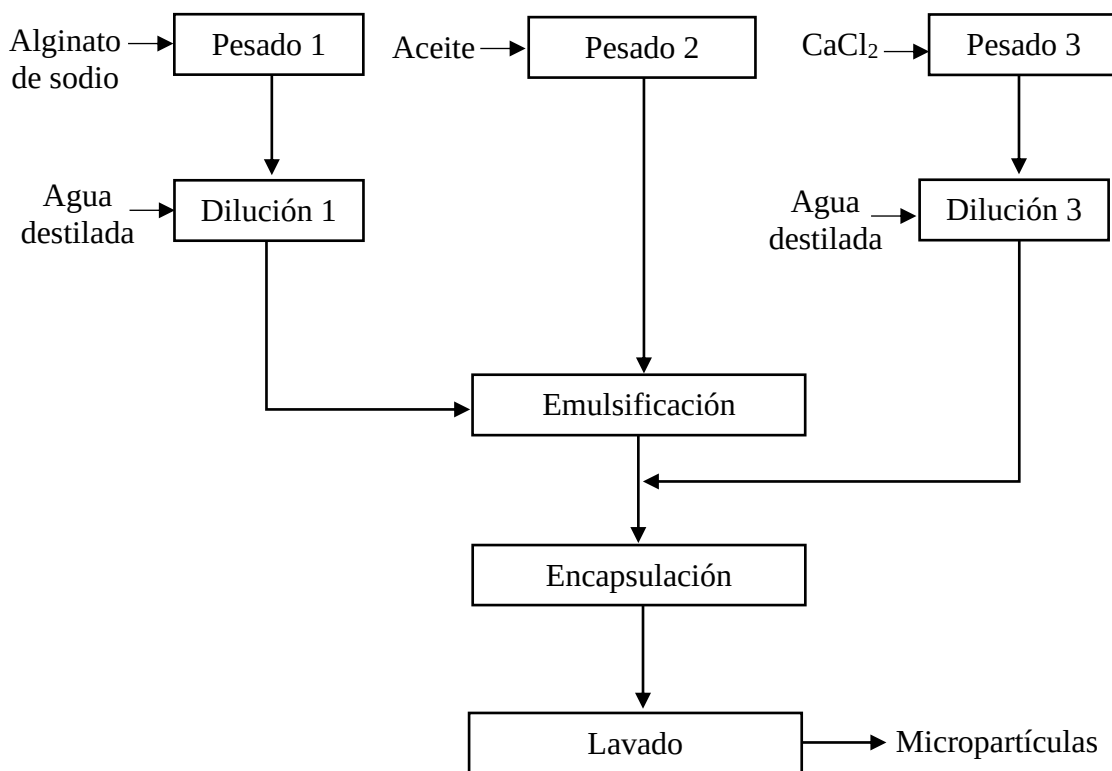
2.3. Métodos

2.3.1. Producción de micropartículas por gelificación iónica

El proceso de producción de micropartículas por gelificación iónica se detalla en el diagrama de flujo de la Figura 1.

Figura 1

Diagrama de flujo para la obtención de micropartículas por gelificación iónica



A continuación, se detallan los procesos del diagrama de flujo:

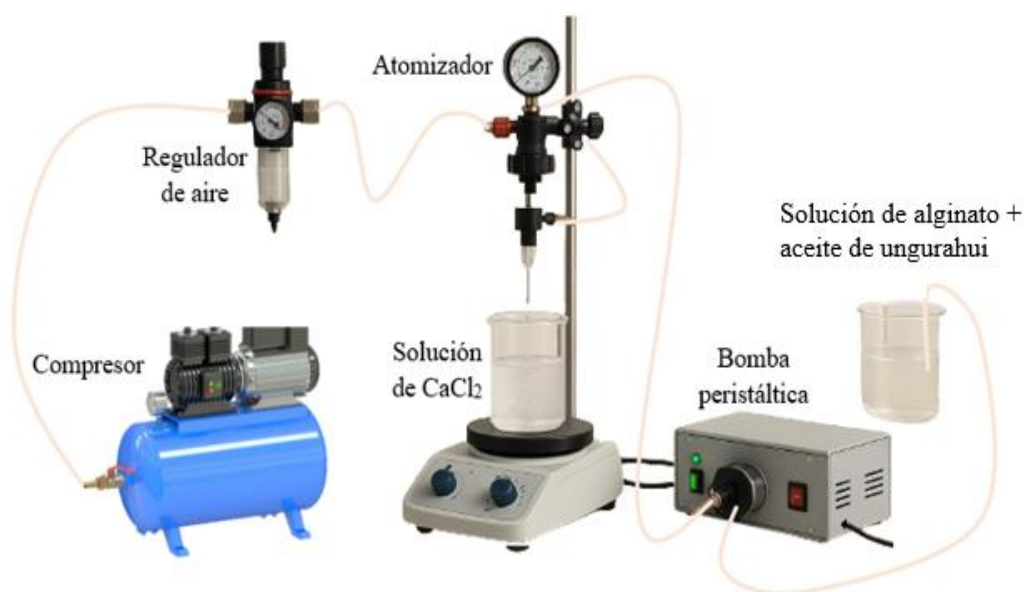
- 1. Pesado 1:** Se pesó 4 g de alginato de sodio en una balanza analítica (Ohuas, Mod. AX324, Estados Unidos).
- 2. Dilución 1:** Se diluyó el alginato en 200 ml de agua destilada en un agitador magnético (Velp científica, Are, Italia) durante 12 horas a 40°C.
- 3. Pesado 2:** Se pesó 2 g de aceite de ungurahui.
- 4. Pesado 3:** Se pesó 25 g de cloruro de calcio (CaCl₂).
- 5. Dilución 3:** En un agitador, se diluyó el CaCl₂ en 1 L de agua destilada, mientras tanto, se ajustó su pH a 4 con ácido clorhídrico (HCl 1N).
- 6. Emulsificación:** La solución de alginato de sodio fue homogenizada con el aceite de ungurahui en un homogenizador Ultra Turrax (Ika-Werke, T25, Alemania) durante 3 min a 18000 rpm.

7. Encapsulación: Se encendió el atomizador de doble fluido (adaptado por el laboratorio de control de calidad del CIRNA-UNAP) con orificio de 1.0 mm de diámetro a 12 cm de distancia entre la emulsión y la solución de cloruro de calcio, con presión de aire de 0.6 kgf/cm² y velocidad de atomización de 80 mL/minuto. Este equipo funcionó mediante una bomba peristáltica y un compresor. La solución del alginato fue transportada por la bomba peristáltica a través de una manguera con una velocidad de flujo regulada hacia el atomizador, y se roció sobre la solución de CaCl₂, que se mantuvo sobre un agitador a temperatura ambiente. Después de la atomización, los hidrogeles permanecieron en agitación constante por 30 minutos a temperatura ambiente.

A continuación, se muestra la figura 2 que describe el montaje experimental utilizado para el proceso de atomización

Figura 2

Proceso de atomización de las micropartículas



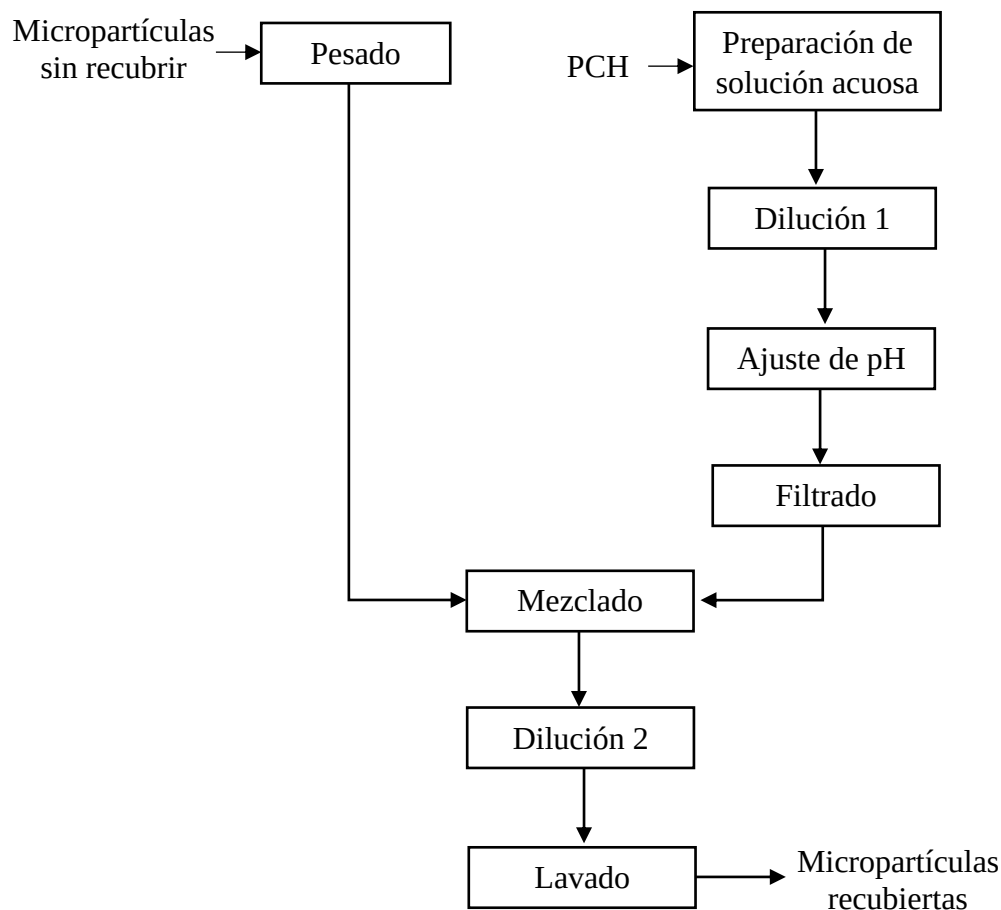
8. Lavado: Las micropartículas se lavaron 3 veces con agua destilada que fue previamente ajustada a pH 4 con HCl 1N, en un tamiz de 75 μ m (Test Sieve, Perú).

2.3.2. Recubrimiento de los hidrogeles con proteínas de clara de huevo

El proceso de recubrimiento de las micropartículas con proteínas de clara de huevo (PCH) se detalla en el diagrama de flujo de la Figura 3.

Figura 3

Diagrama de flujo del recubrimiento de los hidrogeles con proteínas de clara de huevo (PCH)



A continuación, se detallan los procesos del diagrama de flujo:

1. **Pesado:** Se pesó 50 g de micropartículas sin recubrir (MSR).
2. **Preparación de solución acuosa:** Se rompieron aproximadamente 10 huevos y se separaron las claras de las yemas cuidadosamente. Para obtener la concentración de proteínas de clara de huevo (PCH) al 10%, se pesaron 181.8 g de clara de huevo y se midió 18.2 ml de agua destilada para obtener 200 ml de solución proteica.
3. **Dilución 1:** La solución acuosa se llevó a diluir en un agitador magnético (Velp Científica, Are, Italia) durante 3 horas a temperatura ambiente.
4. **Ajuste de pH:** Una vez finalizada la agitación, se ajusta el pH de la solución a 4 con HCl 1N.

5. **Filtrado:** La solución se filtra para separar las partículas que no se han disuelto.
6. **Mezclado:** Se añadieron los 50 g de micropartículas sin recubrir a la solución filtrada.
7. **Dilución 2:** La mezcla resultante se sometió a agitación magnética (400 rpm) durante 30 minutos a temperatura ambiente.
8. **Lavado:** Las micropartículas recubiertas (MR) se lavaron 3 veces con agua destilada ajustada a pH 4 con HCl 1N, en un tamiz de 75 um (Test Sieve, Perú) para remover la proteína que no fue adsorbida.

Para la caracterización de las MSR y MR (humedad, cenizas y proteínas) morfología y tamaño medio, así como la eficiencia de encapsulación, los análisis se realizaron por triplicado. Todos estos análisis se determinaron con las micropartículas en condiciones de temperatura ambiente, sin haber sido sometidas a ningún tiempo de almacenamiento.

2.3.3. Caracterización de las micropartículas

2.3.3.1 Humedad

La humedad de las micropartículas se determinó de acuerdo a la metodología de la AOAC (2012), en base al método 952.08. Se pesaron 5 g de muestra en placas Petri y se llevó a la estufa (Mettler, Loading 30-750, Perú) a 105 °C por 5 horas, hasta que el peso fue constante. Posteriormente, se retiró las placas Petri de la estufa y se enfrió en un desecador antes de registrar el peso final. Se reportó la pérdida de peso como porcentaje de humedad.

$$\% H = \frac{M_i (g) - M_f (g)}{M_i (g)} \times 100$$

Donde:

M_i = Peso de la muestra húmeda

M_f = Peso de la muestra seca

2.3.3.2 Cenizas

La determinación de la ceniza se realizó según la metodología 938.08 de la AOAC (2012). Se pesaron 5 g de muestra y se colocaron en crisoles, los cuales fueron incinerados en una mufla (Nabertherm, More Than Heat 30-3000°C, Alemania) a 550 °C en un periodo de 5 horas. Transcurrido el tiempo, los crisoles se llevaron a una campana de desecación para su enfriamiento, y posteriormente se pesaron nuevamente para realizar los cálculos correspondientes. Los resultados fueron expresados de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% C = \frac{Cr (g) - Cv(g)}{Mi (g)} \times 100$$

Donde:

Cr = Peso del crisol con residuo

Cv = Peso del crisol vacío

Mi = Peso de la muestra húmeda

2.3.3.3 Proteínas

El contenido de proteína se determinó según la metodología Kjeldahl 955.04 (AOAC, 2012), para ello se pesaron 0.25 g de muestra y se colocaron en un balón de digestión junto con 8 mL de ácido sulfúrico concentrado, 0.125 g de sulfato de cobre y 2.5 g de sulfato de potasio. El balón se calentó en un digestor hasta obtener una mezcla de color azul verdoso transparente. Después de enfriar a temperatura ambiente, se añadió 70 mL de agua destilada y se alcalinizó con 33% de hidróxido de sodio. Luego el balón se llevó a un destilador (Gessellseha, Glf, Alemania) para liberar amoníaco, y se recibió en un matraz que contenga 7 mL de ácido bórico y unas gotas de azul de metileno como indicador. Después de destilar 50 mL de líquido, se tituló con una solución de ácido sulfúrico 0.025 N. La cantidad de proteína se calculó usando un factor de conversión de nitrógeno, usando la siguiente fórmula:

$$\% N_2 = \frac{V \times N \times \text{Factor}N_2}{PM} \times 100$$

Donde:

V = Gasto de titulación ácido sulfúrico.

N = Normalidad del ácido sulfúrico.

PM = peso de la muestra

Factor $N_2 = 0.014$

El porcentaje de proteína se obtendrá de la siguiente manera:

$\% \text{ Proteína} = \% N_2 \times 6.25$ (Factor de proteína)

2.3.4. Morfología y tamaño medio

La determinación del tamaño medio y la morfología se realizó siguiendo el método descrito por Palomino (2021). Se preparó una muestra de MSR y MR que fueron observadas en un microscopio óptico (Zeiss, Carl Zeiss, Alemania), capturando imágenes con el software ZEN 2.3 (ZEN Imaging Software, Alemania). La morfología se evaluó únicamente de forma visual, observando directamente la forma y apariencia de las micropartículas en las imágenes obtenidas. Para determinar el tamaño medio, se utilizaron dichas imágenes digitalizadas, midiendo individualmente cada micropartícula de extremo a extremo (diámetro máximo) mediante las herramientas del software, asegurando así una cuantificación precisa del tamaño.

2.3.5. Eficiencia de microencapsulación

Se determinó el contenido de lípidos mediante el proceso de Bligh y Dyer (1959). Inicialmente, se agregaron 6 mg de pancreatina en 20 ml de agua destilada que fue previamente ajustada a pH 7 con NaOH 1N, llevándose a agitar en un agitador magnético (Velp científica, Are, Italia) hasta que esté completamente disuelta. Luego, se pesaron 5 g de micropartículas húmedas en tubos de vidrio de 70 ml y se le añadió la solución de pancreatina, seguidamente, se dejaron las muestras en baño maría (Marconi, Ma184, Italia) a 37°C por 6 horas. Pasado el periodo de tiempo, se adicionó 10 ml de cloroformo, 20 ml de metanol y 8 ml de agua destilada, inmediatamente se agitó manualmente por 30 min para solubilizar de forma homogénea. Después, se añadió 10 mL de cloroformo, 10 mL de sulfato de sodio al 1.5% y se agitó por 2 min, posteriormente, se dejaron las muestras en un espacio sin luz a temperatura ambiente durante 12 horas.

Finalmente, se separó la fase acuosa y orgánica, utilizándose la fracción orgánica que se encontró en la parte inferior del tubo junto al cloroformo, se filtró y se agregaron en vasos precipitados previamente secos de 10 ml, los cuales fueron llevados a una estufa de 100°C durante 2 horas.

La eficiencia de encapsulación se calculó por la siguiente relación:

$$At (\%) = \frac{\text{Peso del aceite (g)} * 4 * 100}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

Donde:

- At = Aceite total de emulsión

Finalmente, se aplica la siguiente fórmula:

$$EE (\%) = \frac{Af(g)}{Ai(g)} * 100$$

Donde:

- Af = Aceite final de las micropartículas (g)

$$Af = \frac{At}{100}$$

- Ai = Aceite inicial de las micropartículas (g)

$$Ai = \frac{\text{cantidad inicial de aceite}}{\text{cantidad inicial de aceite} + \text{alginato}} = \frac{2}{6} = 0.33$$

2.3.6. Índice de peróxido

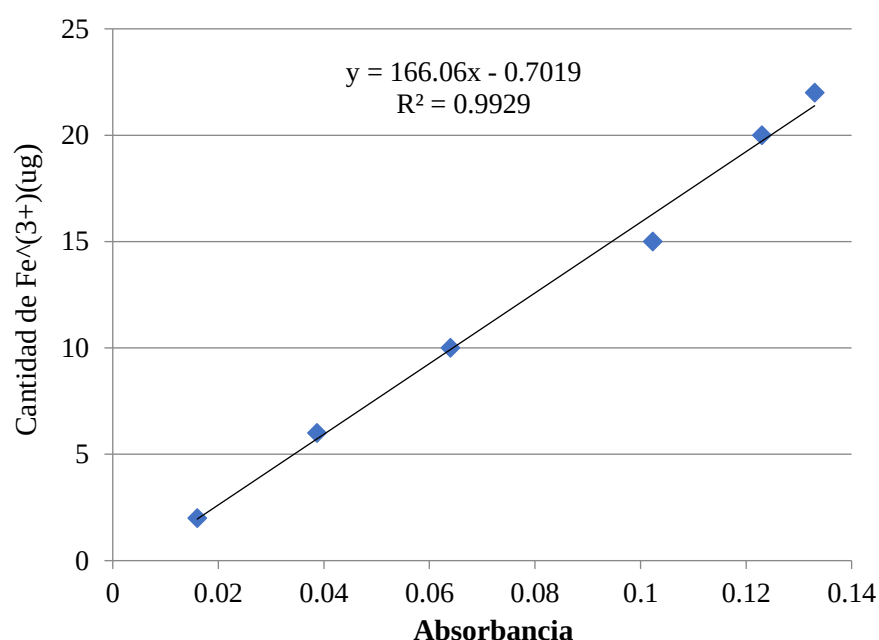
El índice de peróxido se determinó mediante el método estándar IDF 74A: 1991 y los resultados se expresaron en miliequivalentes de peróxido por kilogramo de lípidos. La evaluación consistió en extraer el aceite mediante la metodología descrita de Bligh y Dyer (1959). Se pesaron 5 g de muestra húmeda y se adicionó pancreatina 4 para liberar el aceite, cabe destacar que, para resolver el objetivo general, las muestras se llevaron a baño maría (Marconi, Ma184, Italia) a temperaturas de 45, 55 y 65°C durante 1,3 y 5 horas, las extracciones del aceite encapsulado se realizaron en tres repeticiones por cada muestra. Seguidamente, se pesó entre 0.01 g a 0.03 g de aceite y se adicionó 9.6 ml de la mezcla de cloroformo/metanol (7:3, v: v) para la formación del color, además se agregó 50 µL de sulfato de Fe^{2+} y 50µL de tiocianato de amonio 3.9M. Las muestras se agitaron en un agitador vortex (Ika, Msi Mini Shaker, Alemania) durante 4 segundos, luego se mantuvieron

en reposo, protegidas de la luz por 5 minutos. Seguidamente, se midió la absorbancia a 500 nm, en espectrofotómetro (Kertlab Laboratory, Xc-2000, EE. UU). Las medidas fueron realizadas por triplicado. La cantidad de peróxidos fue determinada utilizando una curva padrón de Fe^{3+} con concentraciones variando de 1 a 50 μg de acuerdo con Shantha y Decker (1994).

En la figura 4 se presenta la curva padrón de Fe^{3+} en intersección con los valores de absorvancia obtenidos mediante espectrofometría.

Figura 4

Curva padrón de $[\text{Fe}]^{(3+)} (\mu\text{g})$ con valores de absorbancia



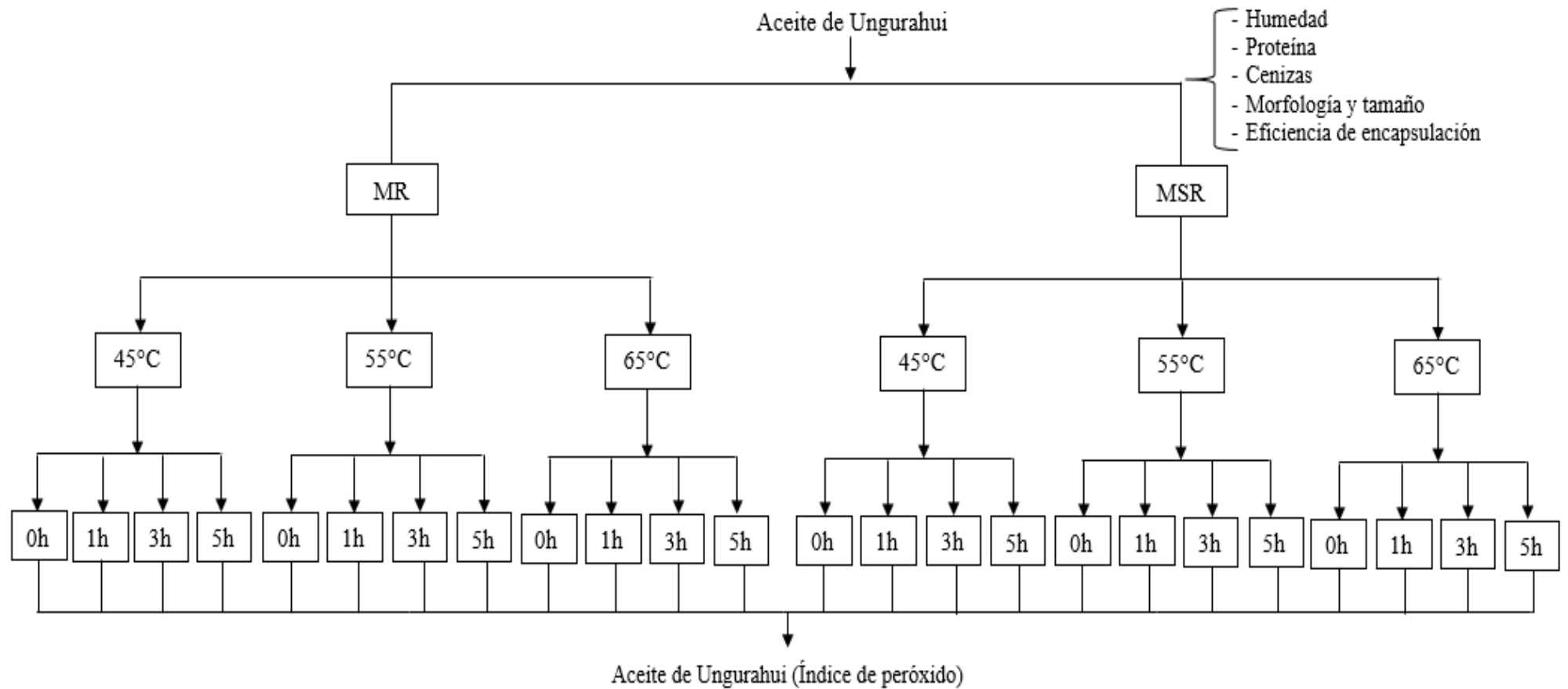
Nota: Fe^{3+} : hierro en estado de oxidación; R^2 : coeficiente de correlación elevado al cuadrado.

2.3.7. Diseño experimental

Se aplicó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con arreglo factorial $2 \times 3 \times 4$, teniendo como variables independientes el tipo de micropartícula (MR y MSR), temperatura (45,55 y 65°C) y tiempo (0,1,3 y 5 horas) de almacenamiento teniendo un total de 24 tratamientos los que fueron ejecutados en tres repeticiones. Como variable respuesta se tuvo el índice de peróxido (Figura 5).

Figura 5

Esquema Experimental de las micropartículas de aceite de Ungurahui (Oenocarpus bataua)



- MR = Micropartículas con recubrimiento proteico.
- MSR = Micropartículas sin recubrimiento proteico.

2.3.8. Análisis de datos

Los datos de la caracterización de las micropartículas (humedad, cenizas, proteínas, tamaño medio de micropartícula y la eficiencia de encapsulación) fueron organizados en el programa Excel y analizados en el software Statistica 10 (versión prueba), se aplicó la T de Student para comparar las micropartículas recubiertas (MR) y las micropartículas sin recubrimiento proteico (MSR) con un nivel de significancia del 5%. Para el índice de peróxido se aplicó el Análisis de la Varianza (ANOVA) y el test de Tukey para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos y entre pares de tratamientos respectivamente, a un nivel de significancia del 5%.

III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de las micropartículas

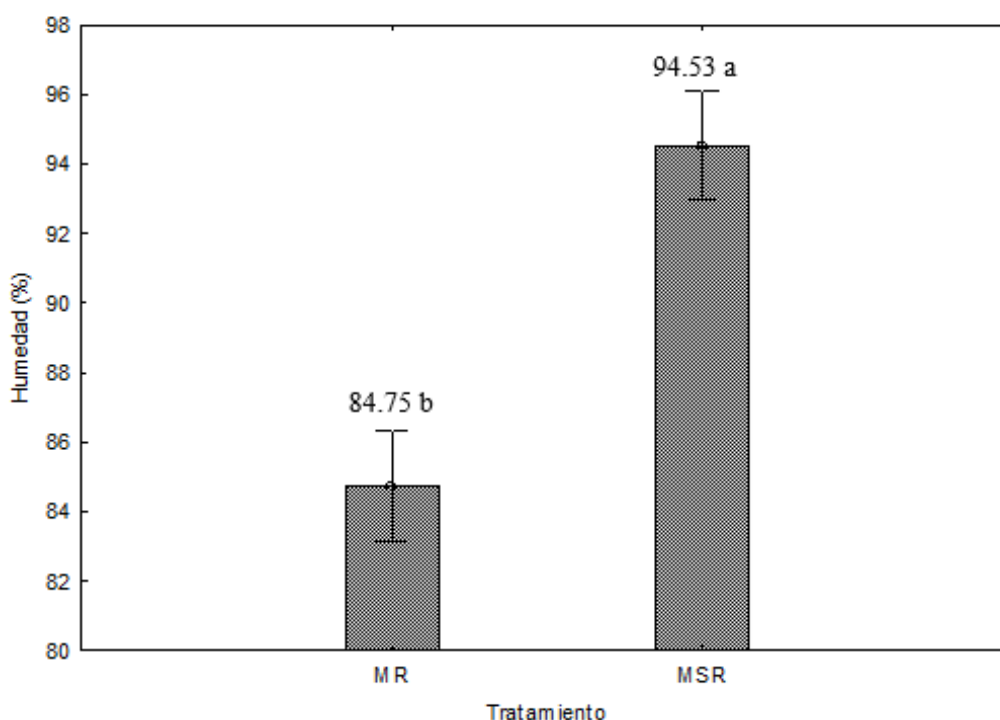
Las micropartículas recubiertas y las micropartículas sin recubrimiento proteico fueron caracterizadas en triplicado para determinar su contenido de humedad, cenizas y proteínas.

3.1.1 Humedad

En la figura 6 se observa que las MSR presentaron mayor porcentaje de humedad ($94.53 \pm 0.11\%$) a diferencia de las MR ($84.75 \pm 1.34\%$), lo que significa que existe diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Figura 6

Humedad en micropartículas con y sin recubrimiento (%)



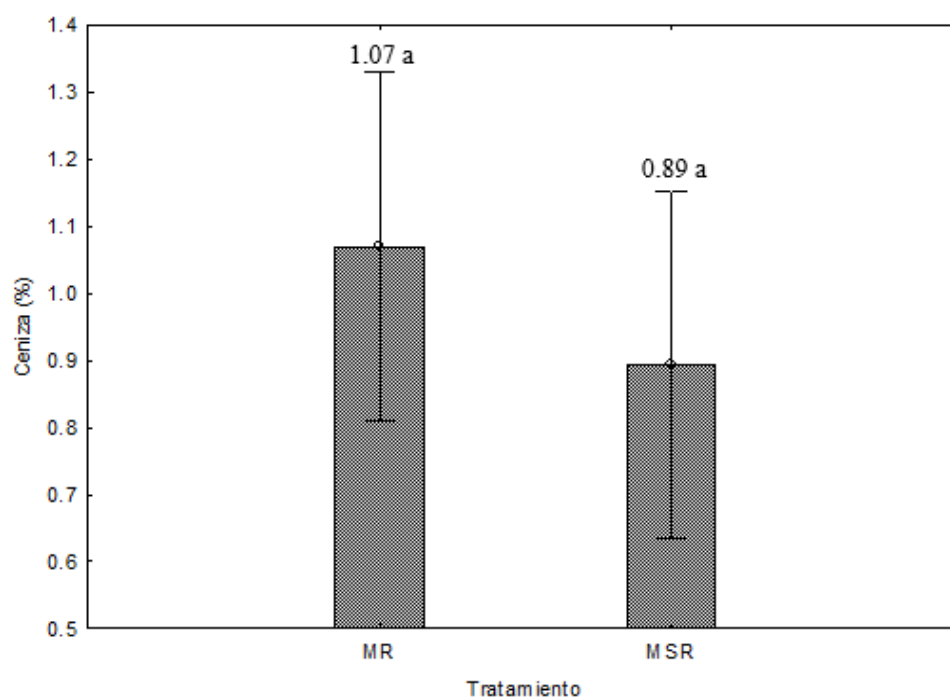
Nota: Letras distintas significan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$) según la prueba de T-student; MR: micropartículas con recubrimiento proteico), MSR: micropartículas sin recubrimiento proteico).

3.1.2 Cenizas

En la figura 7 se muestra que las MR obtuvieron mayor porcentaje de cenizas ($1.07 \pm 0.07\%$), siendo las MSR las que presentaron menor porcentaje ($0.89 \pm 0.01\%$), sin embargo, ambos resultados no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

Figura 7

Cenizas en micropartículas con y sin recubrimiento (%)



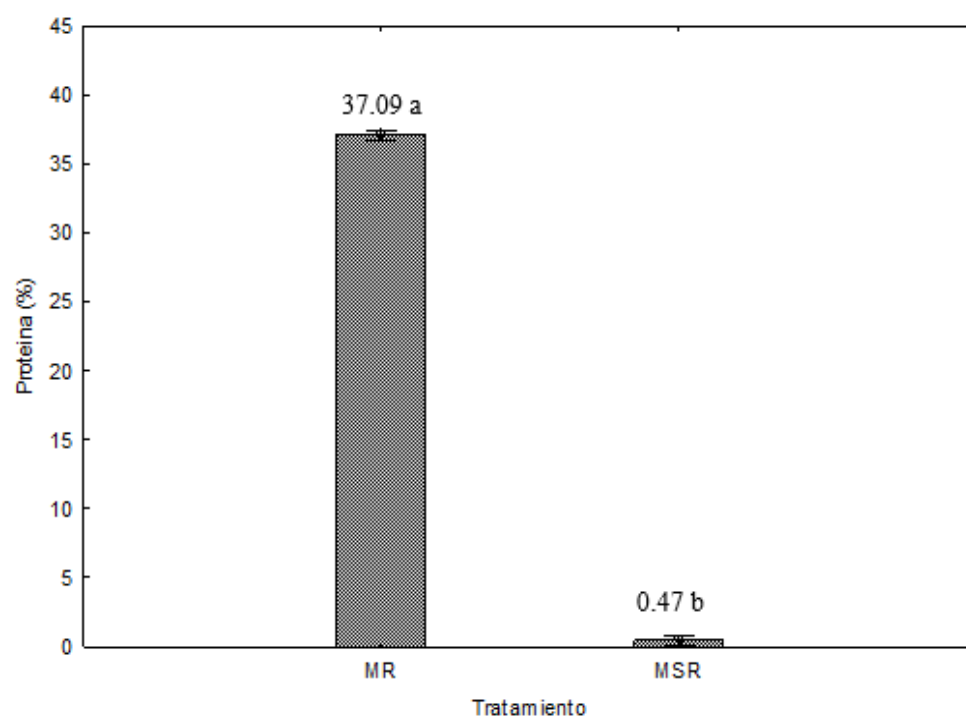
Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$) según la prueba de T-student; MR: micropartículas con recubrimiento proteico, MSR: micropartículas sin recubrimiento proteico.

3.1.3 Proteínas

En la figura 8 se muestra que las MR presentaron mayor contenido de proteínas ($37.09 \pm 0.31\%$) a diferencia de las MSR ($0.47 \pm 0.04\%$). Estas diferencias son estadísticamente significativas ($p < 0.05$), lo que indica que el recubrimiento con proteínas de clara de huevos si influye considerablemente.

Figura 8

Proteínas en micropartículas con y sin recubrimiento (%)



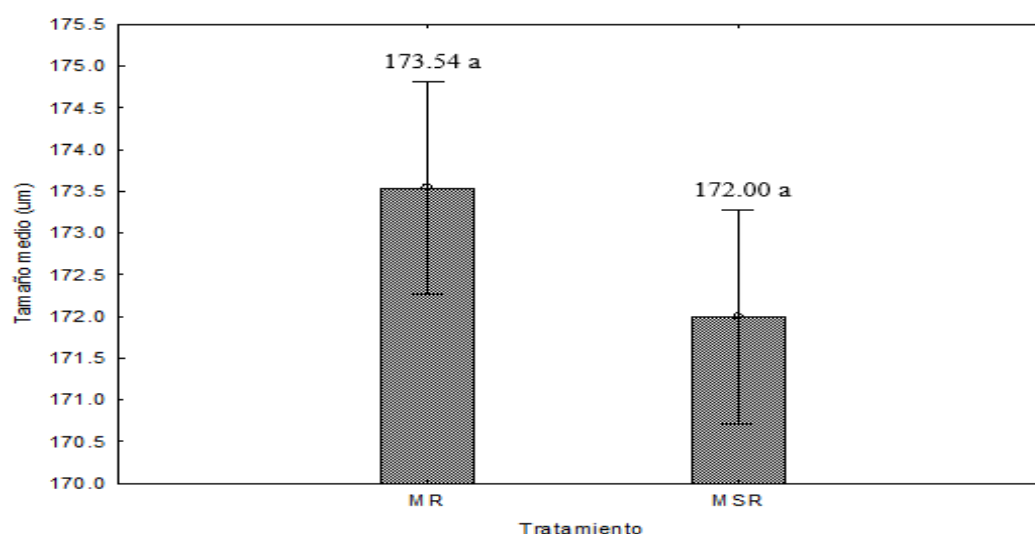
Nota: Letras distintas significan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$) según la prueba de T-student; MR: micropartículas con recubrimiento proteico, MSR: micropartículas sin recubrimiento proteico.

3.2. Morfología y tamaño medio

La figura 9 se muestra que las MR presentaron mayor tamaño medio (173.54 ± 1.09 μm) que las MSR (172.00 ± 0.38 μm), lo que indica que no existen diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$).

Figura 9

Tamaño medio en micropartículas con y sin recubrimiento (%)

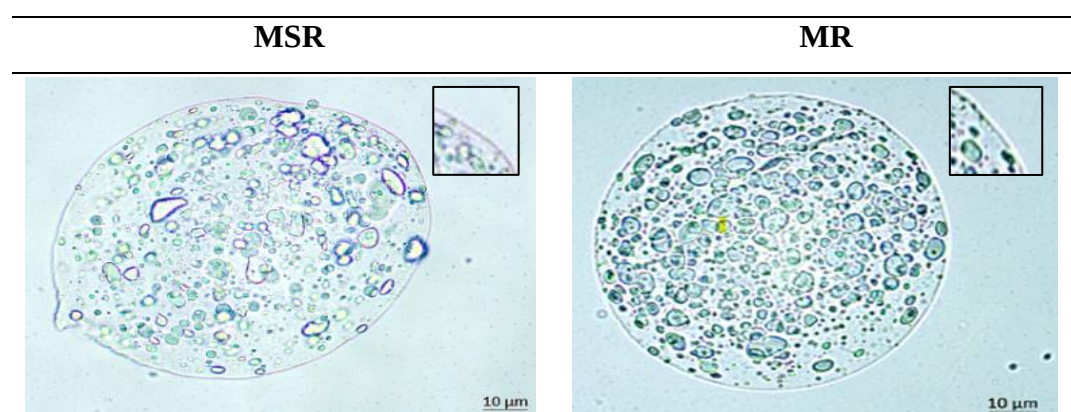


Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$) según la prueba de T-student; MR: micropartículas con recubrimiento proteico, MSR: micropartículas sin recubrimiento proteico.

La figura 10 muestra la morfología de las micropartículas con y sin recubrimiento. Las imágenes muestran que las micropartículas presentan forma esférica. Además, se observa que la superficie externa de las MR es más gruesa que la de las MSR, lo que indica la presencia de una capa proteica absorbida tras el recubrimiento con proteínas de clara de huevo.

Figura 10

Morfología de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico



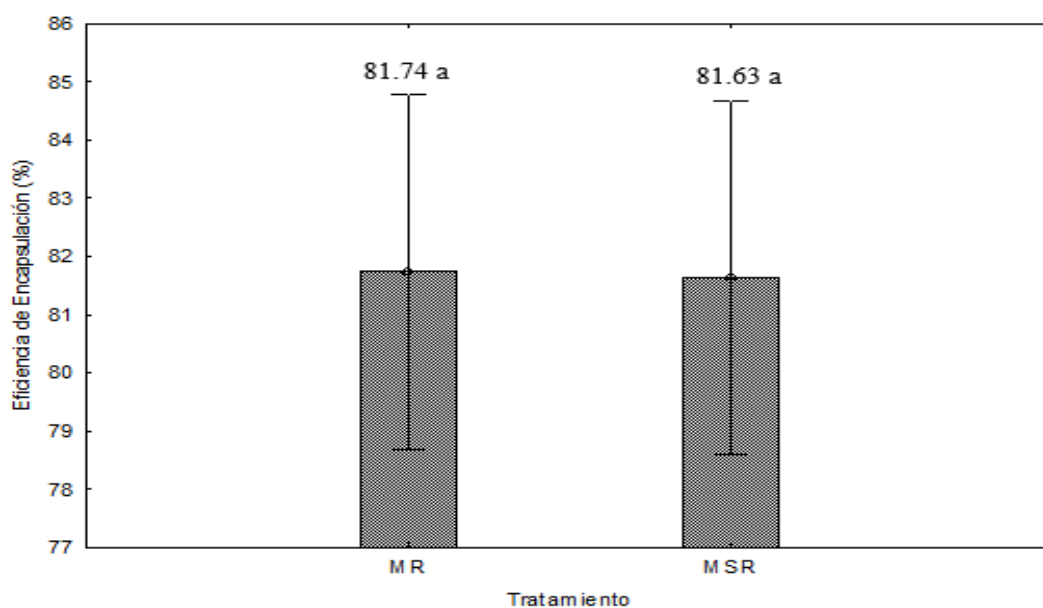
Nota: Imágenes de hidrogeles de alginato obtenidas por MO utilizando el software ZEN 2.3; MSR: micropartículas sin recubrimiento proteico, MR: micropartículas con recubrimiento proteico.

3.3. Eficiencia de microencapsulación

En la figura 11 se observa que las MR presentaron mínima diferencia ($81.74 \pm 1.76\%$) pero mayor eficiencia de encapsulación que las MSR ($81.63 \pm 1.92\%$), lo que significa que no hay diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$).

Figura 11

Eficiencia de encapsulación en micropartículas con y sin recubrimiento (%)



Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$) según la prueba de T-student; MR: micropartículas con recubrimiento proteico, MSR: micropartículas sin recubrimiento proteico.

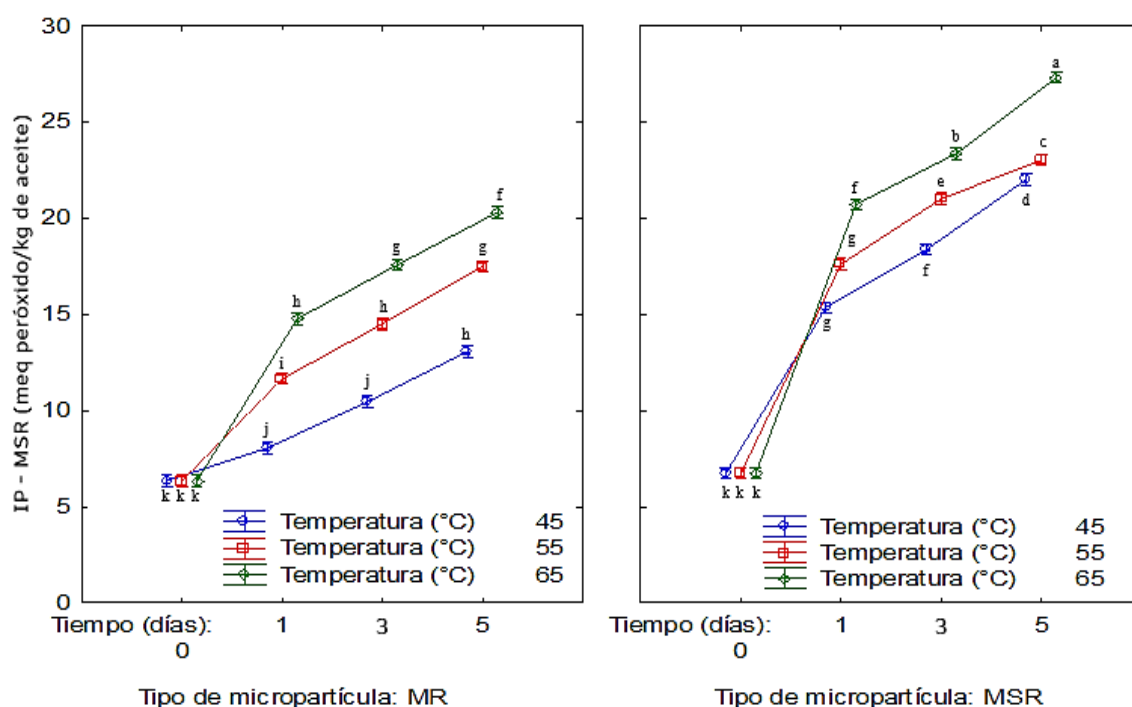
3.4. Índice de peróxidos

Inicialmente, en el tiempo cero el aceite libre presentó el menor nivel de oxidación, 5 ± 0.097 meq de peróxido/kg de aceite. En la figura 12 se observa que, como punto de partida, se obtuvo 6.35 ± 0.05 meq de peróxido/kg en MR y 6.74 ± 0.05 meq de peróxido/kg en MSR, el índice de peróxido fue influenciado significativamente por la temperatura, el tiempo y el tipo de micropartícula, y la interacción de estos, tal como se evidencia en la tabla 4 ($p < 0.05$). Los resultados muestran que las MR presentan valores de peróxidos más bajos que las MSR, mostrando que el índice de peróxidos aumentaba a medida que incrementó la temperatura y tiempo de almacenamiento de las micropartículas, señalando los diferentes superíndices que se relacionan con el test de Tukey.

Cuando las micropartículas fueron sometidas a 45°C durante 5 horas, las MSR presentaron mayor IP 22.009 ± 0.22 meq de peróxido/kg que las MR 13.07 ± 0.09 meq de peróxido/kg. La tendencia de oxidación fue incrementando a 55°C durante 5 horas, siendo las MSR las que presentaron mayor IP 23.02 ± 0.43 meq de peróxido/kg que las MR 17.47 ± 0.12 meq de peróxido/kg. A 65°C durante 5 horas de tratamiento se obtuvieron valores superiores de IP; $20,304 \pm 0,239$ meq de peróxido/kg, 27.292 ± 0.094 meq de peróxido/kg para MR y MSR respectivamente, siendo este último el valor más alto respecto a los resultados anteriores.

Figura 12

Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento de las MR y MSR en el índice de peróxido



Nota: Letras diferentes indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$) según la prueba de Tukey. IP: índice de peróxidos; meq peróxido/kg: miliequivalentes de peróxido por kilogramo de aceite; MR: micropartículas con recubrimiento proteico, MSR: micropartículas sin recubrimiento proteico.

IV. DISCUSIONES

En cuanto al porcentaje de humedad, las micropartículas sin recubrimiento demostraron tener mayor porcentaje de agua $94.53 \pm 0.11\%$ que las micropartículas con recubrimiento $84.75 \pm 0.32\%$. A pesar de que los resultados obtenidos son estadísticamente significativos, la reducción moderada de humedad en MR se atribuye a que las PCH presentan grupos hidrofílicos que atraen y retienen agua, permitiendo la retención parcial de humedad en el núcleo de alginato, por ello, la capa proteica actúa como una barrera parcial que reduce, pero no elimina drásticamente la humedad (Razi et al., 2023). Cabe destacar que la matriz polimérica a base de alginato, posee una alta capacidad de retención de agua, hasta un 95 - 99% de agua, produciendo un sellado incompleto de la estructura porosa del hidrogel (Barros et al., 2018).

En un estudio realizado por Silverio et al. (2018), caracterizaron micropartículas de alginato obtenidas por gelificación iónica producidas con diferente concentración de calcio en solución y a diferentes valores de pH, obteniendo porcentajes de humedad que oscilan entre 95 y 96%, sin diferencias significativas para soluciones del mismo pH. Rengifo y Torres (2018) determinaron que las micropartículas de alginato recubiertas con clara de huevo al 10% presentaron $83.36 \pm 7.23\%$, mientras que al 2% presentaron $88.01 \pm 0.48\%$ de humedad. Comprobando que, a menor porcentaje de concentración de proteínas, mayor es el contenido de humedad, esto debido a que presenta mayor porosidad y mientras más proteínas son absorbidas se reduce el porcentaje de humedad. Además, en su estudio de micropartículas a base de alginato y pectina recubiertas con proteínas globulares Tello et al. (2015) obtuvieron resultados similares en micropartículas de alginato recubiertas con proteínas de clara de huevo, en concentraciones del 2 al 8%, presentando 92.82% y 87.95% de contenido de agua, confirmando que el porcentaje de materia seca aumenta a medida que se adsorbe más concentrado de proteínas sobre las micropartículas, independientemente del tipo de proteína o polisacárido.

El contenido de cenizas en las micropartículas recubiertas con proteína de clara de huevo (PCH) fue de $1.07 \pm 0.13\%$, mientras que en las micropartículas sin recubrimiento se registró un valor de $0.89 \pm 0.18\%$. Aunque se observó un ligero incremento en las micropartículas recubiertas, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p >$

0.05). Este leve aumento se asocia a la presencia de minerales naturalmente presentes en la PCH utilizada para el recubrimiento. Si bien las proteínas son compuestos predominantemente orgánicos, también contienen minerales y oligoelementos que contribuyen al contenido total de cenizas. Estos resultados coinciden con lo reportado por Barros et al. (2018), quienes evaluaron micropartículas de alginato recubiertas con proteína concentrada de soya. En su estudio, se observó una tendencia al incremento del contenido de cenizas conforme aumentaba la concentración de proteína, aunque sin alcanzar diferencias significativas. De forma similar, Sangama et al. (2020) estudiaron micropartículas de pectina recubiertas con proteína de sangre bovina en concentraciones de 4, 6, 8 y 10 %, reportando valores de cenizas entre 0.78 ± 0.00 % y 0.85 ± 0.00 %, con un leve aumento conforme se incrementaba la cantidad de proteína empleada. Al comparar estos estudios con el presente trabajo, se observa que el contenido de cenizas en las micropartículas recubiertas con PCH fue ligeramente superior. Esta diferencia puede atribuirse a la composición mineral particular de la clara de huevo, la cual difiere de otras fuentes proteicas como la soya o la sangre bovina.

La cantidad de proteína adsorbida fue significativamente mayor en MR 37.09 ± 0.31 %, comprobando ante previos ensayos con concentraciones menores al 10% que se incrementa la cantidad de proteína absorbida en micropartículas a medida que aumenta la concentración de proteína agregada a la solución. Rengifo y Torres (2018) evaluaron la adsorción de proteínas de clara de huevo y proteínas de sangre bovino en micropartículas a base de alginato, mostrando resultados similares a los obtenidos en las MR (36.18 ± 2.10 %), sin embargo, se mostró mayor adsorción en micropartículas recubiertas con proteínas de sangre bovino (43.37 ± 1.15 %), debido probablemente al alto contenido proteico de la sangre bovina (17.80%) y la clara de huevo (10.80%) en estado natural. Aguilar et al. (2015) estudiaron la adsorción de proteínas de clara de huevo en micropartículas a base de la mezcla de los polisacáridos alginato y pectina producidas por gelificación iónica, obteniendo cantidades adsorbidas de 25.7 ± 1.4 %, 33.1 ± 2.2 % y 45.5 ± 2.8 % a concentraciones de 1.7%, 3% y 4% de proteína en solución, respectivamente. Asimismo, Tello et al. (2015) determinaron la adsorción de proteínas en concentraciones desde el 2% al 8% en micropartículas de alginato, mostrando que a concentraciones del 8% se obtienen altos porcentajes de adsorción de proteínas (47.37 ± 1.15 % para ovoalbúmina; 46.92 ± 2.22 % para proteínas de suero de leche).

El tamaño medio de las micropartículas obtenidas mediante gelificación iónica fue de $173.54 \pm 1.09 \mu\text{m}$ para las micropartículas con recubrimiento proteico y de $172.00 \pm 0.38 \mu\text{m}$ para las micropartículas sin recubrimiento. Aunque se observó una ligera diferencia en los valores medios, esta no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$), lo que indica que el proceso de gelificación iónica utilizado en la preparación de ambas formulaciones tiene un impacto mínimo en el tamaño de las micropartículas, independientemente del recubrimiento proteico aplicado. Este resultado coincide con los hallazgos de Rengifo y Torres (2018), quienes reportaron un tamaño de $176.30 \pm 7.23 \mu\text{m}$ en micropartículas de alginato recubiertas con proteína de clara de huevo al 10%. De manera similar, el estudio de Marapara y Zapata (2020), en el que se utilizaron micropartículas recubiertas con proteínas del suero de leche, reportó un tamaño promedio de $178.45 \pm 8.85 \mu\text{m}$ para las micropartículas sin recubrimiento; aunque su investigación compara micropartículas recubiertas con proteínas del suero de leche, los tamaños medios obtenidos son consistentes con los de este estudio, lo que refuerza la idea de que el tipo de proteína utilizada en el recubrimiento no tiene un impacto significativo en el tamaño de las micropartículas.

El contenido de aceite en micropartículas de alginato conteniendo aceite de ungurahui fue de $27.10 \pm 0.58\%$, obteniendo altos valores de EE $81.74 \pm 1.76 \%$ en MR y $81.63 \pm 1.92\%$ en MSR, clasificado según el intervalo; bajo ($<50\%$), mediano ($50-80\%$) y alto ($80-100\%$) (Marapara y Zapata, 2020; Castro y Gonzales, 2018). Tello et al. (2015) obtuvieron altas eficiencias de encapsulación de aceite de girasol en hidrogeles de alginato y pectina; $91.70 \pm 1.77\%$ y $95.50 \pm 2.42\%$, respectivamente, dando a conocer que la gelificación iónica es una técnica eficiente para encapsular material lipídico. En un estudio realizado por Rengifo y Torres (2018) reportaron contenidos lipídicos de 32.02% y 36.35% , presentando valores altos de EE $73.60 \pm 3.62\%$ y $88.27 \pm 3.62\%$ en micropartículas de alginato recubiertas con clara de huevo al 10% y micropartículas de pectina recubiertas con proteína de sangre bovina. Castro y Gonzales (2018) mostraron el contenido de lípidos en micropartículas de pectina con material de relleno de *Plukenetia volubilis* y *Mauritia flexuosa*; $35.40 \pm 1.72\%$ en micropartículas conteniendo *Plukenetia volubilis* y $37.31 \pm 0.68\%$ conteniendo *Mauritia flexuosa*, obteniendo 78.32% de eficiencia de encapsulación para micropartículas conteniendo *Plukenetia*

volubilis y 82.54% para micropartículas conteniendo *Mauritia flexuosa*, en relación con el aceite utilizado inicialmente. El porcentaje de EE obtenido en el presente estudio es similar al de estudios anteriores, comprobando que la pequeña cantidad que se reduce es debido a la volatilización, ya que, al aumentar el contenido de aceite, una cantidad significativa se encuentra cerca de la superficie de la micropartícula y se pierde durante el secado, además, se comprobó que la técnica GI mediante una matriz polimérica formado a base de alginato de sodio es eficiente para atrapar materiales hidrofóbicos.

El índice de peróxido encontrado en el aceite de *O. bataua* en el presente estudio fue de $5.097 \pm \text{meq}$ de peróxido/kg de aceite, cantidad superior al determinado por Pascual y Flores (2020) 2.524 ± 0.08 meq de peróxido/kg, y menor al obtenido por Dos Santos et al. (2020) 9.64 ± 3.58 meq de peróxido/kg. Sin embargo, el valor obtenido en el presente estudio está dentro del rango establecido por el Codex Alimentarius (1999) (10 - 15 meq de peróxido/kg), cumpliendo con los estándares para ser un aceite comestible.

Se ha comprobado que la estabilidad oxidativa en micropartículas con recubrimiento proteico es mayor que las micropartículas sin recubrir al ser sometidas a diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento. Las MSR obtuvieron el mayor índice de peróxido 27.292 ± 0.094 meq de peróxido/kg a 65°C durante 5 horas de tratamiento, mientras que las MR en el mismo tiempo y temperatura presentaron $20,304 \pm 0,239$ meq de peróxido/kg, esto puede ser debido a que la capa de recubrimiento con proteínas de clara de huevo influyó en retrasar la producción de peróxidos. Además, el incremento acelerado de los peróxidos en las micropartículas, especialmente en las MSR es debido a la presencia de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados en el aceite, los cuales son altamente sensibles al calor.

Resultados similares determinaron Castro y Gonzales (2018) al evaluar la estabilidad oxidativa de micropartículas de aceite de *Plukenetia volubilis* y *Mauritia flexuosa* con y sin recubrimiento de gelatina de piel de doncella (*Pseudoplatystoma fasciatum*) en diferentes tiempos (1,3 y 5 horas) y temperaturas (45,55 y 65°C), demostrando que la oxidación incrementaba para ambos aceites microencapsulados a medida que el tiempo y temperatura aumentaba, siendo las micropartículas sin recubrir de *Plukenetia volubilis* las que alcanzaron valores altos de peróxidos 28.32 ± 0.78 meq de peróxido/kg de aceite

durante la quinta hora a 65°C, a diferencia de las micropartículas recubiertas con gelatina (23.53 ± 0.94 meq de peróxido/kg de aceite).

En otro estudio realizado, De Souza et al. (2024) determinaron la estabilidad oxidativa de micropartículas de aceite de sachá inchi con y sin recubrimiento de ovoalbúmina en condiciones oxidativas aceleradas a 60 °C durante 4 días, mostrando que la ovoalbúmina adsorbida en las micropartículas contribuyó a la estabilidad del aceite de sachá inchi microencapsulado, siendo que las micropartículas recubiertas presentaron el valor más bajo de peróxidos 5.38 ± 0.04 meq de aceite/kg, y las micropartículas sin recubrimiento presentaron el valor más alto 9.70 ± 0.22 meq de peróxido/kg de aceite.

Velázquez et al. (2020) evaluaron la estabilidad oxidativa del aceite de sésamo libre y microencapsulado con y sin mezclas de alginato de sodio y mucilago de nopal (SA-NM) en proporciones de 1:1 y 1:1.5 (p/v) durante 8 semanas a 25, 35 y 45°C de almacenamiento, concluyendo que el aceite libre alcanzó niveles máximos de peróxidos entre 26.30 ± 0.15 meq HP/kg y 29.68 ± 0.10 meq HP/kg de aceite, mientras que las micropartículas con la mezcla de SA-NM (1:1,5 p/p) presentaron valores mínimos de peróxidos entre 6.60 ± 0.10 y 15.1 ± 0.16 meq HP/kg de aceite, siendo que el mayor efecto de protección contra la oxidación se logró con las mezclas de SA-NM como material de pared, especialmente si la proporción de NM aumenta en las mezclas, pues presenta una fuerte interacción electrostática con el SA, formando una superficie resistente en las micropartículas.

El aumento del valor de peróxidos del aceite encapsulado también puede ser influenciado por la exposición al oxígeno durante el procesamiento y manipulación de las micropartículas. Asimismo, se infiere que las condiciones de almacenamiento afectan a la formación de peróxidos, a mayor tiempo y temperatura, mayor índice de peróxidos. Por otro lado, la diferencia del grado de oxidación del aceite contenido en micropartículas con y sin recubrimiento puede estar relacionado por la matriz de la pared y la capa de recubrimiento. Según Bhuvya y Dhamsaniya (2023) analizaron que el oxígeno tiene más posibilidades de entrar en las micropartículas cuando la matriz de pared es más porosa, en efecto, el uso de una capa de recubrimiento no solo permitiría reducir la porosidad de las micropartículas obtenidas por gelificación iónica, también incrementaría notablemente la estabilidad oxidativa.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El recubrimiento de las micropartículas con proteínas de clara de huevo al 10% permitió una reducción del contenido de humedad en las micropartículas sin recubrimiento proteico (MSR), generó un ligero incremento en el contenido de cenizas y un aumento notable en el contenido de proteínas en MR, alcanzando 37.09 ± 0.31 % en las MR, a comparación con 0.47 ± 0.04 % en las MSR, comprobando que a medida que aumenta la concentración de proteína en la solución incrementa la cantidad de proteína absorbida en la superficie de las micropartículas. La observación morfológica mostró estructuras esféricas y homogéneas en MR, sin diferencias significativas en el tamaño promedio para ambos tipos de micropartículas, favoreciendo la aplicación de MR en sistemas de liberación controlada.
- En términos de eficiencia de encapsulación, se obtuvieron altos valores tanto en las micropartículas con recubrimiento proteico (81.74 ± 1.76 %) y en las micropartículas sin recubrimiento proteico (81.63 ± 1.92 %), lo que resalta que el método de encapsulación por gelificación iónica mediante una matriz polimérica formado a base de alginato de sodio es eficiente para la adecuada retención del aceite.
- Las micropartículas con recubrimiento proteico demostraron una mayor estabilidad oxidativa en comparación con las micropartículas sin recubrimiento, evidenciada por menores índices de peróxidos en todas las condiciones evaluadas. A 65 °C durante 5 horas, las micropartículas recubiertas presentaron 23.97 ± 1.83 meq de peróxido/kg, frente a 27.28 ± 0.08 meq de peróxido/kg en las no recubiertas, evidenciando la eficacia del recubrimiento proteico para reducir la oxidación bajo condiciones térmicas y de almacenamiento.

5.2. Recomendaciones

- En investigaciones futuras de producción de micropartículas por gelificación iónica ampliar la investigación utilizando otras matrices poliméricas y materiales de recubrimiento para conocer la influencia en la composición fisicoquímica de las micropartículas y en su proceso de oxidación.
- Desarrollar estudios utilizando otros métodos de encapsulación para hacer un comparativo con los resultados obtenidos en la presente investigación y determinar cuál es el método más adecuado para aplicaciones específicas.
- Realizar aplicaciones de las micropartículas conteniendo aceite de Oenocarpus bataua en productos alimenticios que necesiten mejorar su perfil lipídico, por ejemplo; mayonesa, productos lácteos, productos cárnicos, productos de panadería.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, K. C., Tello, F., Bierhalz, A. C. K., Garnica Romo, M. G., Martínez Flores, H. E., & Grosso, C. R. F. (2015). Protein adsorption onto alginate-pectin microparticles and films produced by ionic gelation. *Journal of Food Engineering*, 154, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.12.020>
- AOAC, 2012. Official methods of analysis of AOAC International. Association of Official Analysis Chemists International. 19th ed. Washington: AOAC: s.n., ISBN 0935584544.
- Barros, G. S., Setsuko, L. S., Dutra, I. A., Ayumi, M. S., & Ferreira, C. R. G. (2018). Production and characterization of alginate microparticles obtained by ionic gelation and electrostatic adsorption of concentrated soy protein. *Ciencia Rural*, 48(12), 1–12. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180637>
- Bligh, E. G., Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemical and Physiology*, 37(8), p. 911-917
- Budin, A. C., Wensing, C. S., Vianna Cruz, C. L., Gomes Ruffi, C. R., Garcia, A. O., & Rolim, S. C. S. de M. (2025). Stability study of bioactive compounds from yerba mate extract encapsulated by ionic gelation and application of microparticles in fruit and cereal bars. *Lwt*, 215(May 2024). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117245>
- Bhuva, S. S., & Dhamsaniya, N. K. (2023). Encapsulation of Vegetable Oils for Enhancing Oxidative Stability of PUFA. *Bhuva & Dhamsaniya Biological Forum-An International Journal*, 15(2), 271–284.
- Calderón Guzmán, D., Juárez Olguín, H., Osnaya Brizuela, N., Ortiz Herrera, M., Trujillo Jimenez, F., Valenzuela Peraza, A., Labra Ruiz, N., Santamaria Del Angel, D., & Barragán Mejía, G. (2024). Oleic acid reduces oxidative stress in rat brain induced by some anticancer drugs. *Chemico-Biological Interactions*, 398(March). <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2024.111086>
- Castro, A. F., & Gonzales, S. N. P. (2018). Encapsulación de aceites de Plukenetia volubilis L.; mauritia fleuxosa por gelificación iónica y evaluación de la estabilidad oxidativa. [Universidad Nacional De La Amazonia Peruana], 1–140. <http://repositorio.unapikitos.edu.pe/handle/UNAP/5664>

- De Souza Silva Neto, E., Yamaguchi, M. M., Shirai, M. A., Ueno, C. T., Alvim, I. D., Yamashita, F., Grosso, C. R. F., & Sakanaka, L. S. (2024). Oxidative stability of sachá inchi oil microparticles covered with ovalbumin. *Polimeros*, 34(4), 12–14. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.20240060>
- Dos Santos, O. V., Gonçalves, B. S., Macêdo, C. da S., da Conceição, L. R. V., Costa, C. E. F., Monteiro Júnior, O. V., de Souza, A. L. G., & Lannes, S. C. da S. (2020). Evaluation of quality parameters and chromatographic, spectroscopic, and thermogravimetric profile of pataúá oil (*Oenocarpus bataua*). *Food Science and Technology (Brazil)*, 40(June), 76–82. <https://doi.org/10.1590/fst.01619>
- Jaramillo-Vivanco, T., Balslev, H., Montúfar, R., Cámara, R. M., Giampieri, F., Battino, M., Cámara, M., & Alvarez-Suarez, J. M. (2022). Three Amazonian palms as underestimated and little-known sources of nutrients, bioactive compounds and edible insects. *Food Chemistry*, 372(September 2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131273>
- FAO, 1999. The Codex Alimentarius - Fats, Oils and Related Products (Second ed.). Rome, Italy, vol. 8.
- Maytahuari, G. A. (2022). Propiedades fisicoquímicas, caracterización de ácidos grasos y actividad antioxidante de aceites de *Oenocarpus bataua* “Ungurahui.” [Universidad Nacional De La Amazonia Peruana] 1–90. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/8325>
- Marapara, C. C. R., & Zapata, M. A. D. V. (2020). Optimización para obtención de micropartículas recubiertas con proteínas del suero de la leche y evaluación de la solubilidad de la proteína adsorbida mediante ensayo gastrointestinal in vitro. [Universidad Nacional De La Amazonia Peruana], 1–85. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/6978>
- Meneses, R. L. del P. (2022). Microencapsulación de nutrientes aplicados alimentos. [Universidad Nacional De La Amazonia Peruana]. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/8442>
- Pascual, K., & Flores, G. (2020). Determinación de las características físico-químicas, capacidad antioxidante y perfil de ácidos grasos del aceite de Ungurahui (*Oenocarpus bataua*) [Universidad Peruana Unión].

<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3125>

Palomino, P. F. V. (2021). *Optimización de micropartículas por metodología de superficie de respuesta conteniendo aceite por spray drying*. [Universidad Nacional De La Amazonia Peruana].

<https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/8077>

Razi, M. S., Fahim, H., Amirabadi, S., & Rashidinejad, A. (2023). An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocolloids*, Volume 135, 108183, ISSN 0268-005X,. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108183>

Rengifo Silvano, E. D., & Torres Ipanama, A. L. (2018). *Adsorción de proteína en hidrogeles: Producción, caracterización y simulación gastrointestinal in vitro*. [Universidad Nacional De La Amazonia Peruana].
<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/5568>

Sangama, G. W., Vásquez, C. P. J., & Célis, T. F. (2020). *Encapsulación de aceite de Plukenetia Volubilis L. (Sacha Inchi) recubiertas con proteínas de sangre bovina para fortificación de galletas*.
https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/7224/Luz_Tesis_Titulo_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Shantha, N. C. y Decker, E. A., 1994. Rapid, Sensitive, Iron-Based Spectrophotometric Methods for Determination of Peroxide Values of Food Lipids. *Journal of AOAC International*, vol. 77, pp. 421-424.

Silverio, G. B., Sakanaka, L. S., Alvim, I. D., Shirai, M. A., & Grosso, C. R. F. (2018). Production and characterization of alginate microparticles obtained by ionic gelation and electrostatic adsorption of concentrated soy protein. *Ciencia Rural*, 48(12), 1–12. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180637>

Somacal, S., Pinto, V. S., de Deus, C., Vendruscolo, R. G., de Almeida, T. M., Wager, R., Mazutti, M. A., & de Menezes, C. R. (2022). Strategy to increase the lipid stability of the microbial oil produced by *Umbelopsis isabellina* for food purposes: Use of microencapsulation by external ionic gelation. *Food Research International*, 152(December 2021).

Tello, F., Falfan-Cortés, R. N., Martinez-Bustos, F., Martins da Silva, V., Hubinger, M. D.,

- & Grosso, C. (2015). Alginate and pectin-based particles coated with globular proteins: Production, characterization and anti-oxidative properties. *Food Hydrocolloids*, 43, 670–678. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.029>
- Valles, C. C., & Dávila, C. A. (2021). *Encapsulación de aceite de plukenetia volubilis l. (sacha inchi) en matriz de pectina recubiertas con proteínas de sangre bovino y bioaccesibilidad de proteínas, lípidos y hierro*. [Universidad Nacional De La Amazonia Peruana]. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/8631>
- Velázquez, G. S. K., Alpizar, R. E., Cruz, O. J., Barrera, P. J. F., Rodríguez, H. M. E., & Pérez, A. C. (2020). Ionic gelation encapsulation of sesame oil with sodium alginate-nopal mucilage blends: Encapsulation efficiency and oxidative stability. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19, 241–254. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim1655>
- Vargas, G. A., Merino, C. Z., Maytahuari, G. A., & Ochoa, M. I. (2022). Valor Nutricional Y Capacidad Antioxidante De Cuatro Frutos De Palmeras Nativas De La Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, 31(1), 17–29. <https://doi.org/10.24841/fa.v31i1.557>
- Zhu, M., Yan, M., Li, H., Zou, X., & Li, M. (2023). Egg white composition, antioxidant capacity, serum and yolk lipids and oxidative damage of the oviduct magnum in laying hens fed diets contaminated with different concentrations of cadmium. *Italian Journal of Animal Science*, 22(1), 276–290. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2023.2184730>

AGRADECIMIENTO

Damos gracias a Dios por la oportunidad de llevar a cabo este trabajo de investigación, por otorgarnos sabiduría y resiliencia a lo largo del camino lleno de obstáculos. Su guía y fortaleza permitió que cada desafío sea un aprendizaje para nuestra vida, siendo conscientes que sin su soporte no hubiésemos alcanzado esta meta.

A nuestra alma mater, la Universidad Nacional de Jaén y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, quienes durante cinco años nos brindaron una formación integral y una experiencia enriquecedora de conocimientos que nos formaron personal y profesionalmente.

A nuestros asesores Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano y Dr. Juan Dario Rios Mera por su apoyo constante, conocimientos compartidos, y paciencia a lo largo de este proceso. Su atención y sugerencias que nos brindaron fue motivo para culminar exitosamente esta etapa. Asimismo, nuestro sincero agradecimiento al personal del Laboratorio de la Unidad Especializada de Control de Calidad del Centro de Investigación de Recursos Naturales de la Amazonía, especialmente al Dr. Fernando Tello, a Estefany y Flavia por su amabilidad y disposición para resolver nuestras dudas durante la ejecución.

A nuestros amigos y compañeros por su apoyo, aprecio y amistad que de manera directa o indirectamente contribuyeron a nuestra formación académica.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme sabiduría e inspiración en cada paso de mi formación académica, con amor profundo dedico este trabajo de investigación y mi carrera profesional. A mis padres por traerme a este mundo y permitir que desde pequeña no me faltase un libro en mis manos. A mi madre Ida Ramírez, quien es mi inspiración por ser ejemplo de una mujer valiente y guerrera, gracias por tu apoyo y amor incondicional, por creer en mis capacidades y apoyarme en cada una de mis decisiones. A mis abuelos Alfredo y Celestina por brindarme un hogar de valores y principios, por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia se logran las metas, este logro también es de ustedes. A mis hermanos Alejandro y Yamile, por creer en mí siempre, son mi constante motivación para seguir luchando.

Diana Noemi

En primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesaria para culminar este importante camino. Con todo mi amor y gratitud, a mis padres, Eralio López García y Edita Córdova Guevara, por ser mi ejemplo, mi apoyo constante y el pilar de mis sueños. A mis hermanos, Magali, Fernando, Nilver y Alex, gracias por creer siempre en mí y por ser una fuente inagotable de aliento, cariño y apoyo incondicional en cada paso hacia mis metas.

Ana Yanet

ANEXOS

Anexos 1: imágenes de la ejecución de la tesis

Figura 13

Pesado del alginato de sodio

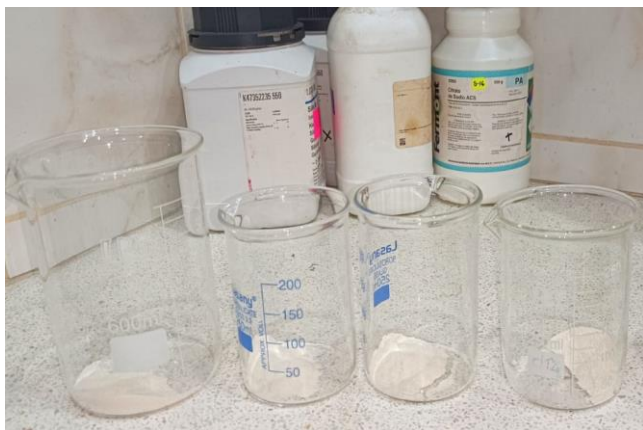


Figura 14

Dilución del alginato de sodio en agitadores magnéticos



Figura 15

Soluciones de alginato de sodio diluidas



Figura 16

Pesado de cloruro de calcio



Figura 17

Dilución y ajuste de pH de cloruro de calcio



Figura 18

Emulsificación de la solución de alginato de sodio y aceite de ungurahui



Figura 19

Atomización de micropartículas



Figura 20

Lavado de micropartículas



Figura 21

Pesado de micropartículas



Figura 22

Ajuste de pH de la solución acuosa de proteínas

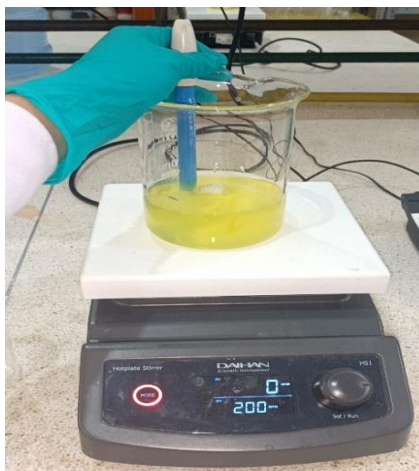


Figura 23

Dilución de micropartículas con la solución acuosa de proteínas

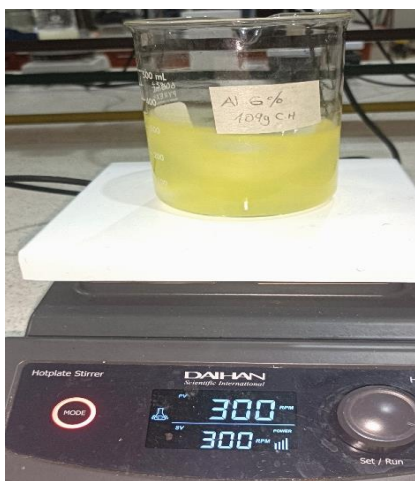


Figura 24

Lavado de micropartículas recubiertas



Figura 25

Determinación de humedad



Figura 26

Determinación de proteínas



Figura 27

Determinación de cenizas



Figura 28

Determinación de eficiencia de encapsulación

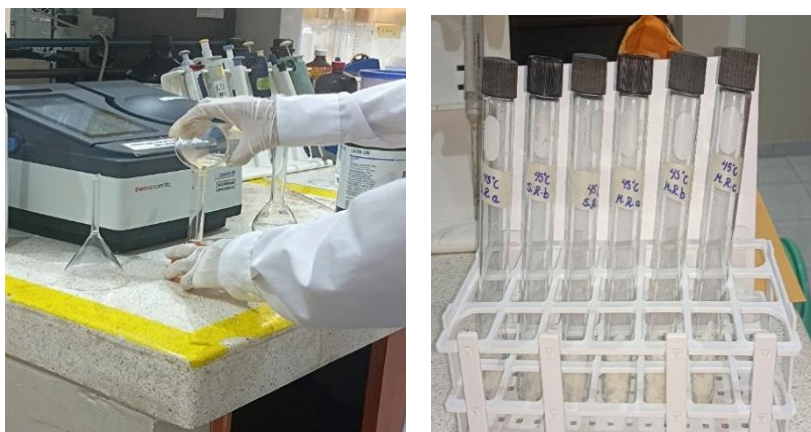


Figura 29

Determinación de tamaño medio de las micropartículas

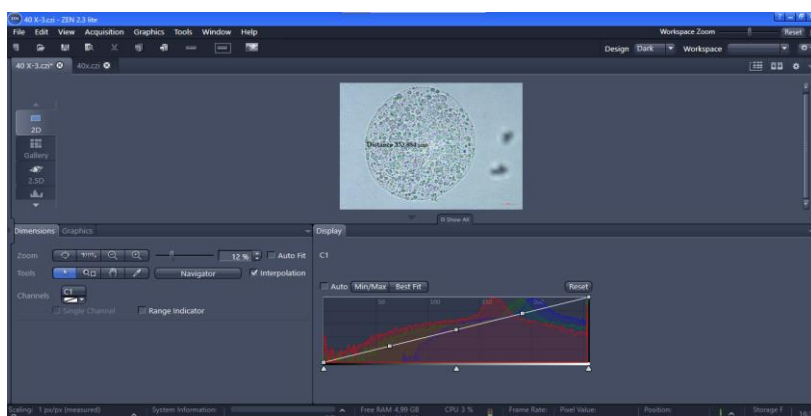


Figura 30

Evaluación de índice de peróxidos



Anexos 2: análisis estadísticos

Tabla 1 Composición centesimal de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico

Parámetro	MR	MSR
Humedad (%)	84.75 ± 1.34 ^b	94.53 ± 0.35 ^a
Proteína (%)	37.09 ± 0.31 ^a	0.47 ± 0.04 ^b
Ceniza (%)	1.07 ± 0.13 ^a	0.89 ± 0.18 ^a
Tamaño (µm)	173.54 ± 1.09 ^a	172.00 ± 0.38 ^a
EE (%)	81.74 ± 1.76 ^a	81.63 ± 1.92 ^a

Nota: Los valores representan media ± desviación estándar (n=3). MR: micropartículas con recubrimiento proteico; MSR: micropartículas sin recubrimiento; EE: eficiencia de encapsulación.

Tabla 1.Resultados de la prueba T Student para humedad, proteína, ceniza, tamaño medio y eficiencia de encapsulación.

	Mean - MR	Mean - MSR	t-value	df	p	Valid N - MR	Valid N - MSR	Std.Dev. - MR	Std.Dev. - MSR	F-ratio - Variances	p - Variances
Humedad (%)	84.7467	94.5300	-12.1706	4.0000	0.0003	3.0000	3.0000	1.3462	0.3555	14.3365	0.1304
Proteína (%)	37.0925	0.4661	205.7119	4.0000	0.0000	3.0000	3.0000	0.3063	0.0357	73.7696	0.0267
Ceniza (%)	1.0700	0.8933	1.3389	4.0000	0.2516	3.0000	3.0000	0.1345	0.1848	1.8858	0.6930
Tamaño medio (um)	173.5400	172.0000	2.3606	4.0000	0.0776	3.0000	3.0000	1.0650	0.3775	7.9600	0.2232
Eficiencia de Encapsulación (%)	81.7400	81.6300	0.0710	4.0000	0.9468	3.0000	3.0000	1.8279	1.9645	1.1551	0.9280

Tabla 2.Resultados del índice de peróxidos (meq O₂/kg aceite) de las tres repeticiones realizadas en MR y MSR almacenadas a 45,55 y 65°C durante 1,3 y 5 horas.

Tipo de micropartícula	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	IP (meq de peróxido/kg de aceite)
MR	45	0	6.4113
MR	45	0	6.3344
MR	45	0	6.3053
MR	45	1	8.0121
MR	45	1	8.1170
MR	45	1	8.0177
MR	45	3	10.6209
MR	45	3	10.2819
MR	45	3	10.4439
MR	45	5	13.0106
MR	45	5	13.0336
MR	45	5	13.1806
MR	55	0	6.4113
MR	55	0	6.3344
MR	55	0	6.3053
MR	55	1	11.7317
MR	55	1	11.3368
MR	55	1	11.8954
MR	55	3	14.6576
MR	55	3	13.8810
MR	55	3	14.9655
MR	55	5	17.6026
MR	55	5	17.3629
MR	55	5	17.4597
MR	65	0	6.4113
MR	65	0	6.3344
MR	65	0	6.3053
MR	65	1	14.6419
MR	65	1	14.7113
MR	65	1	14.9622
MR	65	3	17.3702
MR	65	3	17.8708
MR	65	3	17.4714
MR	65	5	20.4073
MR	65	5	20.4733
MR	65	5	20.0311
MSR	45	0	6.6947
MSR	45	0	6.7176

MSR	45	0	6.7931
MSR	45	1	15.2699
MSR	45	1	15.4234
MSR	45	1	15.3619
MSR	45	3	18.2605
MSR	45	3	18.4896
MSR	45	3	18.3052
MSR	45	5	22.1457
MSR	45	5	22.1290
MSR	45	5	21.7516
MSR	55	0	6.6947
MSR	55	0	6.7176
MSR	55	0	6.7931
MSR	55	1	17.4905
MSR	55	1	17.8624
MSR	55	1	17.4738
MSR	55	3	20.1593
MSR	55	3	21.2525
MSR	55	3	21.5686
MSR	55	5	22.5226
MSR	55	5	23.3344
MSR	55	5	23.1872
MSR	65	0	6.6947
MSR	65	0	6.7176
MSR	65	0	6.7931
MSR	65	1	20.7188
MSR	65	1	20.7721
MSR	65	1	20.6437
MSR	65	3	23.3671
MSR	65	3	23.4621
MSR	65	3	23.2195
MSR	65	5	27.1837
MSR	65	5	27.3475
MSR	65	5	27.3449

Nota: Los valores representan la media $\pm$ desviación estándar (n=3). Reducción (%): porcentaje de reducción del índice de peróxidos en MR respecto a MSR.

Tabla 3. Análisis de varianza para el índice de peróxido en MSR y MR a diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento.

FV	G L	SC	CM	F	p
Tipo de micropartícula	1	480.29	480.29	7669.6	0.000000
Temperatura (°C)	2	252.78	126.39	2018.3	0.000000
Tiempo (días)	3	1952.82	650.94	10394.7	0.000000
Tipo de micropartícula*Temperatura (°C)	2	8.49	4.24	67.8	0.000000
Tipo de micropartícula*Tiempo (días)	3	138.43	46.14	736.8	0.000000
Temperatura (°C) *Tiempo (días)	6	85.45	14.24	227.4	0.000000
Tipo de micropartícula*Temperatura (°C) *Tiempo (días)	6	5.56	0.93	14.8	0.000000
Error	48	3.01	0.06		
Total	71	2926.82			

Tabla 4. Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del índice de peróxido en MR y MSR

Tipo de micropartícula	{1} - 12.242	{2} - 17.407
MR		0.000117
MSR	0.000117	

Tabla 5. Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del efecto de la temperatura en el IP de las micropartículas

Temperatura (°C)	{1} - 12.546	{2} - 14.792	{3} - 17.136
45		0.000126	0.000126
55	0.000126		0.000126
65	0.000126	0.000126	

Tabla 6.Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del efecto del tiempo de almacenamiento en el IP de las micropartículas

Tiempo (días)	{1} - 6.5427	{2} - 14.691	{3} - 17.536	{4} - 20.528
0		0.000167	0.000167	0.000167
1	0.000167		0.000167	0.000167
3	0.000167	0.000167		0.000167
5	0.000167	0.000167	0.000167	

Tabla 7.Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del IP de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico a 45, 55 y 65°C

Tipo de micropartícula	Temperatura (°C)	{1} - 9.4808	{2} - 12.495	{3} - 14.749	{4} - 15.612	{5} - 17.088	{6} - 19.522
MR	45		0.000145	0.000145	0.000145	0.000145	0.000145
MR	55	0.000145		0.000145	0.000145	0.000145	0.000145
MR	65	0.000145	0.000145		0.000145	0.000145	0.000145
MSR	45	0.000145	0.000145	0.000145		0.000145	0.000145
MSR	55	0.000145	0.000145	0.000145	0.000145		0.000145
MSR	65	0.000145	0.000145	0.000145	0.000145	0.000145	

Tabla 8.Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del IP de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico durante 0,1,3 y 5 horas de almacenamiento

Tipo de micropartícula	Tiempo (días)	{1} - 6.3504	{2} - 11.492	{3} - 14.174	{4} - 16.951	{5} - 6.7351	{6} - 17.891	{7} - 20.898	{8} - 24.105
MR	0		0.000134	0.000134	0.000134	0.03953	0.000134	0.000134	0.000134
MR	1	0.000134		0.000134	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134
MR	3	0.000134	0.000134		0.000134	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134
MR	5	0.000134	0.000134	0.000134		0.000134	0.000134	0.000134	0.000134
MSR	0	0.03953	0.000134	0.000134	0.000134		0.000134	0.000134	0.000134
MSR	1	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134		0.000134	0.000134
MSR	3	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134		0.000134
MSR	5	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134	0.000134	

Tabla 9.Tratamientos / Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias del IP de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico a diferentes temperaturas y tiempos de almacenamiento

	Tipo de micropartícula	Temperatura (°C)	Tiempo (días)	{1} - 6.3504	{2} - 8.0490	{3} - 10.449	{4} - 13.075	{5} - 6.3504	{6} - 11.655	{7} - 14.501	{8} - 17.475	{9} - 6.3504	{10} - 14.772
1	MR	45	0		0.000189	0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189	0.000189	1	0.000189
2	MR	45	1	0.000189		0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
3	MR	45	3	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.000256	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
4	MR	45	5	0.000189	0.000189	0.000189		0.000189	0.00019	0.00019	0.000189	0.000189	0.000189
5	MR	55	0	1	0.000189	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.000189	1	0.000189
6	MR	55	1	0.000189	0.000189	0.000256	0.00019	0.000189		0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
7	MR	55	3	0.000189	0.000189	0.000189	0.00019	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.99951
8	MR	55	5	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189
9	MR	65	0	1	0.000189	0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189	0.000189		0.000189
10	MR	65	1	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.99951	0.000189	0.000189	
11	MR	65	3	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189
12	MR	65	5	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
13	MSR	45	0	0.960209	0.000197	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189
14	MSR	45	1	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.021652	0.000189	0.000189	0.435835
15	MSR	45	3	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.01498	0.000189	0.000189
16	MSR	45	5	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
17	MSR	55	0	0.960209	0.000197	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189
18	MSR	55	1	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189
19	MSR	55	3	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
20	MSR	55	5	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
21	MSR	65	0	0.960209	0.000197	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189
22	MSR	65	1	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
23	MSR	65	3	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
24	MSR	65	5	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189

Tabla 10. Continuación...

{11} - 17.571	{12} - 20.304	{13} - 6.7351	{14} - 15.352	{15} - 18.352	{16} - 22.009	{17} - 6.7351	{18} - 17.609	{19} - 20.993	{20} - 23.015	{21} - 6.7351	{22} - 20.712	{23} - 23.350	{24} - 27.292
0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.000197	0.000189	0.000189	0.000189	0.000197	0.000189	0.000189	0.000189	0.000197	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.000189	0.021652	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
1	0.000189	0.000189	0.000189	0.01498	0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189	0.960209	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.000189	0.435835	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
	0.000189	0.000189	0.000189	0.054493	0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189		0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.15959	0.000189	0.000189	0.931882	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
0.054493	0.000189	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.087138	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.001986	0.002272	0.000189	0.000201	0.000194	0.000189
0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189	0.000189
1	0.000189	0.000189	0.000189	0.087138	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.15959	0.000189	0.000189	0.000189	0.001986	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.999101	0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.002272	0.000189	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.99121	0.000189
0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189	0.000189	1	0.000189	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189	0.000189
0.000189	0.931882	0.000189	0.000189	0.000189	0.000201	0.000189	0.000189	0.999101	0.000189	0.000189		0.000189	0.000189
0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000194	0.000189	0.000189	0.000189	0.99121	0.000189	0.000189		0.000189
0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	0.000189	